

УТВЕРЖДЕНО
Постановление Бюро
Президиума Национальной
академии наук Беларуси
04.12.2020 № 547

МЕТОДИКА
проведения комплексного мониторинга
экосистем на особо охраняемых природных терри-
ториях в составе Национальной системы монито-
ринга окружающей среды Республики Беларусь

Минск 2020

Методика проведения комплексного мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь

Разработана и внесена государственным научным учреждением «ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМЕНИ В.Ф.КУПРЕВИЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ» и государственным научно-производственным объединением «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ».

Разработчики:

от государственного научного учреждения «ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМЕНИ В.Ф.Купревича НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ» – к.б.н. А.В. Судник, к.б.н. Д.Г. Груммо, д.б.н. И.М. Степанович, с.н.с. И.Н. Вершицкая, н.с. С.Г. Русецкий

от государственного научно-производственного объединения «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ» – д.б.н. В.М. Байчоров, с.н.с. Е.В. Корзун, с.н.с. Д.В. Журавлев.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	3
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	9
2. ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ И ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	14
3. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ.....	25
3.1 Методика и показатели оценки состояния лесных экосистем.....	25
3.2 Методика и показатели оценки состояния луговых и болотных экосистем.....	31
3.3 Методика и показатели оценки состояния водных экосистем	38
3.4 Методика и показатели оценки состояния популяций охраняемых и инвазивных видов растений.....	44
4. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ ЖИВОТНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ.....	53
5. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ НА ООПТ	55
6. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДЗЗ.....	58
6.1 Современное состояние аэрокосмических съемок, применимых для мониторинга на локальном уровне наблюдений.....	58
6.2. Создание аэрокосмического блока системы наблюдений	64
6.2.1 Выбор материалов космических съемок	64
6.2.2 Выбор системы координат	66
6.2.3 Выбор программных пакетов	67
6.2.4. Тематические продукты веб-инструменты для дистанционного зондирования экосистем ООПТ	68
6.2.5 Формирование базовых данных как уровня отсчета мониторинговых наблюдений	71
6.3 Методы обработки данных дистанционного зондирования	72
6.3.1 Предварительная обработка и улучшение изобразительных характеристик аэрокосмических снимков.....	72
6.3.2 Визуальное дешифрирование	79
6.3.3 Особенности визуального дешифрирования растительного покрова	84
6.3.4 Автоматизированное (компьютерное) дешифрирование	99
6.3.5 Методы обработки съемки БПЛА.....	108
6.4 Обнаружение изменений растительного покрова по разновременным изображениям.....	112
6.5 Примеры использования ДДЗ и ГИС-технологий для целей мониторинга в разных типах экосистем.....	114
6.5.1 Лесные и торфяные пожары	115

6.5.2 Неконтролируемые палы (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах).....	123
6.5.3 Рубки леса.....	123
6.5.4 Воздействие аномальных природных явлений, лесопатологический мониторинг.....	132
6.5.5 Гидротехническая мелиорация.....	134
6.5.6 Изменение землепользования, нецелевое использование земель.....	139
6.5.7 Биологическое загрязнение.....	146
6.5.8 Рекреация.....	148
6.5.9 Использование природных ресурсов.....	150
6.5.10 Оценка ущерба от действия антропогенных и естественных факторов...	150
6.5.11 Мониторинг аквальных экосистем.....	150
6.5.12 Оценка состояния экосистем – интегральная характеристика данных наземного и дистанционного мониторинга.....	156
6.5.13 Мониторинг экосистем с использованием беспилотных летательных аппаратов.....	156
6.6 Алгоритм учета угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием методов ДЗЗ.....	163
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений в лесных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ.....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Пример заполнения бланка ключевого участка в луговых и болотных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Пример заполнения бланка ключевого участка в водных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ.....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга охраняемых видов растений в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга инвазивных видов растений в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ.....	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Интернет-каталоги космических снимков.....	213
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Интернет-каталоги веб-инструментов с открытым исходным кодом для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений, доступных на различных платформах.....	215
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM, Sentinel-2.....	224

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВВР – высшая водная растительность;
ВСВ – воздушно-сухой вес;
ГИС – географические информационные системы;
ГНУ – государственное научное учреждение;
ГПУ – государственное природоохранное учреждение;
ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли;
ИАЦ – информационно-аналитический центр;
ИЭБ – институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича;
КБП – коэффициент биологического поглощения;
КК – Красная книга;
КМЭ – комплексный мониторинг экосистем;
ЛБР – луговая и лугово-болотная растительность;
НАН Б – Национальная академия наук Беларуси;
НПЦ – научно-практический центр по биоресурсам;
НСМОС – Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;
ООПТ – особо охраняемая природная территория;
УО – учреждение образования;

Пункты наблюдений:

КУ – ключевой участок;
ММ – мониторинговый маршрут;
ПМ – площадка мониторинга;
ППУ – постоянный пункт учета;
ППН – постоянный пункт наблюдений;
ППП – постоянная пробная площадь;
ТМ – точка мониторинга;
ЭФП – эколого-фитоценотический профиль;

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Использованы ссылки на следующие нормативные правовые акты:

- Закон Республики Беларусь от 15.11.2018 № 150-З «Об особо охраняемых природных территориях»;
- Закон Республики Беларусь от 14.06.2003 № 205-З «О растительном мире»;
- Закон Республики Беларусь от 10.07.2007 № 257-З «О животном мире»;
- Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-XII «Об охране окружающей среды»;
- постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14.07.2003 № 949 «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь»;
- постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.10.2015 № 884 «Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь»
- постановление Бюро Президиума Национальной академии наук Беларуси от 7.07.2004 № 390 «Положение об Информационно-аналитическом центре мониторинга растительного мира Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» (в редакции постановления Бюро Президиума Национальной академии наук Беларуси 28.06.2016 № 307);

Проведение комплексного мониторинга экосистем на ООПТ осуществляется научными организациями, подчиненными НАН Беларуси (пункт 3 статьи 36 Закона Республики Беларусь от 15.11.2018 № 150-З «Об особо охраняемых природных территориях»). Так обеспечение проведения комплексного мониторинга экосистем на ООПТ осуществляется государственным научным учреждением «ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМЕНИ В.Ф.КУПРЕВИЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ» и государственным научно-производственным объединением «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ»

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенно обусловленное преобразование природной среды относится к числу наиболее острых проблем современности. Необходимость управления экологической безопасностью, т.е. реализации целенаправленной регуляции системы «человек – среда», обусловлена повышением антропогенного давления на биосферу, имеющую ограниченную хозяйственную емкость, до критически высокого уровня, близкого к «точке невозврата».

Последние десятилетия, ставшие переломными для человечества в социально-политическом и технологическом отношении, принесли с собой множество изменений и в сферу природопользования и охраны природы. Тенденции, имеющие место в природе и обществе, подтверждают острую необходимость в системе наблюдений за состоянием окружающей природной среды, важнейшей составляющей которой является растительный мир. Хотя уровень техногенного воздействия на леса, болота, луга, воды на территории Республики Беларусь, как и большинства стран бывшего СССР, в прошедшие 20–25 лет заметно понизился, трансформация природной растительности продолжается в результате изменения климата, глобализации, развития инфраструктуры, инвазий чужеродных организмов, радикальных изменений в структуре землепользования, продолжающегося сведения лесов. Эти процессы, различные по интенсивности, масштабам, направленности, требуют постоянного наблюдения и своевременного реагирования на их негативные проявления. Растет потребность в информации о состоянии флоры, растительности и растительных ресурсов для обоснования управленческих и проектных решений. Мониторинг становится главным инструментом оценки эффективности ограничений и запретов, установленных в отношении особо охраняемых природных территорий и отдельных объектов растительного и животного мира. Новые возможности в этом направлении открылись с развитием информационных и дистанционных технологий, упрощением доступа к новейшим достижениям науки. Для обеспечения информационных потребностей обращения с объектами растительного мира в Республике Беларусь в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды сформирована система наблюдений, комплексно решающая проблему контроля их состояния.

Основными направлениями государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды является обеспечение непрерывного функционирования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (статья 7 Закона РБ «Об охране окружающей среды»).

Экологический мониторинг является важнейшим инструментом контроля за состоянием природных экосистем в целях прогноза развития и изменений под воздействием природных и антропогенных факторов, обеспечения государственных органов, заинтересованных юридических лиц и общественности полной, достоверной и своевременной информацией в области сохранения и рационального использования ресурсов растительного и животного мира.

Комплексный мониторинг экосистем на ООПТ (далее – КМЭ ООПТ) является видом мониторинга окружающей среды в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС) и организуется НАН Беларуси (статья 36 Закона РБ «Об особо охраняемых природных территориях»).

При ведении КМЭ ООПТ обеспечивается контроль по немногочисленным простым и недорогим в определении параметрам, используемым для оценки региональных тенденций и трендов в развитии экосистем ООПТ, а также особенностей пространственного проявления этих процессов на территории. Практической целью ра-

бот является регулярный сбор данных о состоянии растительности и отдельных объектов растительного мира, о степени и интенсивности повреждения природных экосистем абиотическими, биотическими и антропогенными факторами, а также о динамике этих факторов. Учитывая потребности контроля за состоянием основных компонентов природной среды и биологического разнообразия природных растительных комплексов необходима организация мониторинга растительного мира. Каждый тип экосистем обладает своей спецификой состава, структуры, закономерностей развития и, следовательно, требует индивидуального подхода к изучению и методам мониторинга.

В настоящем документе изложена концепция и представлена методика проведения КМЭ ООПТ в составе НСМОС. Методика КМЭ ООПТ включает описание типов пунктов наблюдения, принципов их размещения в пределах проектных территорий, определение периодичности и сроков проведения наблюдений, а также перечень наблюдаемых параметров.

1. КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Комплексный мониторинг экосистем на особо охраняемых природных территориях является видом мониторинга окружающей среды в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь и организуется Национальной академией наук Беларуси.

Комплексный мониторинг экосистем на особо охраняемых природных территориях (далее – КМЭ ООПТ) представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием экосистем на ООПТ, проводимых в целях оценки их состояния и эффективности режима охраны и использования ООПТ, прогноза изменения состояния экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов.

Цель КМЭ ООПТ – информационное обеспечение принятия управленческих, проектных и технологических решений в области экологической безопасности, охраны, устойчивого целевого использования ресурсов ООПТ, сохранения биологического и ландшафтного разнообразия на основе оценки состояния экосистем, их динамики и прогноза развития.

Задачи КМЭ ООПТ:

- сбор, обобщение и анализ информации (фондовой, ведомственной, литературной и иной) об экосистемах на особо охраняемых природных территориях;
- оценка состояния основных экосистем на особо охраняемых природных территориях по совокупности критериев, основанных на биоиндикационных, биогеохимических, ландшафтных, гидрологических и других экологических показателях;
- оценка эффективности режимов охраны и природопользования на особо охраняемых природных территориях;
- выявление основных факторов, оказывающие негативное влияние на состояние экосистем на особо охраняемых природных территориях, оценка их степени проявления;
- прогноз динамики состояния экосистем на особо охраняемых природных территориях по результатам мониторинговых наблюдений;
- разработка рекомендаций для принятия управленческих и проектных решений в отношении природных комплексов на особо охраняемых природных территориях;
- накопление результатов мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях и их предоставление заинтересованным.

Система КМЭ ООПТ строится на следующих принципах:

- методологическая, методическая и информационная интеграция в НСМОС;
- комплексность ведения мониторинга и анализа полученных данных;
- репрезентативность сетей мониторинга;
- прикладная направленность на принятие управленческих решений в области охраны природы и организации природопользования;
- приоритет относительно простых, недорогих методов мониторинга;
- возможность частичного перехода от наземных к дистанционным методам мониторинга;
- сочетание детально-стационарных мониторинговых наблюдений с маршрутно-рекогносцировочными методами;
- использование современных GIS и GPS технологий;
- ориентация на пользователя – ГПУ, осуществляющие управление ООПТ.

Объектами наблюдений при проведении КМЭ ООПТ являются:

- вся территория ООПТ (балансы ООПТ по категориям земель, экосистем, степени нарушенности, экологической ценности и т.п.);
- экосистемы по категориям (оценка состояния).

Категории экосистем. В рамках КМЭ ООПТ экосистемы выделяются в зависимости от доминирующих типов растительности:

Лесные и кустарниковые экосистемы (индикаторная группа – доминирующая древесно-кустарниковая растительность на покрытых и непокрытых лесом землях с лесной и кустарниковой растительностью как естественного, так и культурного происхождения);

Луговые экосистемы (индикаторная группа – травянистая многолетняя преимущественно мезофитная растительность. Представлены на лугах суходольных или материковых, низинных и пойменных. К луговым экосистемам относятся также прогалы пойменных типов леса);

Болотные экосистемы (индикаторная группа – гидрофитная растительность. Представлены на травяных болотах с доминированием гидрофитно-травяной растительности – осоки, тростник, рогоз и пр. и моховых болотах с доминированием с доминированием гидрофитно-моховой растительности – сфагновые мхи);

Пустошные экосистемы (индикаторная группа – низкопродуктивная часто монодоминантная травянистая растительность, без сплошного зарастания поверхности почвы);

Водные экосистемы (индикаторная группа – водная растительность (макрофиты) на землях с водными объектами; в том числе водотоках (реки, ручьи, каналы), водоемах (озера, водохранилища, пруды) и родниках);

Сегетальные экосистемы (индикаторная группа – сегетальная растительность на сельскохозяйственных землях – действующие пашни, сады, пастбища и сенокосы на сеяных лугах. Кроме того, к сегетальным экосистемам относятся некоторые виды земель лесного фонда: кормовые площадки, которые, как правило, запаханы или окультурены с целью подкормки диких животных, и питомники);

Селитебные экосистемы (экосистемы населенных мест с жилыми застройками и хозяйственными сооружениями);

В территориальном балансе земель ООПТ определенную площадь занимают объекты и сооружения, которые предназначены для специального использования (дороги, линии электропередач, газопроводы и пр.) и являются необходимыми элементами хозяйственного комплекса, как местного, так и регионального значения. На этих землях установлен особый режим хозяйствования. Данные объекты объединены в отдельную категорию – *прочие экосистемы*.

С целью оценки соотношения сохранившихся в естественном (или близком к нему) состоянии и нарушенных экотопов, выделяется отдельная категория экосистем «*нарушенные*». К нарушенным относятся экосистемы различных категорий (или их части), в пределах которых сильно нарушен или уничтожен почвенный и/или растительный покровы:

а) под воздействием антропогенной деятельности – вырубки после сплошнолесосечных рубок, гари, пустыри, карьеры, выработанные торфяники, погибшие насаждения в результате подтопления при дорожном строительстве, выгоны и скотопогоны, на которых отсутствует растительный покров, обустроенные ландшафтные поляны, используемые для рекреации оборудованные пляжи и пр.;

б) под воздействием природных факторов – погибшие насаждения в результате затопления бобрами и под воздействием катастрофических природных явлений (ураганы, засухи, заморозки, затопление);

в) под смешанным воздействием – развивающиеся овраги;

При организации наблюдений на ООПТ в первую очередь оценивается состояние и динамика доминирующих природных экосистем – лесные, болотные, луговые, водные. В отношении экосистем антропогенного происхождения (сегетальных, селитебных и прочих), объединяющих трансформированные в результате хозяйственной деятельности территории, занятые инженерными сетями и транспортными коммуникациями, наблюдения не проводятся. Их наличие учитывается при анализе состава земель и экосистем на ООПТ в целом, а также при оценке возможности возникновения угроз состоянию экосистем.

Локальные сети пунктов наблюдения КМЭ ООПТ. Наблюдения за состоянием экосистем на ООПТ в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ проводятся в пунктах наблюдений. Пункты наблюдений обозначаются на картах-схемах и на местности. Информация о пунктах наблюдений в установленном порядке включается в государственный реестр пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.

Совокупность пунктов наблюдений в границах ООПТ образует локальную сеть комплексного мониторинга экосистем на ООПТ. Локальная сеть комплексного мониторинга экосистем на ООПТ создается в соответствии с целевым назначением пунктов наблюдений и с учетом особенностей территории, структуры ландшафтов и растительного покрова, категорий экосистем, подлежащих комплексному мониторингу, их репрезентативности или уникальности, наличия и степени проявления угроз их существованию, доступности для проведения наблюдений и должна обеспечивать достаточность и объективность получаемой информации для оценки состояния экосистем на ООПТ.

Компонентами локальных сетей КМЭ ООПТ являются:

а) пункты наблюдений:

– *постоянные пункты наблюдений (ППН)* – пункты наблюдений площадного типа фиксированного размера и формы, закрепленные в натуре. Данный тип пункта наблюдений используется при мониторинге лесных экосистем и охраняемых видов растений.

– *ключевые участки (КУ)* – пункты наблюдений линейного типа нефиксированных размеров (эколого-фитоценотический профили – ЭФП, объединяющие совокупность постоянных пробных площадок – ППП), закрепленные в натуре. Закладываются для мониторинга болотных, луговых, водных и пустошных экосистем.

– *точки мониторинга (ТМ)* – пункты наблюдений за крупными хищными птицами.

– *площадки мониторинга (ПМ)* – пункты наблюдений площадного типа фиксированного размера и формы, закрепленные в натуре. Данный тип пункта наблюдений используется для размещения орудий отлова диких животных в научных целях (давилки, ловушки Барбера, живоловушки и т.д.).

б) мониторинговые маршруты (ММ). Закладываются с целью выявления угроз экосистемам ООПТ и оценки их степени проявления. На мониторинговом маршруте также проводится учет численности индикаторных групп птиц, рептилий и амфибий.

Все пункты наблюдений проектируются и размещаются в соответствии с их целевым назначением с учетом особенностей территории, структуры растительного по-

крова, размеров сообществ и популяций, подлежащих мониторингу или обладающих индикаторными свойствами, их репрезентативности или уникальности, степени угрозы их существованию, доступности. Совокупность пунктов наблюдений образует локальную сеть комплексного мониторинга экосистем ООПТ (в части растительного мира и лесов).

При проведении комплексного мониторинга экосистем на ООПТ в пунктах наблюдений должны быть получены данные:

- о состоянии экосистем, основанные на методах биоиндикации и оценки состояния факторов среды;
- о наличии и степени проявления угроз существованию экосистем.

На основании этих данных составляется прогноз изменения состояния экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов

В целях комплексного мониторинга экосистем на ООПТ могут использоваться также результаты наблюдений за компонентами природной среды на ООПТ, полученные в пунктах наблюдений иных видов мониторинга окружающей среды, расположенных в ее границах или вблизи от нее и включенных в государственный реестр пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.

Периодичность оценки. Мониторинговые наблюдения за состоянием объектов растительного мира и лесов в рамках КМЭ ООПТ проводятся со следующей периодичностью (с указанием рекомендуемых исполнителей):

- структуры земельного фонда и экосистем ООПТ – каждые 5 или 10 лет;
- состояния лесных, водных, болотных, луговых экосистем – полномасштабная оценка – не реже одного раза в 5 лет, для отдельных объектов или показателей – раз в 1-3 года.
- угроз экосистемам на мониторинговых маршрутах – в зависимости от степени проявления угроз 1 раз в 2-5 лет.

Состав и содержание экологической информации, получаемой в результате проведения комплексного мониторинга экосистем на ООПТ, сроки и порядок представления такой информации в главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь определяются Минприроды по согласованию с НАН Беларуси. Обобщенная экологическая информация о состоянии экосистем на ООПТ должна содержать:

- данные о состоянии и динамике состояния экосистем на ООПТ и прогноз изменения состояния экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов;
- анализ природных и антропогенных факторов, оказывающих вредное воздействие на состояние экосистем на ООПТ, оценку интенсивности их воздействия;
- рекомендации по совершенствованию охраны и управления ООПТ, сохранению их биологического и ландшафтного разнообразия.

Пользователями информации, полученной в рамках программы, будут:

- органы государственного управления Республики Беларусь: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство лесного хозяйства, Инспекция по охране животного и растительного мира при президенте РБ, Управление делами президента РБ, районные и областные инспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Министерство спорта и туризма;
- государственные природоохранные учреждения ООПТ;

- государственные лесохозяйственные учреждения;
- землепользователи, ведущие хозяйственную деятельность на ООПТ;
- научные организации, обеспечивающие научное и методическое сопровождение комплексного мониторинга экосистем особо охраняемых природных территорий;
- общественные организации.

Финансирование работ по КМЭ ООПТ осуществляется в рамках Государственных программ и подпрограмм по обеспечению функционирования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, развития особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь, а также за счет средств, выделяемых в рамках международных проектов.

2. ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ И ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Для оценки состояния экосистем на ООПТ проводятся наблюдения за популяциями индикаторных групп дикорастущих растений и диких животных, растительными сообществами, абиотическими факторами среды, а также учитывается динамика территориального баланса экосистем.

В качестве индикаторных растительных сообществ следует использовать лесную, луговую, болотную, высшую водную растительность, перечень которых устанавливается для каждой конкретной ООПТ.

Выбор индикаторных групп дикорастущих растений и диких животных осуществляется для каждой особо охраняемой природной территории (далее – ООПТ) в отдельности с учетом особенностей экосистем ООПТ, их площадей, существующих природных и антропогенных угроз и т.д.

В качестве индикаторных групп дикорастущих растений и диких животных следует использовать:

- дикорастущие растения: охраняемые; характерные для тех или иных биотопических условий; произрастающие на (за) границе (ей) ареала; обладающие конкретными индикаторными свойствами;

- дикие животные: охраняемые; обладающие конкретными индикаторными свойствами: птицы, земноводные, почвенные беспозвоночные, водные беспозвоночные.

В качестве индикаторных абиотических факторов среды следует использовать характеристики состояния почв, грунтовых и поверхностных вод, перечень которых устанавливается для каждой конкретной ООПТ в зависимости от характера и степени негативных воздействий на ее экосистемы.

В качестве индикаторов характера динамики территориального баланса экосистем ООПТ следует использовать следующие показатели: соотношение площадей тех или иных видов земель, нарушенных и естественных участков, формаций и типов леса, типов болот и лугов и другие.

Оценка состояния экосистем на ООПТ осуществляется на основе индикаторов состояния экосистем и популяций диких животных и дикорастущих растений (таблица 2.1). Оценка состояния экосистем осуществляется также с учетом факторов воздействия на экосистемы. Система индикаторов состояния экосистем на ООПТ и популяций диких животных и дикорастущих растений включает:

- индикаторы соответствия экосистем статусу (критериям) ООПТ;
- индикаторы состояния экосистем и их функциональной значимости;
- структурные индикаторы (площадные показатели пространственной структуры экосистем по видам земель, формациям и типам лесов, лугов, болот, нарушенных и естественных участков и другие показатели);

- экологические индикаторы (популяционные, фитоценоотические, эдафические, гидрологические и другие показатели);

- проявления воздействия угроз и деградации экосистем.

Определение конкретных показателей, характеризующих состояние экосистем и популяций диких животных и дикорастущих растений, осуществляются в соответствии с методиками, принятыми в биологических и экологических исследованиях.

Таблица 2.1 – Индикаторы состояния экосистем и популяций диких живых и дикорастущих растений

Экосистемы	Тип индикаторов					Факторы воздействия на экосистемы
	соответствия экосистем критериям ООПТ	функциональной значимости экосистем	структурные	экологические	проявления воздействия угроз и деградации экосистем	
1	2	3	4	5	6	7
Лесные	Ландшафтные и биологические заказники, национальные парки					
	наличие и площадь лесов высокой природоохранной ценности (высоковозрастные, редкие или уникальные для региона, крупные труднодоступные массивы, места обитания и произрастания редких и охраняемых видов флоры и фауны, охраняемые в соответствии с ЕЕС Habitat Directive, пр.); наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	видовое разнообразие естественной флоры и фауны; наличие условий для сохранения генофонда и воспроизводства аборигенных лесных видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; выполнение экологических (охранных, защитных, средообразующих и пр.) функций на ООПТ; сохранение ландшафтного разнообразия	площадь покрытых лесом земель; площадь непокрытых лесом земель, предназначенных для его восстановления; количество формаций, типов леса, классов возраста; структура лесов по происхождению (естественные, лесные культуры); соотношение коренных и производных лесов; фрагментация и площади лесных массивов; площадь мелиорированных лесов; площадь вырубок	популяционные – виды, характерные для коренных лесов региона, редкие и охраняемые, произрастающие на/за границей ареала, обладающие конкретными индикаторными свойствами (эпифитные кустики и листоватые лишайники, нитрофилы, галофиты, апофиты, рудеральные, пиропфиты, инвазионные и пр.); фитоценотические – древостой, подрост, подлесок, напочвенный покров; эдафические – подстилка, почва; гидрологические – грунтовые и поверхностные воды	низкое жизненное состояние древостоя; превышение уровня естественного отпада древостоя; снижение продуктивности; сокращение площади коренных типов леса; образование пустошей; снижение видового разнообразия естественной флоры и фауны лесов; синантропизация; биологическое и техногенное загрязнение; массовые поражения болезнями, фито- и энтомофитными вредителями; развитие водной и ветровой эрозии; средняя и высокая степени проявления угроз	климатические явления (ураганы, заморозки, аномальные сезоны, пр.); рубки леса; гидротехническая мелиорация; иная хозяйственная деятельность (строительство и обслуживание трасс коммуникаций, сельхозпроизводство); пожары; паводки; нерегламентированное пользование лесными ресурсами; деятельность бобров; рекреация; транспортные линии республиканского и международного значения

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
Лесные	Водно-болотные и гидрологические заказники					
	не рассматриваются	выполнение экологических (охранных и защитных) функций для водных и болотных экосистем; наличие условий для воспроизводства видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны	те же	те же	те же	те же
Болотные и луговые	Гидрологические, ландшафтные, биологические, водно-болотные заказники, национальные парки					
	наличие и площадь болот и лугов высокой природоохранной ценности (естественные, ненарушенные, редкие или уникальные для региона, крупные массивы, места обитания и произрастания редких и охраняемых видов флоры и фауны, охраняемые в соответствии с EEC Habitat Directive и пр.); наличие таксонов Красной	видовое разнообразие флоры и фауны болот и лугов; наличие условий для сохранения генфонда и воспроизводства аборигенных болотных и луговых видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; места концентрации мигрирующих видов; выполнение	площадь болот и лугов; структура болот по типу растительности и водно-минерального питания (низинные, переходные, верховые); структура лугов по типу растительности (суходольные, низинные, пойменные); площадь мелиорированных земель; площадь земель, использу-	популяционные – виды, характерные для того или иного типа болота или луга, редкие и охраняемые, произрастающие на/за границей ареала, обладающие конкретными индикаторными свойствами (ацидофилы, нитрофилы, галофиты, апофиты, рудеральные, пирофиты, инвазионные и пр.); фитоценотические – фитоцено-	высокая степень за-растания древесно-кустарниковой растительностью; снижение числа популяций и численности редких и охраняемых видов; снижение видового разнообразия естественной флоры и фауны болот и лугов; образование пустошей, деградация почвенного покрова, снижение продуктивности травостоев и сфагновых мхов; синантропизация;	климатические явления (заморозки, аномальные сезоны, пр.); гидротехническая мелиорация; торфоразработка; паводки; палы и пожары; рекреация; нерегламентированный выпас скота; сенокосение; распашка земель; нерегламентированное пользование природными ресурсами; транспортные линии республиканского и международного значения
	книги; количество популяций редких и	экологических защитных и средооб-	емых в сельском хозяйстве, типы	зы различных син-таксономических		

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	охраняемых видов флоры и фауны	разующих функций на ООПТ и в регионе; сохранение ландшафтного разнообразия	угодий; площадь закустаренных земель	рангов; эдафические – почва; гидрологические – грунтовые и поверхностные воды	биологическое, техногенное, органическое загрязнение; средняя и высокая степени проявления угроз	
Водные	наличие водоемов с высоким природоохранным потенциалом (характеризующиеся уникальным генезисом, обладающие уникальной флорой и фауной, места обитания и произрастания редких и охраняемых видов флоры и фауны, пр.); наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	видовое разнообразие флоры и фауны; выполнение экологических охранных и средообразующих функций на ООПТ и в регионе; наличие условий для сохранения генофонда и воспроизводства аборигенных водных видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; места концентрации мигрирующих видов; сохранение ландшафтного разнообразия	площадь водоемов и водотоков; структура водных объектов по происхождению (естественные, искусственные)	популяционные – виды, характерные для того или иного типа водоема или водотока, редкие и охраняемые, произрастающие на/за границей ареала, обладающие конкретными индикаторными свойствами (олиготрофы, сапробионты, ацидофилы и пр.); фитоценотические – фитоценозы различных синтаксономических рангов; гидрологические – вода; эдафические – донные отложения; экосистемные – гидрологические показатели режима водоемов и водотоков, водосбор	высокая степень загрязнения водных объектов; существенное изменение режимных гидрологических показателей (уровень, скорость, прозрачность и пр.); биологическое, техногенное и органическое загрязнение; скорость эвтрофирования; средняя и высокая степень проявления угроз	климатические явления (аномальные сезоны, пр.); гидротехническая мелиорация, регулируемый сток; паводки; рекреация; хозяйственная деятельность в пределах водосбора и водоохранной зоны, лесные пожары; судоходство; транспортные линии республиканского и международного значения
Кустарниковые	наличие и площадь редких древесно-кустарниковых со-	видовое разнообразие флоры и фауны; наличие	площадь экосистем, площадь и количество фор-	популяционные – виды редкие и охраняемые, на/за	биологическое, техногенное, органическое загрязнение;	климатические явления (заморозки, аномальные сезоны); гид-

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	обществ (можже- вельники, ерники); наличие таксонов Красной книги; ко- личество популяций редких и охраняе- мых видов флоры и фауны	условий для со- хранения генофон- да и воспроизвод- ства аборигенных видов флоры и фа- уны; наличие условий для со- хранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; выполнение за- щитных и средо- образующих функ- ций	маций, типов ле- са; структура по типу местополо- жения (кустарни- ки по болоту, ку- старники по су- ходулу)	границей ареала, обладающие кон- кретными индика- торными свойства- ми (нитрофилы, га- лофиты, рудераль- ные, пр.)	средняя и высокая степень проявления угроз	ротехническая мелио- рация; паводки; палы и пожары; рекреация; болезни, фито- и эн- томоповреждения
Сегетальные, селитебные, прочие	не рассматриваются	не рассматривают- ся	площадь по ви- дам земель и типу угодий		не рассматриваются	данные экосистемы рассматриваются в ка- честве источников воздействия на при- родную среду ООПТ, обусловленного ан- тропогенной деятель- ностью: биологическое, орга- ногенное и техноген- ное загрязнение, за- топление и подтопле- ние, рекреация, по- бочное пользование, выпас, вырубка леса
Гидрологические, ландшафтные, биологические, водно-болотные заказники, национальные парки						
ООПТ в целом	наличие объектов охраны в соответ- ствии с Положением об ООПТ; доля лес-	видовое разнообра- зие флоры и фауны ООПТ; выполнение экологических	характер и форма границ ООПТ; количество и площадь видов	фитоценоотические – лесная, болотная, луговая и водная растительность, ко-	сокращение площа- ди особо ценных экосистем и сооб- ществ; снижение	аномальные климати- ческие явления; хозяй- ственная деятельность на ООПТ и прилегаю-

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
	ных, болотных, луговых экосистем высокой природоохранной ценности в совокупности не менее 10-15%; наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	охранных, защитных и средообразующих функций в регионе; наличие условий для сохранения генофонда и воспроизводства аборигенных видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; флористическая, фаунистическая и ландшафтная репрезентативность экосистем	земель на ООПТ; количество и площадь экосистем на ООПТ; площадь мелиорированных земель; площадь естественных и искусственных экосистем; густота дорожной сети	ренные фитоценозы; фитопопуляционные – аборигенные виды, характерные для данного региона, эндемичные, реликтовые, редкие и охраняемые, на/за границей ареала	видового разнообразия естественной лесной, болотной, луговой и водной флоры и фауны; снижение числа популяций и численности охраняемых видов флоры и фауны; синантропизация; средняя и высокая степень проявления угроз; площадь нарушенных экосистем	щей территории; близость крупных населенных пунктов; транспортные линии республиканского и международного значения; рекреация

Программа проведения КМЭ ООПТ. Комплексный мониторинг экосистем на ООПТ проводится в соответствии с утверждаемыми научными организациями, подчиненными НАН Беларуси, по согласованию с государственным природоохранным учреждением, а в случае, когда оно не создано, с управляющим органом программами комплексного мониторинга экосистем на ООПТ, в которых должны содержаться:

- категории и виды земель, категории лесов, экологическое состояние (статус) водных объектов, категории экосистем (с приложением карты-схемы);
- характеристика режима охраны и использования ООПТ;
- перечень и характеристика экосистем на ООПТ, в отношении которых будут проводиться наблюдения, и оценка состояния таких территорий;
- перечень и характеристика существующих и планируемых пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь в границах ООПТ;
- перечень пунктов наблюдений локальной сети комплексного мониторинга экосистем на ООПТ, протяженность мониторинговых маршрутов и их размещение;
- перечень компонентов экосистем на ООПТ, за которыми будут проводиться наблюдения;
- перечень факторов, оказывающих вредное воздействие на экосистемы на ООПТ;
- регламент наблюдений.

Программа и регламент наблюдений комплексного мониторинга экосистем на ООПТ приведен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Программа и регламент наблюдений комплексного мониторинга экосистем на ООПТ

Объекты наблюдений	Пункты наблюдений	Наблюдаемые параметры	Формат представления	Периодичность оценки	Организация, проводящая оценку
1	2	3	4	5	6
Мониторинг природно-растительного комплекса заказника в целом (информационный блок)					
Вся ООПТ		Структура земельного фонда и пространственное размещение и соотношение основных экосистем (га/%) Видовой состав сосудистых растений и животных, перечень и состояние популяций охраняемых видов растений и животных Красной книги (шт) Индексы синантропизации флоры и фауны (%) Распределение животных модельных групп (птицы, жужелицы и амфибии) по экологическим группам Анализ угроз экосистемам	таблицы, рисунки аннотированный список таблица таблицы, рисунки аннотированный перечень	раз в 10 лет раз в 5 лет раз в 5 лет раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам НПЦ по биоресурсам ИЭБ, НПЦ по биоресурсам
Лесные экосистемы (в границах покрытые лесом земли)		Типологическая и возрастная (распределение по классам возраста) структуры лесов; соотношение лесов естественного и искусственного происхождения по лесным формациям и классам возраста (га/%)	таблица	раз в 10 лет	ИЭБ НАНБ
Экосистемы ООПТ		Аналитические записки, отражающие состояние экосистем ООПТ (краткий отчет).	отчет	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам
Мониторинг экосистем на пунктах наблюдения					
Лесные экосистемы	Постоянные пункты учета мониторинга лесов Постоянные пункты наблюдений (в части растительного мира)	<i>Индикаторная группа – лесная растительность:</i> распределения деревьев по классам повреждения и по категориям жизненного состояния, индекс состояния древостоя, средняя дефолиация крон деревьев (%) Распределения деревьев по классам повреждения и по категориям жизненного состояния, индекс состояния древостоя, средняя дефолиация крон деревьев, проективное покрытие подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов (общее и по видам), характеристика естественного возобновления, выбитость подстилки и нижних ярусов, встречаемость эпифитных лишайников и их среднее проективное по-	таблицы, диаграммы таблицы, диаграммы	раз в 5 лет раз в 5 лет	ЛРУП «Белгослес» ИЭБ

крытие (%)

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6
		Перечень и состояние популяций охраняемых видов растений Красной книги (шт)	аннотированный список	раз в 5 лет	
	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	<i>Индикаторная группа – напочвенные жесткокрылые</i> Видовой состав (шт), численность (ловушко\сутки) и соотношение (%) экологических групп жуков семейства жужелиц <i>Индикаторные группы - птицы</i> Список видов орнитофауны водно-болотного комплекса (шт) Перечень и состояние популяций охраняемых видов животных Красной книги (шт)	аннотированный список, таблица	раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
	на всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз лесным экосистемам (балл)	аннотированный список	раз в 5 лет	
	на всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз лесным экосистемам (балл)	таблица	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам
Луговые и болотные экосистемы	Ключевые участки (в части растительного мира)	<i>Индикаторная группа – луговая и болотная растительность</i> : состав фитоценоза, проективное покрытие видов, индекс антропофитизации, степень зарастания древесно-кустарниковой растительностью (%); границы ассоциаций (м), продуктивность (ц/га), жизнеспособность видов-доминантов (балл)	таблицы	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ
	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	<i>Индикаторная группа – напочвенные жесткокрылые</i> Видовой состав (шт), численность (ловушко\сутки) и соотношение (%) экологических групп жуков семейства жужелиц <i>Индикаторные группы - птицы</i> Список видов орнитофауны водно-болотного комплекса (шт) Перечень и состояние популяций охраняемых видов животных Красной книги (шт)	аннотированный список, таблица	раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
	на всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз луговым и болотным экосистемам (балл)	аннотированный список	раз в 5 лет	
	на всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз луговым и болотным экосистемам (балл)	таблицы	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам
Водные	Ключевые участки (в части	<i>Индикаторная группа – водная растительность (макрофиты)</i> : степень и характер зарастания макро-	таблицы	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6
	растительного мира)	фитами, степень эвтрофирования, проективное покрытие макрофитов, поврежденность видов-доминантов (%); обилие и жизненность видов-доминантов (балл); биомасса макрофитов (кг/м ²); Видовой состав макрофитов, перечень и состояние популяций охраняемых видов растений Красной книги (шт)	аннотированный список	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ
	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	<i>Индикаторные группы – водные беспозвоночные</i> Видовой состав (шт), численность и соотношение (%) экологических групп водных беспозвоночных <i>Индикаторные группы - птицы</i> Список видов орнитофауны водно-болотного комплекса (шт)	аннотированный список	раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
	на всех объектах наблюдения	Категории и степень проявления угроз водным экосистемам (балл)	таблицы	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам
Охраняемые виды растений	Постоянные пункты наблюдения за популяциями охраняемых видов растений	<i>Индикаторная группа – охраняемые растения Красной книги:</i> площадь популяции (м ²), численность (шт), плотность (шт/м ²), проективное покрытие, обилие, возрастной спектр, распределение по категориям состояния, поврежденность растений и жизненность популяции (%).	таблицы	раз в 3-5 лет в зависимости от категории охраны вида и состояния популяции	ИЭБ НАНБ
Инвазивные растения	Постоянные пункты наблюдений (виды и популяции инвазивных растений будут выбраны после обследования территории)	<i>Индикаторная группа – инвазивные вредоносные растения:</i> площадь популяции (м ²), численность (шт), плотность (шт/м ²), проективное покрытие, обилие, возрастной спектр, распределение по категориям состояния, поврежденность растений и жизненность популяции (%).	таблицы	раз в 5 лет	ИЭБ НАНБ
Мониторинг экосистем на мониторинговых маршрутах					
Все типы экосистем	Мониторинговые маршруты (в части расти-	<i>Индикаторная группа – сосудистые растения:</i> Корректировка общего списка видов сосудистых растений; перечень и состояние популяций охраняемых	аннотированный список	раз в 3-5 лет	ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6
	тельного и животного мира)	видов растений и животных Красной книги, редких и уникальных растительных сообществ и редких биотопов (шт)			
		<i>Индикаторная группа – птицы, амфибии:</i> Видовой состав птиц и амфибий с распределением по экологическим категориям (шт) и их плотность (ос/км ²) Категория, степень проявления и локализация угроз (балл)	аннотированный список таблица	раз в 3-5 лет раз в 3-5 лет	НПЦ по биоресурсам ИЭБ НАНБ, НПЦ по биоресурсам

3. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ

3.1 Методика и показатели оценки состояния лесных экосистем

Мониторинг лесных экосистем на ООПТ – система комплексных наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния лесов под влиянием антропогенных и природных воздействий на ООПТ. Объектами локальной сети мониторинга лесной растительности являются постоянные пункты наблюдения. Постоянные пункты наблюдений (ППН) – пункты наблюдений площадного типа, фиксированного размера.

Проектирование локальной сети пунктов наблюдений КМЭ в лесных экосистемах. При проектировании сети ППН в лесных экосистемах исходят из следующих принципов и соображений:

- Сеть должна отражать региональные тенденции развития лесных экосистем.
- Сеть должна быть репрезентативной по отношению к формационно-типологической структуре лесов ООПТ.
- Сеть должна быть репрезентативной по отношению к площади ООПТ.
- Местоположения ППН должны быть доступны и привязаны к стабильным ориентирам (дороги, просеки, трассы коммуникаций, прочее).
- ППН не закладываются на участках, пройденных пожарами средней и сильной интенсивности менее 3 лет назад, на участках, подвергшихся затоплению менее 3 лет назад, в сильно ослабленных и усыхающих насаждениях.
- ППН не закладываются в выделах, примыкающих к мелиоративным объектам, крупным вырубкам, крупным пахотным угодьям, торфоразработкам и т.п.

Проект сети ППН может быть изменен или дополнен в процессе полевых работ.

При создании проекта сети ППН и работе в поле используются топографические карты масштаба 1:100000 или 1:50000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений масштаба 1:25000, материалы последнего лесоустройства, другие лесохозяйственные источники и документация (Книги учета лесных пожаров, прочее).

Документация и оформления материалов полевых работ.

Для каждого ППН оформляется «Паспорт постоянного пункта наблюдений» (приложение А). Паспорт состоит из обложки и бланка-вкладыша. На обложке указываются данные о местоположении ППН, приводится схема расположения ППН на местности, дается характеристика выдела и таксационное описание насаждения, в котором заложен ППН. В бланк-вкладыш заносятся все наблюдаемые на ППН показатели (см. приложение А). При повторных обследованиях заполняется новый вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад.

Материалы и оборудование, необходимые для проведения полевых работ при закладке постоянного пункта наблюдений в лесных экосистемах:

- GPS-приемник (глобальная спутниковая система определения местонахождения).
- Планы лесонасаждений М 1:25 000, топокарты М 1:50 000, схема ООПТ.
- Программа-методика работ, паспорт ППН с бланком-вкладышем.
- Фотоаппарат.
- Фотоэталон классов повреждения деревьев различных пород.
- Бинокль.
- Жидкостной компас.
- Рулетка длиной 30 м или 50 м.
- Швейный сантиметр или гибкая рулетка длиной 1-2 м.

- Топор.
- Ручная пила (ножовка).
- Масляная краска (белая, красная), кисти.
- Гербарная сетка (или папка).

Сроки проведения наблюдений.

Оптимальным следует считать период после прекращения активного роста трав, листьев, хвои и побегов деревьев: середина июля – первая декада сентября. Завершить работы следует до начала опадения и осеннего пожелтения листвы. Разница во времени между измерениями в разные годы на одних и тех же ППН не должна превышать 1 декаду, т.е. 10 дней. Это обеспечит высокую достоверность результатов.

Определение мест закладки постоянного пункта наблюдений на местности, его привязка, порядок закладки и обозначение в натуре.

Постоянные пункты наблюдений располагаются в репрезентативных лесных участках (выделах), размеры и форма которых позволяют заложить стандартный пункт наблюдений на площади 50 на 50 м.

Выбирается и маркируется центральное дерево ППН. По периметру дерева на высоте 1,5-2 м масляной краской наносится сплошная линия шириной около 2-х см, подписывается номер пункта наблюдений (например, «СП-лес-1»: СП – Средняя Припять, лес – категория экосистемы, 1 – номер ППН). Центральное дерево должно находиться не ближе 35-40 м от края таксационного выдела или опушки леса.

Для облегчения поиска ППН, участки, где он расположен, привязываются к хорошо заметным стабильным ориентирам: квартальным просекам, трассам, канавам, геодезическим знакам, дорогам и т.п. Расстояния от ППН до этих ориентиров измеряется мерной лентой или шагами, направление – по азимуту. Объектами на ориентире, от которых измеряется расстояние, могут являться деревья, крупные валуны, опоры ЛЭП и т.п. На объекте краской рисуется стрелка в направлении расположения ППН. Для всех ППН определяются координаты (с помощью GPS приемника).

ППН состоит из пяти площадок (точек учета): ТУ 1 – С (север), ТУ 2 – В (восток), ТУ 3 – Ю (юг), ТУ 4 – З (запад), ТУ 5 – Ц (центр). Центральное дерево ППН одновременно является центральным деревом ТУ 5. Четыре ТУ закладываются от центрального дерева ППН на расстоянии 25 м по сторонам горизонта. В центре каждой периферийной ТУ также выбирается центральное дерево. На все центральные деревья ТУ (кроме ТУ-5) краской наносится номер данной точки учета. На каждой из 5-ти точек учета подбирается по 10 живых деревьев I-III классов развития по Крафту (в радиусе не более 10 м от центрального дерева ТУ). Таким образом, в целом на ППН оценке подлежат 50 деревьев. Центральные деревья выполняют только функцию привязки ППН и точек учета, они оценке не подлежат. В этой связи в качестве центра ТУ можно выбирать деревья нижних ярусов и низких классов Крафта. На ППН не учитываются и не оцениваются угнетенные деревья, деревья со сжатыми с одной или обеих сторон кронами (IV класс Крафта) и сильно угнетенные деревья (V класс Крафта), деревья из второго яруса. На каждое учетное дерево на высоте 1,3 м масляной краской наносится метка (четкая горизонтальная черта), которая должна быть обращена к центру ТУ. Если при повторном учете выясняется, что часть учетных деревьев на ТУ погибла или вырублена, в учет добираются дополнительные деревья.

Для наблюдений за растительностью нижних ярусов (подроста, подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покровов) на ТУ осуществляется закладка стационарных учетных площадок. Размер каждой учетной площадки – 5х5 м. Всего закладывается 5 площадок (по одной на ТУ). Площадки закладываются от центрального дерева ТУ в направлении на юг и на запад (рисунок 3.1).

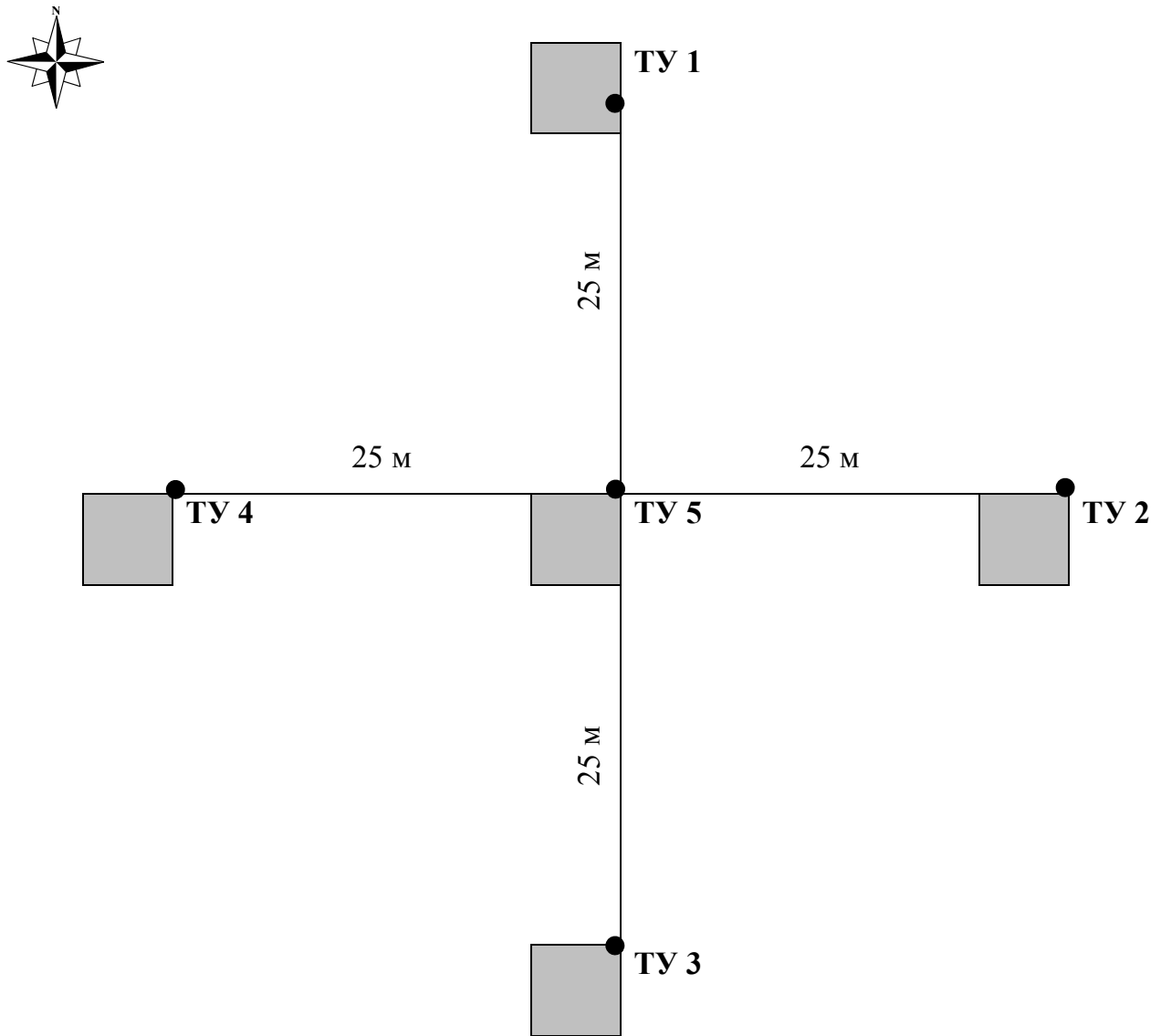


Рисунок 3.1 – Схема размещения точек учета на ППН для описания подроста, подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов

Основные показатели оценки состояния лесных экосистем

В целях подробного и комплексного изучения развития и оценки состояния лесной растительности на постоянном пункте наблюдения проводится оценка состояния деревьев, подроста, подлеска, напочвенного травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового покровов, мощности подстилки, эпифитных лишайников.

Порядок описания древостоя. Для каждого дерева определяются следующие показатели:

- порода;
- категория состояния;
- индекс состояния древостоя, %;
- дефолиации всей кроны, %;
- класс повреждения кроны;
- покрытия штамба эпифитными лишайниками, %;
- характер и степень повреждений энтомологического, фитопатологического происхождения, а также другой природы, %;
- состояние вершины, степень усыхания сучьев, %.

Описание состояния деревьев производится на основе общеевропейской методики экологического лесного мониторинга, изложенной в: Руководство по методам и критериям гармонизированного взятия образцов, оценке, мониторингу и анализу влияния загрязнения воздуха на леса // Часть I. Структура и функции ICP Forests и Часть II Визуальная оценка состояния крон. 4-е издание – 2006.

Оценка жизненного состояния деревьев проведена на основе «Санитарные правила в лесах Республики Беларусь» (Постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 19.12.2016 № 79).

Некоторые особенности методик позаимствованы из североамериканской технологии мониторинга лесов, изложенной в «Forest Health Monitoring Field Methods Guides (International - Baltics)». Washington, 1997.

Категория жизненного состояния древостоев определяется на основании расчета индекса состояния древостоя.

Шкала категорий состояния деревьев (описание категорий приводится в приложениях 4-6 к Санитарным правилам в лесах Республики Беларусь):

- 1 – без признаков ослабления;
- 2 – ослабленные;
- 3 – сильно ослабленные;
- 4 – усыхающие;
- 5 – свежий сухостой;
- 6 – старый сухостой.

Индекс состояния древостоя: параметр, на основе которого рассчитывается самый важный показатель, иллюстрирующий текущее состояние древесного сообщества, – категория жизненного состояния. Расчет индексов состояния древостоев производился по формуле (Лесные экосистемы..., 1990):

$$ИС = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N,$$

где ИС – индекс жизненного состояния древостоя; n_1 – количество здоровых (без признаков ослабления) деревьев, n_2 – ослабленных, n_3 – сильно ослабленных, n_4 – усыхающих; N – общее количество деревьев (включая сухостой).

Отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществляется на основе модифицированной шкалы В.А. Алексеева (Лесные экосистемы..., 1990), в соответствии с которой древостои с индексом состояния 90-100% относятся к категории «здоровых», 80-89% – «здоровых с признаками ослабления», 70-79% – «ослабленных», 50-69% – «поврежденных», 20-49% – «сильно поврежденных», менее 20% – «разрушенных».

Дефолиация. Степень дефолиации лежит в основе расчетов классов повреждения, индекса состояния и категорий жизненного состояния древостоя.

Наиболее ответственной работой является определение степени дефолиации (потери хвои или листвы) крон учетных деревьев. Дефолиация обусловлена комплексом абиотических и/или биотических факторов самой разной природы, среди которых сезонные особенности режимов инсоляции и увлажнения, загрязнение воздуха, недостаток питательных элементов, биотические повреждения, болезни, заморозки, засухи и др.

Дефолиация определяется с 5%-ой точностью. Для более точной и объективной оценки % дефолиации следует пользоваться фотоэталоны % дефолиации. Это особенно необходимо специалистам с небольшим опытом работы в области лесного мониторинга, а также всем без исключения – в начале сезона оценки,

По степени дефолиации деревья распределяются по 5 классам повреждения:

- 0 класс (неповрежденные деревья) – дефолиация 0-10%;
- 1 класс (слабоповрежденные) – 11-25%;

- 2 класс (среднеповрежденные) – 26-60%;
- 3 класс (сильноповрежденные) – 61-99%;
- 4 класс (усохшие деревья) – дефолиация 100%.

Для деревьев 2 и 3 классов повреждения (т.е. для деревьев с дефолиацией более 25%) в соответствии с методикой Е. Лесиньского (Лесиньски, Армолайтис, 1992) устанавливаются типы повреждения крон. На основании потерь хвои в различных частях кроны дерево относится к одному из следующих типов повреждения: базальный (низовой); очаговый (только для сосны); подвершинный (только для ели); равномерный (регулярный); верхушечный; периферийный; верхушечно-периферийный.

Эпифитные лишайники. Эпифитные лишайники – показатель чистоты или загрязненности воздушной среды. Их наличие, количество и видовой состав зависят от породного состава насаждения и типологических условий, в которых произрастает древостой. Поэтому отсутствие лишайников на учетных деревьях, например, в ельниках кисличниках, не может служить показателем загрязненности данной местности. А вот отсутствие или редкий покров эпифитных лишайников в сосняках лишайниковых, вересковых, мшистых, расположенных вблизи источников эмиссий (автомобильных трасс, промышленных объектов и пр.), является прямым показателем загрязненности воздуха на этих участках. Для каждого учетного дерева глазомерно устанавливается покрытие ствола эпифитными лишайниками на высоте до 2-х м в процентах по всей протяженности штамба с точностью до 1% при покрытии менее 5% и с точностью 5% при более высокой степени покрытия ствола лишайниками.

Повреждения учетных деревьев. При оценке учетных деревьев на ТУ желательно установить причины их повреждения: эмиссиями, вследствие изменения УГВ, под влиянием стихийных бедствий, механические, биологические, грибные и пр. Для одного дерева отмечается не более 3-х типов повреждения (указывается с помощью индексов).

Природные повреждения: энтомофитовредители: хвое- и листогрызущие, стволовые и технические, вредители молодняков, корней; болезни: хвои, листьев, стволов, корней; другие: ветровалы, снеголомы, природные механические повреждения;

Антропогенные повреждения: механические, химические, в результате нарушения водного режима, рекреационной активности, выпаса скота.

Кроме того, для каждой точки учета в радиусе до 10 м от центрального дерева (колышка) подсчитывается количество сухих деревьев с дифференциацией на старый и свежий сухостой, количество буреломных (ветровальных) и снеголомных (снеговальных) деревьев.

Порядок описания растительности нижних ярусов. На стационарных учетных площадках каждой ТУ проводится описание:

- видовой состав, жизненность и численность (обилия) подроста (по трем ступеням высоты), %;
- видовой состав и проективное покрытие подлеска, %;
- видовой состав и проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохового ярусов лесной растительности, %;
- мощность лесной подстилки, см.
- выбитость нижних ярусов лесной растительности и подстилки, %

Описание подроста. Производится подсчет числа особей (но не отдельных побегов) каждой породы по ступеням высоты (до 0,5 м; 0,5-1,5 м; более 1,5 м) и жизненному состоянию (благонадежные, неблагонадежные и сухие). Оценка естественного возобновления проводится в соответствии со шкалой оценки естественного возобновления хвойных и твердолиственных пород. Для перевода мелкого и среднего подроста к

крупному применяются коэффициенты: для мелкого подроста – 0,5; среднего – 0,8; крупного – 1,0.

Описание подлеска. На учетных площадках для каждого встречаемого вида подлесочного яруса указывается проективное покрытие с точностью до 1% при покрытии менее 5% и с точностью 5% при более высокой степени покрытия. Средняя высота вычисляется с точностью до 5 см на основе обмера высоты всех особей на учетной площадке, относящихся к виду древесной породы.

Описание травяно-кустарничкового и мохового ярусов. На учетных площадках определяется проективное покрытие мохового и травяно-кустарничкового ярусов в целом. Проективное покрытие определяется с точностью до 1% при покрытии до 5% и с точностью 5% при более высокой степени покрытия.

Мощность лесной подстилки определяется путем 5 замеров (по углам площадки и в центре) толщины лесной подстилки. В зависимости от толщины лесная подстилка относится к одному из 5 классов: 0 – отсутствует, 1 – маломощная (до 1 см), 2 – среднеспособная (1-3 см), 3 – мощная (4-5 см), 4 – высокомогущая (более 5 см).

Кроме того, для ППН в целом указываются выбитость (в %) лесной подстилки и травяно-кустарничкового яруса, степень замусоренности (в баллах), наличие редких и охраняемых видов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь (2005).

Выбитость лесной подстилки и травяно-кустарничкового яруса – процент площади, на которой подстилка и травяно-кустарничковый ярус уничтожены в результате антропогенной деятельности. Определяется глазомерно с точностью до 5%.

Наличие мусора определяется баллом от 0 до 5:

0 – мусор отсутствует;

1 – в наличии изредка встречающийся мелкий бытовой мусор (менее 0,1% площади занято мусором);

2 – в наличии часто встречающийся мелкий бытовой мусор, местами небольшие кучи мусора (до 1% площади занято мусором);

3 – в сочетании с часто встречающимся мелким бытовым мусором нередко кучи мусора, а также свалки бытового, строительного, промышленного мусора (до 5% площади занято мусором);

4 – многочисленные кучи и свалки бытового, строительного и промышленного мусора в сочетании с часто встречающимся мелким бытовым мусором (до 25% площади занято мусором);

5 – стихийными свалками мусора занято 30% площади и более.

При оценке состояния лесной растительности на пунктах наблюдений проводится учет различных угроз (как природного, так и антропогенного происхождения), которые способны нанести урон биоразнообразию ООПТ. При наличии какой-либо угрозы дается ее описание, фиксируется ее масштаб и степень проявления, указываются необходимые меры по снижению степени воздействия или полному снятию воздействия угрожающего фактора. Шкала характеристики степени проявления негативного воздействия на состояние растительного мира приведена в разделе 5.

При наличии *охраняемых видов растений* в пределах выдела с ППН проводится краткое описание ценопопуляций по следующим показателям:

- площадь (м²);
- глазомерная оценка численности (шт);
- доминирующая фаза развития (вегетация, бутонизация, цветение, плодоношение, обсеменение, отмирание);
- поврежденность (%) с указанием причины повреждения (энтомовредители, бо-

лезни, антропогенные и природные механические, нарушение водного режима, рекреация, прочие).

Периодичность наблюдений на ППН мониторинга лесных экосистем.

Наблюдения за состоянием лесных экосистем на ООПТ проводятся 1 раз в 5 лет. При наличии фактора угрозы высокой степени проявления для лесного фитоценоза наблюдения могут проводиться 1 раз в 3 года.

3.2 Методика и показатели оценки состояния луговых и болотных экосистем

Мониторинг луговых и болотных экосистем на ООПТ – система комплексных наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния лугов и болот под влиянием антропогенных и природных воздействий на ООПТ.

Объектом оценки состояния луговых и болотных экосистем на ООПТ является – травянистая растительность естественных (природных) лугов и болот, включающая растительность суходольных или материковых, низинных и пойменных лугов; травяных болотах с доминированием гидрофитно-травяной растительности (осоки, тростник, рогоз и пр.) и моховых болотах с доминированием гидрофитно-моховой растительности (сфагновые мхи);

Объектом локальной сети пунктов наблюдения мониторинга луговой и болотной растительности являются ключевые участки (КУ) – пункты наблюдения линейного типа (эколого-фитоценотические профили), объединяющие совокупность постоянных пробных площадок. Протяженность ключевого участка устанавливается в зависимости от размеров исследуемого типа растительности и его фитоценотической структуры. Непосредственное наблюдение осуществляется на *постоянных пробных площадках* (далее – ППП), расположенных на КУ по линии эколого-фитоценотического профиля. ППП имеют фиксированные размеры и форму, закреплены натурно и планово-картографически. Для каждого КУ составляется паспорт и ведутся карточки ППП (приложение Б).

ППП представляют собой участки ЛБР в пределах одного фитоценоза, характеризующиеся однородностью растительного покрова, общностью условий произрастания и хозяйственного использования травостоя. Пробные площадки закладываются, как правило, последовательно вдоль линии профиля в основных или важных для оценки фитоценозах. Размер ППП – 100 м². Конфигурация ППП прямоугольная или квадратная, выбирается в зависимости от пространственного размещения сообществ.

Проектирование локальной сети пунктов наблюдений КМЭ ООПТ в луговых, и болотных экосистемах. При проектировании сети КУ исходят из следующих принципов:

- Сеть должна отражать региональные тенденции развития луговых и болотных экосистем.
- Сеть должна быть репрезентативной по отношению к типологической структуре лугов и болот ООПТ.
- Сеть должна быть репрезентативной по отношению к площади ООПТ.
- Приоритетными являются: естественные луговые и болотные экосистемы, не претерпевшие существенного антропогенного преобразования (интенсивный многолетний выпас крупного поголовья скота, осушение в целях сельхозпользования и торфоразработки, улучшение травостоя и т.п.) или с низкой степенью преобразования; с наличием редких и/или ценных сообществ.
- КУ закладываются в пределах антропогенно преобразованных лугов и болот, если их доля составляет не менее 25% от площади всех луговых и болотных экосистем

ООПТ, для мониторинга за демутационными процессами луговой и болотной растительности.

– На ООПТ, в пределах которой луговые и/или болотные экосистемы распространены ограниченно и занимают незначительную площадь, КУ закладываются в том случае, если данные экосистемы являются особо ценными или редкими для региона/республики.

Проект сети КУ может быть изменен или дополнен в процессе полевых работ. При создании проекта сети КУ и работе в поле используются топографические карты масштаба 1:100000 или 1:50000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений масштаба 1:25000, материалы землеустройства, дистанционной съемки.

Документация и оформление материалов полевых работ.

Для каждого КУ оформляется «Паспорт ключевого участка» (приложение Б). Паспорт состоит из обложки и бланков-вкладышей. На обложке указываются данные о местоположении КУ, приводится схема расположения КУ на местности, дается характеристика экосистемы и КУ. В бланки-вкладыши заносятся наблюдаемые на КУ показатели (см. приложение Б). При повторных обследованиях заполняется новый вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад.

Материалы и оборудование, необходимые для проведения полевых работ при закладке ключевых участков в луговых, болотных и пустошных экосистемах:

- GPS-приемник.
- Планы лесонасаждений лесничеств М 1:25 000, топографические карты М 1:50 000 или 1:100 000, схема ООПТ, землеустроительные схемы.
- Программа-методика работ, паспорт КУ с бланками-вкладышами.
- Фотоаппарат.
- Жидкостной компас.
- Рулетка длиной 30 м или 50 м.
- Рулетка длиной 1-2 м.
- Мерные рейки высотой 1-2 и 5 м.
- Топор.
- Ручная пила (ножовка).
- Нож.
- Весы рычажные или пружинные.
- Шпагат.
- Масляная или акриловая краска для наружных работ, кисти.
- Гербарная сетка (или папка).
- Полиэтиленовые и полотняные мешки.
- Металлический щуп длиной 1-1,5 м.

Сроки проведения наблюдений.

Оптимальным следует считать период цветения и плодоношения большей части видов растений – с 15 июня по 15 августа. Для обеспечения высокой достоверности результатов, разница во времени между наблюдениями в разные годы на одних и тех же КУ не должна превышать 1 декаду, т.е. 10 дней.

Определение места закладки КУ на местности, его привязка, порядок закладки и обозначение в натуре.

Ключевые участки располагаются в репрезентативных участках болота или луга, в пределах которых формируются характерные для данных условий растительные сообщества. Главная исследуемая фитоценотическая единица – ассоциация. Описание ассоциаций осуществляется в пределах 10-метровой полосы (по 5 м с обеих сторон ли-

нии профиля). На профиле закладываются постоянные пробные площади (ППП). Количество ППП зависит от фитоценотической структуры сообщества.

КУ и ППП должны иметь инструментальную привязку с указанием географических координат, а также точный административно-территориальный и административно-хозяйственный адреса, которые приводятся в паспорте в соответствии с материалами землеустройства или лесоустройства. Начало ЭФП на КУ закрепляется на местности путем нанесения определенной маркировки установленного образца на специально установленном знаке (репере) или имеющемся в натуре хорошо заметном стационарном искусственном сооружении, природном объекте (крупном живом дереве, валуне).

Начало ключевого участка привязывается к хорошо заметным стабильным ориентирам: квартальным просекам, трассам, канавам, геодезическим знакам, дорогам и т.п. Расстояние от начала профиля до этих ориентиров измеряется мерной лентой или шагами, направление – по азимуту. Место на ориентире, от которого начинает измеряться расстояние, обозначается краской на деревьях, крупных валунах, опорах ЛЭП и т.п. с указанием направления (стрелка) или же забивается столбик, у которого делается небольшая насыпь (курганчик). На ориентир наносится название пункта наблюдений (например, СП-луг/бол-1: СП – заказник «Средняя Припять», луг/бол. – тип растительности, 1 – номер КУ). Привязка фиксируется в учетной карточке ключевого участка (указывается ориентир, азимут и расстояние от него до начала КУ).

В начале профиля вбивается столбик высотой до 1,5-2 м, который является и нулевой точкой ключевого участка, и дополнительным ориентиром. Профиль прокладывается при помощи мерного шнура (рулетки), который натягивается от начала ключевого участка по выбранному направлению. Направление устанавливается по компасу или другим приборам. По профилю ключевого участка на границе ассоциаций (при их смене) забиваются и маркируются колышки (высотой 1-1,5 м).

Определяются координаты начала и конца профиля (используется GPS).

Основные показатели оценки состояния луговой и болотной растительности

Геоботаническое описание растительного покрова на ЭФП проводится в рамках ассоциаций. Ассоциация – первая ступень системы типизации фитоценозов – совокупность конкретных однотипных фитоценозов, имеющих более или менее одинаковый флористический состав (прежде всего тождественный набор эдификаторов, доминантов и содоминантов, при возможности отличий по составу видов, имеющих низкое обилие), аналогичные фитоценотические среды, сходную продуктивность и экотопическую привязанность.

При описании ассоциации указывается:

- номер и название ассоциации;
- протяженность;
- особенности местообитания (элемент рельефа, мезорельеф, микрорельеф), сложение, аспект;
- видовой состав сосудистых растений, мхов и эпигейных лишайников;
- кормовая оценка травостоя, класс;
- обилие по видам (балл);
- проективное покрытие по видам (%);
- средняя высота растений по видам и по ярусам (м);
- фенологическая фаза развития по видам;
- жизненность видов-доминантов для всех надземных ярусов фитоценоза (балл);
- продуктивность доминирующих видов для травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов (ц/га);
- степень синантропизации (отношение количества синантропных растений к их общему количеству, %);

– поврежденность (балл).

Для луговых КУ дается характеристика хозяйственного использования и хозяйственного состояния участка. Для всех КУ определяется степень воздействия угрожающих факторов как антропогенного, так и природного происхождения (в баллах).

Номер и название ассоциации. Каждой ассоциации присваивается порядковый номер (нумерация начинается от нулевой вешки эколого-фитоценотического профиля).

Название ассоциации составляется из названий доминантов каждого яруса, начиная с древесного, заканчивая мохово-лишайниковым. Если в одном ярусе доминирующих растений несколько, то в названии ассоциации они соединяются плюсом (преобладающий ставится на последнее место), а между растениями разных ярусов ставится тире. Используется латинское наименование растений. Например, *Betula pendula*+*Pinus sylvestris*–*Calluna vulgaris*+*Ledum palustre*–*Sphagnum magellanicum*; *Eriophorum vaginatum*–*Oxycoccus palustris*–*Sphagnum fallax*. Желательно, чтобы названия полидоминантных ассоциаций были не слишком громоздкими.

В названиях травянистых ассоциаций принадлежность доминантов к выделенным ярусам травостоя не учитывается, поэтому все они соединяются дефисом в таком порядке, при котором доминант с наибольшим обилием ставится на последнее место. Например, луговая ассоциация с доминированием щучки дернистой, лютика едкого и овсяницы красной с явным преобладанием щучки может быть названа *Festuca rubra*–*Ranunculus acris*–*Deschampsia caespitosa*. Сообщество нарушенного местообитания с большим участием мать-и-мачехи обыкновенной, доминированием кипрея узколистного и наличием мха цератодона пурпурного – *Tussilago farfara*–*Chamaenerion angustifolium*–*Ceratodon purpureus*. При господстве в травостое одного вида злака (например, мятлика лугового) и невозможности выявления среди видов разнотравья доминантов, хотя в совокупности они играют значительную роль в фитоценозе, сообщество следует отнести к ассоциации разнотравно-мятликовой: *Mixoherbosa*–*Poa pratensis*.

Протяженность определяется с помощью мерной ленты (рулетки): отмеряется отрезок от начала до конца распространения ассоциации по линии профиля. Если линия профиля проходит вдоль границы различных соседствующих ассоциаций, а также, если профиль пересекает ассоциацию только по краю (полоса шириной менее 5 м), определяется протяженность каждой ассоциации, входящей в 10-метровую полосу. Поэтому сумма отрезков протяженности ассоциаций может не совпадать с общей длиной профиля.

Характер местообитания – совокупность экологических особенностей местности, обуславливающих возможность существования фитоценозов. При описании местообитания на КУ определяются: местоположение ассоциации в рамках мезорельефа; микро- и нанорельеф на участке, занимаемой ассоциацией; оводненность.

Изначально определяется элемент мезорельефа (горизонтальные размеры форм рельефа в десятки или сотни метров, вертикальные измеряются метрами), в пределах которого расположена ассоциация:

– холм (вершина, склон, подножье), ложбина (верхняя или нижняя часть склона, днище), низина, возвышенность (характер поверхности – волнистая, плоская, пологонаклонная, платообразная), западина, овраг (верхняя или нижняя часть склона, днище), терраса (площадка, склон, подножье), останец террасы, грива, пойма (высокая, средняя, низкая), прирусловой вал.

Далее указывается общий характер форм микрорельефа (горизонтальные размеры от 2 до 50 м, вертикальные – не выше 1 м) и нанорельефа (горизонтальные размеры до 2 м, вертикальные – до 0,5 м) в пределах ассоциации: бугры, кочки, ямы, мочажины, промоины, борозды и т.п.

Оводненность – указывается % площади ассоциации, покрытый водой и уровень воды над поверхностью почвы (от 0 и выше поверхности почвы).

Аспект – внешний вид (облик) фитоценоза, определяемый сезонными фазами развития. Указывается окраска фитоценоза и перечень растений, ее образующий, например, «аспект коричнево-зеленый с желтыми вкраплениями» – «начало колошения вейника седеющего, цветет ирис желтый». Определение облика сообщества особенно важно для луговых сообществ, поскольку они в большей степени подвергаются сезонной изменчивости. Смена аспекта ассоциации в различные годы при наблюдении в одни и те же сроки может являться показателем изменения структуры сообщества, развитии другого сообщества, условий произрастания, климатических изменений.

Флористический состав. Составляется список (перечень) всех видов растений, произрастающих в составе ассоциации, включая цветковые, высшие споровые и лишайники. Приводятся латинские названия растений.

Количество видов на единице площади называют видовой насыщенностью сообщества. При наличии видов мхов и лишайников, произрастающих только на определенном субстрате (эпифиты, эпиксилы, эпилиты), их список приводится в конце общего списка мхов и лишайников, в графе «Примечание» указывается соответствующий субстрат. Если вид мха или лишайника произрастает и на почве, и на другом субстрате, в графе «Примечание» указывается – «в том числе на «субстрат».

Кормовая оценка трав и травостоев определяется согласно литературным данным (Юркевич, Бусько, Степанович, 1987). Выделяются 5 классов кормовой ценности: I – растения высокой кормовой ценности, II – средней, III – низкой, IV – не имеющие кормовой ценности, V – растения вредные и ядовитые.

Обилие и проективное покрытие – параметры, позволяющие определить фитоценологическую роль вида в сообществе и выделить доминирующие виды. Обилие определяется по шкале Друде. Проективное покрытие определяется глазомерно: учитывается какую часть почвы в процентах на описываемом участке занимает тот или иной вид своими надземными частями.

Обилие вида – один из количественных показателей степени участия вида в фитоценозе, его распределения и плотности. Определяется для всех видов травянистых растений, кустарников и кустарничков глазомерным методом прямого учета с использованием шкалы Друде (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Шкала ступеней обилия по О. Друде (с дополнениями)

Обозначение обилия (по О. Друде)	Характеристика обилия (по О. Друде)	Среднее наименьшее расстояние между особями вида, см (по А.А. Уранову)	Проективное покрытие, %
soc (socialis)	растения смыкаются наземными частями	не более 10	Сплошь, >90%
cop3 (copiosus3)	растения очень обильны	не более 20	61-90
cop2 (copiosus2)	растения обильны	21–40	41-60
cop1 (copiosus1)	растения довольно обильны	41–100	21-40
sp (sparsus)	растения редки	101–150	5-20
sol (solitarius)	растения единичны	более 150	<5
un (unicum)	растение в единственном экземпляре	–	+

Проективное покрытие определяется глазомерно: учитывается отношение проекций надземных вегетирующих частей растений к общей площади ассоциации (протяженность $\times 10$ м), принимаемой за 100%. Определяется проективное покрытие каждого вида древесных пород (указываются отдельно проценты покрытия древостоя и подроста (Др и Пд)), кустарников, травянистых, кустарничков, напочвенных мхов и лишайников, общее покрытие растительности, а также общее покрытие отдельных групп (кустарников – Кс, кустарничков – Кч, травянистых – Т, мхов – М и лишайников – Л). Для видов ступени обилия *un* покрытие не определяется.

Точность учета проективного покрытия может быть значительно увеличена путем дробления описываемой площади на более мелкие участки: на каждом участке покрытие учитывается отдельно, а затем определяется среднее значение.

Средняя высота. Регистрируется для деревьев, кустарников, травянистых, кустарничков, напочвенных мхов и лишайников. У древесных видов определяются средняя и максимальная высота отдельно для древостоя и подроста. Высота растений напочвенного покрова и кустарников измеряется с помощью мерной рейки от почвы (или подстилки), высота деревьев при необходимости может измеряться с помощью высотомера. Средняя высота определяется как средняя величина из промеров нескольких особей одного вида. Число промеров устанавливается в зависимости от обилия вида, его проективного покрытия, площади ассоциации.

Фенологическая фаза развития – внешнее проявление сезонного развития растения от начала до конца вегетационного периода. Определяется для деревьев (исключается подрост), кустарников, травянистых, кустарничков, напочвенных мхов и лишайников. Особи одного и того же вида могут находиться одновременно в различных фенологических фазах, поэтому указывается доминирующая фаза или две доминирующие. Используются буквенные обозначения (таблица 3.2).

При доминировании фазы вегетации, но наличии некоторого количества бутонирующих, цветущих, плодоносящих и т.д. особей, необходимо указывать и эти фазы с пометкой «единично» или «незначительно». Это важно в отношении редких и охраняемых видов, видов, произрастающих на/за границей ареала. Например, *Oxycoccus microcarpus* – доминируют вегетирующие особи (В), незначительно – конец цветения (ЦЗ) – начало плодоношения (П1).

Таблица 3.2 – Система обозначений фенофаз по В.В. Алехину (с дополнениями)

Фенофаза	Буквенное обозначение
Растение только вегетирует	В
Трубкавание	Т
Бутонизация, колошение, спорообразование	Б, К, С
Начало цветения, спороношения	Ц1, С1
Полное цветение, спороношение	Ц2, С2
Отцветание, конец спороношения	Ц3, С3
Начало плодоношения	П1
Зрелые семена и споры, но не высыпаются	П2
Осыпание семян и спор	П3
Вегетация после цветения и плодоношения	В2
Вторичное цветение	Цвт
Отмирание – надземные побеги (для однолетников – все растение) отмирают	О
Мертвое растение – надземные побеги или все растение мертвы	М

Жизненность – показатель состояния особей или популяций, который характери-

зуется качественными параметрами развития и количественными параметрами роста растений. Жизненность является важнейшей характеристикой, т.к. отражает степень процветания или угнетения организма в сообществе. Жизненность оценивается по пятибалльной шкале (таблица 3.3): 5 баллов – все растения достигают максимальных для исследуемого вида размеров, цветут и плодоносят; 4 балла – часть особей достигает максимальных для исследуемого вида размеров, цветут и плодоносят; 3 балла – растения достигают средних размеров, часть растений цветет и плодоносит; 2 балла – растения не достигают средних размеров, цветут лишь отдельные особи; 1 балл – растения имеют угнетенный вид, никогда не цветут и не плодоносят.

Таблица 3.3 – Параметры определения жизненности растений

Цветение	Плодоношение	Размер особей	Жизненность, балл
обильное	обильное или хорошее	обычный + больше обычного все растения хорошо развиты	5 – очень высокая
хорошее или удовлетворительное	хорошее или удовлетворительное	обычный + средний не менее 50% растений хорошо развито	4 – высокая
удовлетворительное или слабое	удовлетворительное или слабое	средний 25- 50% растений хорошо развито	3 – средняя
слабое или очень слабое	очень слабое или отсутствует	средний + меньше среднего менее 70% растений хорошо развито	2 – низкая
очень слабое или отсутствует	отсутствует	меньше среднего все растения развиты недостаточно, угнетены	1 – очень низкая

Следует иметь в виду, что при однократном в течение сезона описании растительного сообщества можно достоверно установить только очень высокую и очень низкую степень жизненности видов. В остальных случаях, когда растения не угнетены, хорошо развиты вегетативно, но мало цветут и/или не плодоносят, точно определить степень жизненности трудно, поскольку на их жизненное состояние в данный момент могут влиять различные факторы, например, увеличение продолжительности паводка и сдвиг сезонных фаз развития, сложившиеся неблагоприятные условия (засуха, осушение и прочее), в которых растение не прошло полный цикл развития, недостаточно развилось и т.д. В данном случае при оценке жизненного состояния можно указывать интервалы между различными баллами жизненности, например, 3-4 (между средней и высокой) и т.д.

Важным параметром, характеризующим формирование фитоценоза, является *продуктивность*, которая определяется по биомассе доминирующих видов растений, для чего производится укос надземной вегетирующей части на уровне почвы на площадках площадью 1х1 м. Количество укосных площадок зависит от размера ассоциации. Если растительный покров размещается равномерно с одинаковой густотой, укос производится на 2 площадках. Если покров неравномерен и варьирует по густоте, для укоса закладываются по 2 площадки на участках с самым густым покрытием, и самым низким. Учитывается средний показатель, полученный из промеров всех укосов в пределах ассоциации. Для моховых болот определяется продуктивность сфагновых мхов. Отбор образцов производится с 4-5 площадок размером 25х25 см.

Степень синантропизации позволяет отслеживать соотношение аборигенной и

антропогенной составляющей флоры. По данному показателю мы можем судить о нарушении фитоценоза. Степень синантропизации вычисляется как по автохтонному (степень апофитизации), так и по аллохтонному (степень антропофитизации) элементам флоры.

Поврежденность оценивается для всех видов в фитоценозе. Учитываются следующие виды повреждений: фитопатологические, энтомологические, в результате воздействия сельхозтехники, выпаса, пожаров, рекреации, нарушения водного режима и пр. Шкала оценки поврежденности:

- 0 – нет повреждений;
- 1 – очень слабое (единичные растения);
- 2 – слабое (до 10% растений);
- 3 – среднее (до 25%);
- 4 – сильное (до 50%);
- 5 – очень сильное (более 50%).

Для лугов дается характеристика хозяйственного использования (действующего и бывшего) данного участка проектной территории (сенокосение, распашка, и пр.), хозяйственного состояния – качественная оценка пригодности участка для хозяйственного использования (учитываются такие характеристики как заочкованность, эродированность, обводнение и т.п.).

Угрозы. Для экосистемы, в которой заложен КУ, дается оценка состояния по отношению наличия воздействия факторов, угрожающих ее природной среде и лимитирующих ее развитие. При наличии угрозы указывается ее вид, степень воздействия на экосистему, последствия воздействия и площадь, на которой выявлено негативное воздействие угрожающего фактора (% от площади экосистемы). Перечень угроз антропогенного и природного происхождения для природной среды и дифференцированная шкала оценки степени воздействия приведены в разделе 5. При наличии какой-либо угрозы дается ее описание, определяется степень проявления и указываются необходимые меры для преодоления отрицательных последствий или снижения степени воздействия негативного фактора.

Периодичность наблюдений на ППН мониторинга лесных экосистем.

Наблюдения за состоянием луговых и болотных экосистем на ООПТ проводятся 1 раз в 5 лет. При наличии фактора угрозы высокой степени проявления для лесного фитоценоза наблюдения могут проводиться 1 раз в 3 года.

3.3 Методика и показатели оценки состояния водных экосистем

Мониторинг водных экосистем на ООПТ – система комплексных наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водоемов и водотоков под влиянием антропогенных и природных воздействий на ООПТ.

Объектом оценки состояния водных экосистем является высшая водная растительность на землях с водными объектами; в том числе водотоках (реки, ручьи, каналы), водоемах (озера, водохранилища, пруды) и родниках. Водные растения играют ведущую (энергетическую) роль в функционировании гидроэкосистем и обуславливают структуру биотического сообщества водоема.

Объектом локальной сети пунктов наблюдения мониторинга луговой и болотной растительности являются ключевые участки (КУ) – пункты наблюдения линейного типа (эколого-фитоценотические профили), заложенные перпендикулярно берегу от уреза воды.

Проектирование локальной сети пунктов наблюдений КМЭ ООПТ в водных экосистемах. КУ проектируются и закладываются на водных объектах, репрезентативных в отношении групп водоемов и водотоков ООПТ:

- различающихся по типу генезиса, характеру и степени зарастания;
- имеющих природное значение, либо обладающих уникальной флорой и фауной;
- находящихся под сильным антропогенным воздействием.

КУ ВВР на реках располагаются на основе бассейнового принципа. На крупных трансграничных реках КУ размещаются в створах пересечения границ, на реках второго и третьего порядка (длиной более 200 км) – в зависимости от гидроморфологических особенностей (устье, срединная часть, исток).

Документация и оформление материалов полевых работ.

Для каждого КУ оформляется «Паспорт ключевого участка» (приложение В). Паспорт состоит из обложки и бланков-вкладышей. На обложке указываются данные о местоположении КУ, приводится схема расположения КУ на местности, дается характеристика экосистемы и КУ. В бланки-вкладыши заносятся все наблюдаемые на КУ показатели (см. приложение В). При повторных обследованиях заполняется новый паспорт и вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад.

- Бланки описаний и паспорт КУ;
- Лодка, весла, шест длиной 2-3 м;
- Водолазный костюм, маска, ласты;
- Батиметрическая карта (картосхема глубин);
- GPS – приемник (Global Positioning System);
- Фотоаппарат;
- Смотровая труба;
- Мерная лента, рулетка;
- Секатор, ножницы;
- Металлическая рамка 0,5 x 0,5 м белого цвета для отбора проб;
- Драга;
- Серп;
- Мерный шнур;
- Кошка, якорьки;
- Эхолот или лот Воронкова для замера глубины;
- Диск Секки для измерения прозрачности воды;
- Гербарная сетка;
- Весы;
- Емкости (литровые канистры, металлические или полиэтиленовые бьюксы (банки)) для отбора и хранения образцов;
- Краска для наружных работ (0,5 л).

Сроки проведения наблюдений.

Оптимальным следует считать период цветения и плодоношения большей части видов растений – с 15 июня по 15 августа. Для обеспечения высокой достоверности результатов, разница во времени между наблюдениями в разные годы на одних и тех же КУ не должна превышать 1 декаду, т.е. 10 дней.

Определение места закладки ключевого участка на местности, его привязка, обозначение в натуре и порядок закладки.

До начала закладки, описания и картирования ВВР, следует провести рекогнос-

цировочный объезд водоема или участка реки на лодке, обход или объезд на автомобиле с берега, чтобы познакомиться с характером и распределением сообществ ВВР. Большую помощь при закладке КУ на водоемах и картировании растительности могут оказать аэрофотоснимки. При анализе снимков четко видны границы растительных сообществ. Описание и картирование растительности производится, как правило, одновременно путем объезда побережья водоема (если водоем глубокий) и целиком всего водоема (если он мелководный) на лодке с заездами к берегу, и за пределы распространения растительности (к центру). При таком объезде время от времени необходимо выходить на берег для знакомства с типом зарастания его приустьевой, низменной части, которая может затапливаться в половодье. При объезде с целью выявления растений и установления границ их распространения по глубине используются водяные грабельки, якорьки, драги, кошки. По возможности для осмотра дна используется смотровая труба.

КУ закладываются на участках с самыми распространенными ассоциациями надводных, плавающих и подводных растений. Профили КУ прокладываются при помощи мерного шнура, который натягивается в направлении от берега или уреза воды, обычно под прямым углом в отношении берега. В местах смены растительных сообществ ставятся буйки. Определяются координаты начала и конца профиля (используется GPS приемник). Направление (азимут) ПП фиксируется по компасу (буссоли и т.п.). Прокладывать ПП можно и без шнура. В случае, если профиль начинают от берега, вначале устанавливают границу распространения растительности к центру водоема (водотока) и немного далее ее ставят хорошо видимый знак (бук, шест) и гребут на лодке от берега на него, соблюдая прямую линию. На озерах и водохранилищах профиль идет от уреза воды к центру водоема до границы распространения растительности, на реках, ручьях – от берега к берегу. Количество профилей, которые нужно заложить на водном объекте для описания, количественного учета и картирования растительности, зависит прежде всего от характера и степени зарастания, а также от площади, протяженности, антропогенной нагрузки, состояния водосборной части (масштабов гидротехнической мелиорации, сельскохозяйственной освоенности и пр.).

Начало профиля привязывается, по возможности, к определенным стационарным объектам (деревья, крупные валуны, опоры ЛЭП и т.п.) или же забивается столбик. На объекте-ориентире краской наносится название КУ, например, СП–вод–1 (СП – заказник «Средняя Припять», вод – водная растительность, 1 – номер КУ). Определяются координаты начала и конца профиля (с помощью GPS приемника).

Основные показатели оценки состояния водной растительности

Описание фитоценозов осуществляется в пределах 10-метровой полосы (по 5 м с каждой стороны линии профиля).

Описание фитоценоза проводится по следующим параметрам и показателям:

- флористический состав макрофитов (шт);
- глубина распространения (м);
- обилие (балл) и проективное покрытие по видам (%);
- средняя высота растений по видам и ярусам;
- фенологическая фаза развития по видам;
- жизненность доминирующих видов (балл);
- поврежденность (балл);
- биомасса макрофитов (глазомерная и методом укусных площадок) (ц/га);
- оценка степени воздействия угрожающих факторов (балл).

Для характеристики среды обитания высшей водной растительности отбираются пробы воды и донных отложений. В образцах определяются: содержание биогенных (азот, фосфор) элементов, фитотоксичных металлов в наземной фитомассе домини-

рующих видов растений; характер водной массы (рН, прозрачность, химический состав: азот, фосфор, калий, гидрокарбонаты, кальций, магний, сульфаты, хлориды).

Данный список показателей дает разностороннюю характеристику динамики роста растений в сообществе одновременно по многим параметрам, позволяет проследить индивидуальные особенности линейного прироста и накопления массы растениями изучаемого вида. Использование при описании водной растительности показателей фенологической фазы и жизненности весьма полезно, так как с их помощью можно показать разнокачественность состояния видов в сообществе. Как известно, при описании фитоценоза помимо составления списка видов с указанием их обилия и покрытия, фиксируется ряд дополнительных характеристик. Для характеристики экологии и состояния фитоценоза следует зафиксировать особенности местообитания: глубину воды, тип грунта (песчаные, каменистые, глинистые, илистые, торфянистые), скорость течения, видимые антропогенные и другие нарушения, влияющие на поврежденность растений. Для более высокого качества экологической информации полезно, кроме того, определение химического состава воды, что в последнее время все чаще практикуется с использованием компактных аналитических приборов. Водные и околотоводные растения играют огромную роль в биогенном круговороте химических веществ, поэтому их элементный состав (в частности, содержание таких опасных поллютантов, как тяжелые металлы) может быть использован как показатель, характеризующий состояние всей водной экосистемы.

Флористический состав характеризуется полным списком растений ВВР, образующих фитоценоз. В бланк заносятся все виды, произрастающие на учетной площади. Выявление видов растений лучше делать по ярусам, начиная с верхнего – надводного. При учете растений в подводном ярусе нужно пользоваться водяными грабелями, якорьком, а иногда и смотровой трубой.

Обилие (численное обилие) – степень участия особей вида в фитоценозе (по числу особей, проективному покрытию и т.д.) – определяется глазомерно по модифицированной шкале Друде (см. таблицу 3.1). Список растений с отметками обилия видов по Друде называется квалифицированным списком.

Площадь покрытия или *проективное покрытие* – площадь горизонтальных проекций растений на поверхность грунта (дно) – выражается в процентах поверхности ПП, которая принимается за 100 %. Различаются общее проективное покрытие, или проективная полнота, ярусное покрытие, проективное обилие (проективное покрытие отдельных видов). Определение проективного покрытия производится при помощи квадратной рамы или двойной круглой рамы размерами 0,5-1 м² с натянутой масштабной сеткой с ячейкой 10x10 см. Проективное покрытие может определяться с помощью других приспособлений: сеточки, зеркальной сеточки, масштабной вилочки (Раменский, 1937).

Жизненность (приспособленность растений к условиям местообитания) различается по следующим ступеням:

- 1 – растения явно угнетенные;
- 2 – вегетативное развитие ниже нормального, способность цвести и плодоносить не утрачена;
- 3 – растения с полным циклом развития, нормального роста, цветут и плодоносят;
- 4 – развитие растений выше нормального;
- 5 – чрезмерное (аномальное) развитие растений.

Фенологическое состояние – обозначение фенофаз. Запись фенологических фаз производится буквенными обозначениями по А. П. Шенникову (Шенников, 1950):

- в – растение только вегетирует (фаза вегетации);
- б – наличие бутонов (фаза бутонизации);
- ц – наличие цветков (фаза цветения), н.ц. – начало, к.ц. – конец цветения;
- с – созревание плодов (фаза плодоношения);
- п – наличие зрелых плодов и обсеменение (фаза обсеменения);
- о – отмирание (сезонное).

Различные особи одного и того же вида могут находиться на ПП одновременно в различных фенологических фазах. В этом случае в бланке у данных видов проставляется сразу несколько обозначений.

Поврежденность растений – показатель степени нарушенности растения. Оценивается визуально и выражается в баллах в соответствии со шкалой:

- 0 – нет повреждений;
- 1 – очень слабое (поражение единичных растений);
- 2 – слабые повреждения (поражение до 10% листьев и особей), не оказывающие заметного влияния на рост и развитие растений;
- 3 – среднее (поражение до 25% листьев и особей);
- 4 – сильное (поражение до 50% листьев и особей);
- 5 – очень сильное (поражение более 50% листьев и особей в популяции).

Картирование высшей водной растительности. Чтобы показать распределение ВВР в водоеме и определить площади, занимаемые растительными сообществами, необходимы крупномасштабные карты или планы, желательны с нанесенными глубинами. Однако, на картах не всегда удастся воспроизвести распределение отдельных сообществ ВВР и определить занимаемые ими площади. Поэтому, кроме общей картосхемы для наиболее важных, густо заросших участков, составляются планы крупного масштаба (вплоть до М 1:1000). На эти планы наносятся фитоценозы, занимающие небольшие площади. При составлении картосхем и планов наносятся границы не только хорошо видимой растительности, но и находящихся под водой и плохо видимых сверху сообществ, сформированных погруженными и мелкими придонными растениями.

Картосхема распределения сообществ ВВР составляется глазомерно с лодки в сочетании с измерениями расстояний и протяженности сообществ ВВР гребками, мерным шнуром, а у берегов и на берегах – рулеткой, мерной лентой и т. д. или с летательных аппаратов. При картировании растительности на отдельных участках водоема (водотока) или на малых водоемах можно использовать пикетажную съемку. При этом буйками или вешками участок разбивается на пикеты-квадраты, в пределах которых и наносятся границы сообществ ВВР. При оформлении картосхем распределения ВВР для обозначения наносимых на нее единиц растительности (ассоциаций, формаций и т. д.), пользуются условными знаками – разным цветом, типами штриховок или значками. Редко встречающиеся виды, можно обозначить начальными буквами их родового или видового названия, или условными знаками.

Для оценки степени зарастания водоемов используется следующая шкала:

- 5+ – зарастание чрезмерное, растительностью покрыто более 50 % поверхности водоема;
- 5 – очень большое (от 1/3 до 1/2 поверхности, 36 - 50 %);
- 4 – большое (от 1/5 до 1/3 поверхности, 21 - 35 %);
- 3 – среднее (от 1/10 до 1/5 поверхности, 11 - 20 %);
- 2 – небольшое (от 1/50 до 1/10 поверхности, 3 - 10 %);
- 1 – ничтожное (от 1/100 до 1/50 поверхности, 1 - 2 %).

По составленным схемам определяется площадь, занятая ВВР в водоеме, а также площадь отдельных ее сообществ.

Определение продуктивности высшей водной растительности. Оценка продуктивности ВВР строится на определении зеленой (надземной) растительной массы весовым методом в период их максимального развития, за который принимается время массового цветения растений. Максимальная фитомасса приравнивается к их годовой продукции. При вычислении продукции ВВР по максимальной фитомассе для водоемов средних широт вводится поправочная надбавка (+10 – 20%) (Белавская, 1979).

Определение фитомассы производится на укосных площадках (далее – УП) квадратной формы размером от 0,25 до 1 м² (иногда больше) во время массового цветения вида – доминанта сообщества. С УП, отграниченной рамой, шпагатом или другим способом, срезаются у поверхности грунта все растения и взвешиваются. В зависимости от специфики работы определяются сырая, воздушно-сухая и абсолютно сухая (т.е. масса (вес) растений, высушенных в сушильном шкафу) масса, зольность, химический состав растений. Необходимая повторность и размеры площадок в каждом конкретном случае определяются сложностью строения, густотой стояния и размещением компонентов травостоя ВВР.

УП малого размера (0,5-0,25 м²) берутся в большем количестве, чем большие (1-4 м²). В сообществах с однородным густым травостоем и в одновидовых зарослях УП закладывается меньше, чем в сообществах с неоднородным сложным сообществом (Солоневич, 1971). В сообществах тростника и хвоща зарослевого типа сложения закладывается 5-10 площадок размером 0,5-1 м², а в травостоях с неоднородно-групповым сложением – по 15-20 площадок. В сообществах с изреженным травостоем рекомендуется брать 5-10 УП в 1 м² и больше в различных его частях. В зарослях кувшинок и кубышек размер УП – 2-4 м².

Если для взятия проб на фитомассу используются зарослечерпатели, дночерпатели, драги, площадь захвата которых мала, необходимо так рассчитать количество опусканий, чтобы ими была покрыта площадь хотя бы в 0,25 или 0,5 м². При проведении укосов обязательно учитываются размеры сообщества ВВР. Полученные средние значения надземной фитомассы сообщества затем пересчитываются на всю его площадь в водоеме. Для оценки продуктивности ВВР небольших водоемов с относительно однородной растительностью ограничиваются небольшим количеством укосов.

При взятии укосов употребляются различного типа рамы. Раму рекомендуется оставлять на плаву, укрепляя по углам кольями. Такое положение рамы удобно, поскольку поднимающиеся вверх во время выкашивания растения и их части не расплываются, а задерживаются внутри рамы. На мелких местах (до глубины 0,6 м) растения срезаются ножом, ножницами, серпом, секатором и выбираются (стоя в воде или из лодки) вручную. Выборку растений лучше начинать с центра площадки, за исключением гелофитов с густым травостоем, которые следует срезать, начиная с одной из сторон УП.

Укосы на глубинах более 1-1,5 м выкашиваются косой с лодки. В первую очередь срезаются растения, растущие в центре площадки, а затем – по ее краям. После каждого-двух резов косой следует выждать, не вынимая косы из воды, пока скошенные растения не всплывут на поверхность воды, а затем выбрать их в лодку.

Перед обкосом УП крупные взвешенные в толще воды и плавающие на поверхности растения извлекаются руками или водяными грабелями, мелкие – вылавливаются сачком или решетом. Зарослечерпатели, скребки, драги и другие инструменты для отбора растений с УП, ограниченных рамой, непригодны. Только в некоторых

случаях на илистых, мягких донных отложениях для извлечения растений можно пользоваться водяными грабелями.

В случаях, когда на глубоких местах берется УП более 1 м² (например, в ценозах кувшинки и кубышки), она оконтуривается шнуром. Для этого намечается квадрат или прямоугольник площадью 2 или 4 м², по углам которого устанавливаются колья. Далее, между тремя из них натягивается шнур, отмечающий границы УП с трех сторон. Одна из сторон остается свободной (без натянутого шнура) для въезда лодки. Лодка во время скашивания укрепляется и удерживается только при помощи специального шеста – якорь опускать нельзя.

Скашивание следует начинать с центра площадки. Для отбора количественных проб глубоководных придонных растений используются зарослечерпатели.

В процессе выборки выкошенные растения отмывают, очищают от грязи, обрывают, предварительно сортируют по группам. Укос снабжается этикеткой и регистрируется в дневнике. В этикетке указывается номер укоса, название водоема и фитоценоза, место и дата сбора, глубина, донные отложения (по визуальной оценке), способ взятия, площадь укосной площадки. Если при этом берутся пробы донных отложений и воды, то указываются их номера. На больших глубинах укосы лучше брать, погружаясь в воду в легких водолазных костюмах или с аквалангом. При этом применяется окрашенная в белый цвет металлическая рама.

Далее укос складывается в марлевый мешок или завертывается во влажные простыни и пленку, перевязывается веревками. Укосы доставляются на базу или в лабораторию для обработки. Обработку укосов желательно производить в этот же или на следующий день. Регистрация укосов и запись результатов их обработки производится в паспорте КУ (см. приложение Б).

Для каждого ключевого участка указывается перечень существующих угроз. При наличии какой-либо угрозы дается ее описание, определяется степень проявления и указываются необходимые меры для преодоления отрицательных последствий или снижения степени воздействия негативного фактора. Шкала степени проявления негативного воздействия на состояние растительного мира приведена в разделе 5.

Периодичность наблюдений на ППН мониторинга водных экосистем.

Наблюдения за состоянием водных экосистем на ООПТ проводятся 1 раз в 5 лет. При наличии фактора угрозы высокой степени проявления для лесного фитоценоза наблюдения могут проводиться 1 раз в 3 года.

3.4 Методика и показатели оценки состояния популяций охраняемых и инвазивных видов растений

Мониторинг охраняемых и инвазивных видов растений осуществляется на постоянных пунктах наблюдений (ППН).

Принципы размещения и выделения ППН:

- репрезентативность сети пунктов наблюдений в отношении совокупности известных местонахождений конкретного вида;
- репрезентативность ППН в отношении величины наблюдаемой популяции вида, что достигается полным включением популяции в границы ППН, или, в случае значительного размера популяции, репрезентативностью, вошедшей в состав ППН части популяции;
- репрезентативность ППН в отношении эколого-фитоценологических условий произрастания, характерных для вида;

Документация и оформление материалов полевых работ.

Для каждого ППН оформляется «Паспорт ключевого участка» (приложение Г). Паспорт состоит из обложки и бланков-вкладышей. На обложке указываются данные о местоположении ППН, приводится схема расположения ППН на местности, дается характеристика популяции. В бланки-вкладыши заносятся все наблюдаемые на ППН показатели (см. приложение Г). При повторных обследованиях заполняется новый паспорт и вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад. Для проведения МОВР необходимы следующие материалы и инструменты:

- Бланки паспорта ППН;
- Топографические карты (М 1:100 000 или 1:50 000), планы сельскохозяйственных угодий или земель лесного фонда (М 1: 25 000 или 1:10 000);
- GPS – приемник;
- Фотоаппарат;
- Рулетки (на 2 м и 20-50 м);
- Топор;
- Нож складной;
- Компас;
- Маркировочные флажки (не менее 10);
- Гербарная сетка (или папка);
- Мерные (метровые) палочки (4 шт.);
- Лопатка;
- Планшет А4;
- Линейка на 30-100 см;
- Шариковая ручка, простой и цветные карандаши;
- Краска (светлая) для наружных работ (0,5 л).

Сроки проведения наблюдений

Мониторинговые наблюдения за состоянием популяций видов, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь, осуществляются в период, индивидуально установленный для каждого вида растений в зависимости от его биологии, и ограничиваются периодом цветения и плодоношения (Красная книга, 2005).

Определение места закладки ключевого участка на местности, его привязка, обозначение в натуре и порядок закладки.

Для закладки ППН сначала необходимо получить представление о территориальном размещении популяции, ее протяженности в пространстве и площади, о фитоценотической приуроченности и распределении вида с учетом рельефа местности.

Привязка ППН фиксируется схематично с указанием расстояния и азимута от ориентира до пункта учета. Привязывается к хорошо заметным стабильным ориентирам: квартальным просекам, трассам, канавам, геодезическим знакам, дорогам и т.п. Расстояние до этих ориентиров измеряется мерной лентой или шагами, направление – по азимуту с помощью компаса. Место на ориентире (деревья, крупные валуны, опора ЛЭП и т.п), от которого начинает измеряться расстояние, обозначается краской с указанием направления (стрелка) или же забивается столбик, у которого делается небольшая насыпь (курганчик).

Для определения местонахождения пункта наблюдения на местности выбирается и маркируется центральное дерево. По периметру дерева на высоте 1,5-2 м масляной краской рисуется сплошная линия, шириной около 2-х см, сверху над линией делается следующая надпись: МРМ/КК - №... (номер присваивается координатором данного направления мониторинга).

Если дерево в центре пункта наблюдения отсутствует, в землю вкапывается столбик высотой 1-1.2 м с таким расчетом, чтобы его можно было легко обнаружить при повторном обследовании.

Кроме ориентиров ППН, на схеме фиксируется также расположение всех учетных площадок с указанием расстояния между ними. Расстояние между площадками записывается цифрами без привязки к квадратам схемы.

В натуре каждая учетная площадка закрепляется по углам колышками высотой 10-30 см (над уровнем мохового покрова или дернины). Наилучшим материалом для изготовления колышков являются сухостойные деревца или особи подроста хвойных пород диаметром 6-10 см.

В примечание записывается любого рода информация, способствующая с наименьшими затратами найти пункт наблюдения и учетные площадки мониторинга при повторных обследованиях.

Определяемые параметры

При проведении мониторинга охраняемых/инвазивных видов растений определяются следующие показатели (прямые и косвенные) состояния популяций:

- видовой состав фитоценоза;
- площадь, занимаемая популяцией (по внешнему контуру), кв.м или га;
- тип ценотической популяции;
- численность популяции (количество особей, клонов, парциальных кустов или иных счетных единиц), шт;
- плотность (минимальная/средняя/максимальная), шт/кв. м или шт/га;
- жизненность популяции наблюдаемого вида (видов), балл;
- возрастной спектр популяции, %;
- возобновление популяции, балл;
- характер размещения наблюдаемого вида в сообществе;
- проективное покрытие по видам, %;
- обилие по видам, балл;
- фенологическая фаза развития наблюдаемого вида (видов);
- мощность генеративных особей, см, шт;
- поврежденность растений с оценкой характера повреждения, %.

Для популяций инвазивных видов растений дополнительно указываются:

- проведенные мероприятия по предотвращению распространения и истреблению вида (примененные способы борьбы, сроки их проведения);
- эффективность проведенных мероприятий (сокращение площади популяции, ее численности и жизненности);

Общие характеристики популяции

Популяции видов могут характеризоваться как многочисленная (более 50 генеративных растений) или малочисленная (менее 50). В зависимости от этого, исследователем выбирается форма учета популяции (сплошной пересчет или учет на площадках) и подчеркивается.

Сплошной пересчет. Данная форма учета проводится при численности популяции менее 50 генеративных растений и производится без закладки учетных площадок с пересчетом всех особей популяции.

Учет на площадках. Данная форма учета проводится при численности популяции более 50 генеративных растений.

Размер площадок выбирается исследователем, исходя из размера растений и плотности популяции. *Размер площадки*, на которых осуществляется исследование,

может варьировать:

- для травянистых и мохообразных растений – от $0,1 \text{ м}^2$ до 4 м^2 ,
- для подроста – от 1 м^2 до 25 м^2 ,
- для взрослых деревьев, кустарников – от 100 м^2 до $\frac{1}{4} \text{ га}$.

Необходимо стремиться к такому размеру, чтобы плотность растений (или подушек/куртин на одну учетную площадку) в среднем была не ниже 3-4 экз. (оптимально 8-10 экз.) на одну учетную площадку. Если закладывать одну большую площадку, то желательно разделить ее на серию более мелких, так как сплошной пересчет растений на большой площади затруднителен и требует специальной отметки для учтенных растений.

Тип популяционной единицы. Организацию комплексного мониторинга фитопопуляций рекомендуется проводить на основе системы пространственно-территориальных популяционных единиц и, в частности, с использованием ландшафтно-территориального подхода (Заугольнова, Денисова, Никитина, 1993; Заугольнова, Смирнова, Комаров и др., 1993).

Каждый вид растений представлен в природе совокупностью популяций разного ранга. Иерархический ряд популяционных единиц при использовании ландшафтно-территориального подхода вышеназванных авторов выглядит следующим образом: *ценоотическая популяция*, *экотоотическая* (соответствует элементарному ландшафту), *катенная* (занимает геохимическую катену), *популяция речного бассейна*, *региональная* (или географическая). В зависимости от степени неоднородности элементарного ландшафта и сукцессионной нарушенности растительных сообществ соотношение между ценоотической и экотоотической популяциями будет различным: они могут совпадать (если элементарный ландшафт занят фитоценозом одного типа), либо экотоотическая популяция включает несколько ценоотических.

Наиболее часто используемой ландшафтно-территориальной единицей оказывается *ценопопуляция*, которая выделяется в границах одного из компонентов ландшафта – фитоценоза, т.е. ценопопуляции рассматриваются как совокупность растений одного вида в пределах определенного фитоценоза (Корчагин, 1964; Работнов, 1964).

Ценопопуляция представляет основной объект изучения при исследовании состояния видов растений, она относительно легко выделяется в природе и доступна для изучения по размерам. Границы между ценопопуляциями соответствуют границам фитоценозов (в ранге ассоциации). В частности, границы и размеры ассоциации в целях унификации работ рекомендуется трактовать в соответствии с классификацией растительности, разработанной белорусскими геоботаниками (Юркевич, 1980).

Счетная единица. В связи с разнообразием жизненных форм растений весьма существенным при изучении популяции является *вопрос о счетной единице*, т.е. индивиде. Только точное указание объема счетной единицы дает возможность сопоставлять материал различных исследований.

Разный объем счетных единиц у растений связан с разнообразной структурой побеговой и корневой системы и высокой степенью автономности отдельных частей растения. В процессе формирования ценопопуляционно-онтогенетических представлений стала очевидной необходимость выделения двух счетных биологических единиц: единицы онтогенетического развития (морфологической) и единицы воздействия на среду (фитоценоотической). Морфологическая счетная единица соответствует целостному организму (особи), фитоценоотическая представляет единый центр воздействия на среду.

В качестве счетной единицы у значительного числа жизненных форм обычно используется *особь*. Особь представляет собой морфологически и физически целостное (непрерывное) образование. Она может развиваться из семени или любого вегетатив-

ного зачатка (т. е. в результате вегетативного размножения). Особи вегетативного происхождения можно называть партикулами. Особь является морфологической счетной единицей.

В качестве счетной единицы у плотно-и рыхлодерновинных злаков или компактных короткокорневищных растений может выступать как особь (семенного или вегетативного происхождения), так и совокупность особей вегетативного происхождения – *клон*. В данном случае морфологическое содержание счетной единицы различно (особь – много особей), но общим признаком является то, что и особь, и клон соответствуют более или менее компактному центру воздействия на среду; таким образом, и клон, и особь выступают в качестве фитоценотической счетной единицы.

У длиннокорневищных и корнеотпрысковых видов счетная единица может быть представлена частью растения – *побегом или кустом*. Такая счетная единица позволяет исследовать популяции видов без раскопки. Подсчетом побегов (отдельно генеративных и вегетативных) иногда приходится ограничиваться и у короткокорневищных растений, если границы клонов и особей очерчены плохо.

У мохообразных выделяют следующие жизненные формы: *отдельное растение, подушка, рыхлая дерновина, плотная дерновина, куртина*.

При исследовании редких растений основное затруднение возникает в связи с тем, что раскопка растений нежелательна или вообще невозможна. Для исключительно редких видов представление о жизненной форме растений, способах его размножения можно получить в результате анализа уже имеющегося гербарного материала, коллекций ботанических садов, а также на основе выращивания растений из семян. В ряде случаев можно использовать поверхностную раскопку на 2-3 см с последующим выравниванием поверхности.

Фенологическая фаза развития – обозначение фенофаз. Наиболее удобными в работе следует считать буквенные обозначения фенологических фаз по А.П. Шенникову (Шенников, 1950):

- в* – растение только вегетирует (фаза вегетации);
- б* – наличие бутонов (фаза бутонизации);
- ц* – наличие цветков: *н.ц.* – начало цветения; *к.ц.* – конец цветения;
- с* – созревание плодов (фаза плодоношения);
- п* – наличие зрелых плодов и обсеменение (фаза обсеменения);
- о* – отмирание.

Различные особи одного и того же вида могут находиться на площадке одновременно в различных фенологических фазах. Указывается доминирующая фаза развития в ценопопуляции.

Площадь, занимаемая популяцией, в зависимости от размера указывается в *га* или *кв.м*. Площадь занимаемой популяцией может быть определена:

- прямым измерением на местности с помощью рулеток контуров популяции. Как правило, это относится к малочисленным популяциям, занимающим незначительные площади;
- относительно размеров выдела, квартала по лесоустроительным материалам при значительных размерах занимаемой площади в рамках лесного фонда.

Численность – это общее число растений вида в пределах территории, занятой ценопопуляцией. Этот показатель определяется лишь для популяций с малой численностью (1-100 экз.). В иных случаях в графе «численность» указывается – более 100 экз. – без подсчета.

Плотность – это число растений, приходящихся на единицу площади. Указыва-

ется минимальная, средняя и максимальная плотность (определяется методом выборки на пробных площадках). При сплошном пересчете указывается средняя плотность.

Проективное покрытие – площадь горизонтальных проекций растений на поверхность пункта наблюдений – выражается в процентах поверхности пробной площади, которая принимается за 100 %.

Обилие вида – под обилием понимается степень участия особей вида в фитоценозе (по числу особей, массе, проективному покрытию и т. д.). Для глазомерной оценки обилия видов в фитоценозе используются различные шкалы и чаще всего шкала Друде, в которой баллами (словами) обозначены ступени обилия того или иного вида (Понятовская, 1964):

soc – обильно, образует фон, смыкается;

cor₃ – очень много;

cor₂ – много;

cor₁ – довольно много;

sp – мало, вкраплено в основной фон других растений;

sol – единично;

un – встречается единственный экземпляр;

gr – встречается группами. Это обозначение ставится рядом с категорией обилия.

Корреляция шкалы Друде с проективным покрытием (soc – более 75%, cor₃ – 75-51%, cor₂ – 50-36%, cor₁ – 35-21%, sp – 20-5%, sol – менее 5%).

Возрастной спектр популяции – это распределение особей в популяции по биологическому (онтогенетическому) возрасту. Исследованию возрастного спектра популяции должно предшествовать исследование возрастного развития растений от семени до естественного отмирания в результате старения. Следует отметить, что период старения отсутствует у однолетних и малолетних монокарпиков и в разной степени выражен у поликарпиков. Для выделения возрастных групп исследуемого вида просматривают и сопоставляют особи вида на разных стадиях онтогенеза, вычлняя морфологические признаки, характерные для основных этапов и выстраивая возможно более полный возрастной ряд развития.

У разных видов возрастные изменения проявляются различно, но в наиболее общей форме отдельные возрастные состояния можно охарактеризовать следующими качественными признаками:

pl – смешанное питание за счет веществ семени и ассимиляция первых листьев, наличие морфологической связи с семенем, наличие зародышевых структур: семядолей, зародышевого побега и корня;

j – простота организации, несформированность признаков и свойств, присущих взрослой особи: наличие листьев иной формы и расположения, чем у взрослых растений, иной тип нарастания и ветвления (или отсутствие ветвления) побегов, возможно усложнение типа корневой системы, сохранение некоторых зародышевых структур (корня, побега), потеря связи с семенем, отсутствие семядолей;

im – наличие свойств и признаков переходного состояния от ювенильных растений к взрослым: развитие листьев, побеговой и корневой системы переходного (полу-взрослого) типа, появление отдельных взрослых черт в структуре побегов (смена типов нарастания, начало ветвления, появление плагиотропных побегов и др.), сохранение отдельных элементов первичных (зародышевых) структур;

v – преобладание взрослых черт в структуре особи: развитие характерных для вида взрослых листьев, побеговой и корневой системы;

g¹ – дальнейшее развитие взрослых структур: появление генеративных побегов, усиление процессов роста и формообразования в побеговой и корневой системах;

g^2 – максимальное развитие побеговой и корневой системы особи, окончательное становление ЖФ (обычно максимальные для вида значения размеров, биомассы, интенсивности и порядков ветвления, максимум числа генеративных побегов, наибольшая семенная продуктивность); уравнивание процессов новообразования и отмирания;

g^3 – упрощение ЖФ: ослабление процессов роста и формообразования в побеговой и корневой системах; потеря способности к разрастанию, уменьшение порядков ветвления, размеров, биомассы, резкое снижение числа генеративных побегов; преобладание процессов отмирания над процессами новообразования;

ss – дальнейшее упрощение ЖФ: полное отсутствие генеративных побегов, смена способов нарастания, потеря способности к ветвлению, вторичное появление из спящих почек побегов переходного (имматурного) типа, часто уменьшение размеров и биомассы особи; значительное преобладание процессов отмирания над процессами новообразования;

s – предельное упрощение ЖФ, вторичное появление некоторых детских черт в структуре особи (ювенильных листьев), потеря способности к ветвлению побегов и иногда к формированию почек возобновления, предельное уменьшение размеров и биомассы;

sc – отсутствие живых побегов: преобладание отмерших частей растений, наличие единичных жизнеспособных спящих почек.

Для редких видов растений выделения возрастных состояний оказывается весьма сложными в связи с тем, что такие исследования часто требуют раскопки, а для большинства этих видов это невозможно. Поэтому следует ориентироваться в основном на предварительный просмотр гербария, коллекции ботанических садов, сопоставление с видами сходной жизненной формы и т. д. К настоящему времени изучены и опубликованы диагнозы возрастных состояний ряда луговых и лесных растений (Диагнозы и ключи..., 1980, 1983, 1987, 1989; Онтогенетический атлас..., 1987, 2000, 2002, 2004), что облегчает задачу их популяционного мониторинга. В случае невозможности установления возрастной группы достаточно определить возрастной период онтогенеза: прегенеративный, генеративный или постгенеративный в процентном отношении.

Оценка возобновления популяции проводится глазомерно. При оценке возобновления следует учитывать обилие подроста и его состояние. Под состоянием понимается степень жизненности или угнетения подроста.

0 – возобновление отсутствует

1 – неудовлетворительное – необходимы мероприятия по содействию естественного возобновления

2 – удовлетворительное – требуются частичные меры по содействию естественного возобновления

3 – хорошее – мероприятия не требуются

4 – очень хорошее

Тип популяции – определяется на основе установленных возрастных онтогенетических спектров; различают три типа популяции:

– инвазионная – в спектре представлены лишь прегенеративные возрастные группы. Ценопопуляция не способна к самоподдержанию;

– нормальная – в спектре представлены все или почти все онтогенетические группы растений. Ценопопуляция не зависит от заноса зачатков извне;

– регрессивная – в спектре представлены лишь постгенеративные растения. Ценопопуляция потеряла способность к самоподдержанию.

Типы популяций (инвазионная, нормальная, регрессивная) соответствуют круп-

ным этапам развития ценопопуляций: возникновению, полному развитию и угасанию.

Мощность генеративных особей – показатели различных размерных признаков растения. Мощность растений значительно колеблется у одного и того же вида по годам, в разных эколого-географических, ценоотических условиях и при различных антропогенных воздействиях. Снижение степени развития особей или побегов (мощности) служит сигналом ухудшения состояния популяции.

Характеристики мощности генеративных особей могут иметь различный состав признаков в связи с различиями морфологического строения охраняемых растений. Для оценки мощности можно использовать следующие размерные показатели:

- высоту побегов (измеряют побег от поверхности почвы до его вершины);
- число побегов;
- количество листьев и их размеры (длину и ширину листа);
- число соцветий, их высоту;
- число цветков в соцветии;
- число плодов и семян;
- обилие спороношения у мохообразных (определяют в штучках с подсчетом среднего количества спорофитов на побеге или особи);
- диаметр дернины, а также соотношение между общим диаметром дернины и ее живой частью;
- диаметр куртин/подушек у мохообразных и т.д.

Измерения различных показателей мощности растений производится у 30 генеративных особей (при наличии).

Поврежденность растений – показатель степени нарушенности растения. Оценивается визуально и выражается в баллах в соответствии со шкалой:

- 0 – нет повреждений;
- 1 – очень слабое (поражение единичных растений);
- 2 – слабые повреждения (поражение до 10% листьев и особей), не оказывающие заметного влияния на рост и развитие растений;
- 3 – среднее (поражение до 25% листьев и особей);
- 4 – сильное (поражение до 50% листьев и особей);
- 5 – очень сильное (поражение более 50% листьев и особей в популяции).

При оценке повреждения растений необходимо установить вид повреждения.

Жизненность популяции – это свойство популяции, проявляющееся в степени устойчивости и продуктивности. Жизненность популяции характеризуется совокупностью таких показателей, как: возрастной состав, темп развития, ее численность и плотность, продуктивность, мощность взрослых особей. Комплексная оценка названных параметров дает достаточно объективную оценку жизненности популяции и позволяет прогнозировать ее дальнейшее развитие.

Упрощенным способом определения жизненности популяции является метод, по которому состояние популяции определяется в основном по проективному покрытию, создаваемому особями вида, и по тому, какая часть этих особей находится в генеративном состоянии с учетом их мощности. Жизненность популяции выражается в баллах от 1 до 5 в соответствии со следующими ступенями ее состояния:

5 – высокий уровень. I ступень жизненного состояния – достаточно высокое (более 50%) обилие средне- и крупнокалиберных особей, создающих проективное покрытие от 8% и выше и при условии, что $\frac{1}{4}$ и более взрослых особей проходит полный цикл развития.

4 – средний. II-а ступень – менее рослые вегетативные части растений, может уменьшиться и число растений, при сохранении прежнего уровня генеративной функ-

ции проективное покрытие меньше 8%, но больше 0, 25%;

II-б ступень – при сохранении покрытия большего или равного 8% менее ¼ особей популяции достигает цветения и плодоносит.

3 – низкий. III-а ступень – проективное покрытие меньше 8%, но больше 0, 25%; число особей, достигающих цветения ниже ¼.

2 – низкий-критический. III-б ступень – проективное покрытие от 8% и выше, популяция состоит только из вегетативных особей.

I – критический IV ступень – проективное покрытие меньше 8%, но больше 0, 25%; популяция состоит только из вегетативных особей; V ступень – проективное покрытие не достигает 0, 25%; популяция состоит только из вегетативных особей.

Оценка категории и степени проявления негативного воздействия на состояние популяции охраняемых видов (на популяции инвазивных видов не проводится). При проведении мониторинга характеризуются категории, масштабы и степень проявления *реального* негативного воздействия на состояние популяций охраняемых видов растений и грибов. Указываются конкретные выявленные факторы угрозы: лесной пожар, сельхозпалы, рекреация, рубка леса, побочное пользование, потрава (перевыпас), размножение фитофагов, болезни, подтопление/затопление, загрязнение (техногенное, мусором, биологическое), гидромелиорация, нарушение почвы (техногенное, зоогенное), заморозки, засухи, природные сукцессии, прочие. Для каждого описываемого фактора угрозы указывается его степень воздействия с использованием шкалы, описанной в разделе 5.

Периодичность проведения наблюдений

Мониторинговые наблюдения за состоянием популяций охраняемых видов растений проводятся 1 раз в 1-5 лет в зависимости от их состояния, биологических особенностей, характера и степени негативного воздействия на них; необходимая периодичность наблюдений устанавливается при закладке пункта наблюдений и фиксируется в карточке пункта наблюдений.

4. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ ЖИВОТНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ

Сроки проведения наблюдений по комплексному мониторингу экосистем (в части животного мира) устанавливаются с учетом экологических особенностей систематических групп животных, являющихся объектами мониторинга и должны обеспечивать достоверность полученных материалов. Рекомендуется проведение двукратных учетов. Важнейшим принципом мониторинга является проведение учетных работ в одни и те же фенологические сроки в разные годы. При проведении учетов необходимо учитывать сезонно-климатические и погодные условия, особенности фенологии растений в год наблюдений.

Определение местонахождения пунктов наблюдений, их привязка и обозначение в натуре.

Пункты наблюдений комплексного мониторинга экосистем выбираются так, чтобы максимально репрезентативно охватить основные экосистемы ООПТ. Желательно, чтобы маршруты и площадки мониторинга животного мира проходили через ключевые участки и ППН мониторинга растительности, что обеспечит комплексность мониторинга и единые подходы к регистрации факторов среды. Протяженность маршрутов или размеры площадок должны репрезентативно отражать видовое разнообразие доминирующих экосистем.

Мониторинговые маршруты (ММ) закладываются преимущественно в преобладающих экосистемах. Длина мониторингового маршрута зависит от площадей экосистем и их особенностей (площади, конфигурации, мозаичности природных комплексов и т. д.), но не должна быть менее 500 м в каждой из экосистем. Желательно, чтобы маршрут или его фрагмент проходил по наиболее типичному и однородному участку экосистемы. Мониторинговые маршруты привязываются к хорошо заметным стабильным ориентирам: квартальным просекам, канавам, геодезическим знакам, дорогам и т.п. Маршрут наносится на карту 1:100000 или 1:50000, в начале и конце маршрута определяются его координаты с использованием GPS-навигации. Координаты и особенности маршрута фиксируются в полевом дневнике или на учетной карточке маршрута мониторинга. На мониторинговом маршруте проводится учет численности индикаторных групп птиц, рептилий и амфибий.

Площадки мониторинга (ПМ) размещаются на основных, доминирующих типах экосистем ООПТ. Для каждой площадки проводится описание, которое заносится в полевой дневник или в соответствующую карточку. Расположение площадок постоянного мониторинга животного мира наносится на карту 1:100000 или 1:50000 и определяются ее координаты с использованием GPS навигации. Если в пределах ПМ размещаются орудия отлова диких животных в научных целях (ловушки Барбера, садки, живоловушки и т.д.), то их расположение так же наносится на карту, и определяются их координаты. Результаты наблюдений на ММ и ПМ заносятся в полевой дневник или в специальные карточки, которые анализируются в камеральных условиях.

Порядок проведения учетов объектов животного мира в рамках комплексного мониторинга экосистем.

Учет *птиц* проводится:

- маршрутным методом на постоянных маршрутах. Учитываются все птицы в полосе 100-200 метров, визуальным или по голосу;
- для колониально гнездящихся птиц дополнительно используют подсчет гнезд в колониях;

– для мигрирующих водоплавающих птиц - учет в местах скопления птиц на миграции.

Методика учета птиц на маршруте постоянного мониторинга. Учет проводится по маршруту, длина которого не менее 500 м, ширина 100-200 м (для некоторых видов 400 м). Постоянные маршруты мониторинга закладываются таким образом, чтобы в каждой экосистеме был заложен отдельный маршрут. Трансекта закладываются так, чтобы учеты можно было проводить каждый год (при закладке маршрута необходимо учесть последующие сукцессионные изменения). Учет начинается на рассвете и ведется в течение 2-3 часов. Скорость передвижения учетчика должна быть постоянной на всем протяжении маршрута и составлять около 2-х км/ч. В течение учета регистрируются все птицы с обеих сторон учетного маршрута. Учеты рекомендуется проводить минимум дважды в год: со второй половины мая по конец июня.

Методика учета птиц на водоемах. На малых (до 0,5 км²) и лишенных водной растительности водоемах, учет осуществляется осмотром акватории в 10-12-ти кратный бинокль и обследованием береговой линии. На крупных водоемах, где надводная растительность расположена преимущественно вдоль береговой линии, учет ведется с использованием плавсредства. Учет проводится по маршрутам вдоль края прибрежных зарослей и мозаично расположенных островков растительности. На водоемах слабо заросших поверхностной растительностью проводится абсолютный подсчет птиц. На крупных водоемах с площадью поверхностной растительности более чем 30-50% делается маршрутный лодочный учет по наиболее типичным территориям. Результаты подсчетов на маршрутах экстраполируются на всю площадь водоема. Разработка маршрута и экстраполяция основываются на анализе космических снимков.

Учеты **земноводных и пресмыкающихся** проводятся маршрутными и площадными методами с использованием картирования. Основные учеты проводятся в утренние часы, и в качестве дополнительного контроля учеты в вечернее время. Скорость передвижения учетчика 2-3 км/ч. Учет проводится дважды в год для контроля динамики численности животных после весеннего размножения и после выхода сеголеток во второй половине летнего периода. Учет не проводится в дождливую и ветреную (более 10 м/с) погоду.

Учеты **наземных беспозвоночных проводятся** методом почвенных ловушек (ловушек Барбера) на учетных площадках не реже 1 раза в 2 года в период с мая по сентябрь. В качестве модельной группы выбраны жуужелицы (*Carabidae*), структура и состав населения которых объективно отражает процессы изменения экологических и, в первую очередь, гидрологических параметров среды.

Методика учета животных ловушками Барбера

Ловушки Барбера представляют собой полистироловые стаканы емкостью 250–500 мл. Ловчие банки закапывают в почву до краев и на ¼ заполняют фиксирующей жидкостью, в качестве которой используют 4%-ный раствор формалина. В каждом биотопе устанавливается 10 – 15 ловушек, которые обычно ставят по прямой линии через 3-5 метров. Время экспозиции определяется в зависимости от состояния биотопа, погодных условий, времени года, но не должно быть менее 10 суток.

Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения дикие животные, включенные в Красную книгу Республики Беларусь, а также дикие животные, охраняемые в соответствии с международными обязательствами Республики Беларусь, учитываются одновременно с другими животными при проведении мониторинговых наблюдений.

5. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ НА ООПТ

Мониторинговый маршрут (ММ) – маршрут произвольной протяженности, закладываемый с целью выявления угроз для экосистем ООПТ и оценки их степени проявления. Оценка осуществляется для репрезентативной совокупности экосистем на основе качественно-количественной характеристики процессов и явлений в природном экосистемном покрове ООПТ. Количество и протяженность маршрутов зависят от площади ООПТ, ее ландшафтной структуры, разнообразия экосистем, степени антропогенного воздействия в пределах ООПТ и на сопредельных территориях, степени нарушенности экосистем.

Проектирование локальной сети мониторинговых маршрутов. При проектировании сети ММ исходят из следующих принципов:

- Сеть должна быть репрезентативной по отношению к площади ООПТ;
- Протяженность одного маршрута должна быть не менее 1 км;
- ММ должен пересекать различные экосистемы;
- В ММ должны быть включены нарушенные экосистемы, экосистемы, находящиеся под антропогенным прессингом (рекреация, сельхозпользование, гидротехническая мелиорация и т.д.), особо ценные и особо защитные участки ООПТ, экосистемы ООПТ, граничащие с антропогенно-преобразованными за ее пределами.

ММ может быть сухопутным и водным (проложен по руслу реки или акватории озера). Водный маршрут закладывается на плавсредствах (моторная или весельная лодка). Сухопутный маршрут, как правило, пеший, однако, если позволяют условия дорожной сети, можно использовать механические средства передвижения.

При создании проекта сети ММ и работе в поле используются топографические карты масштаба 1:100000 или 1:50000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений масштаба 1:25000, материалы последнего лесоустройства, другие лесохозяйственные источники и документация (Книги учета лесных пожаров, прочее), землеустроительные карты и схемы.

Документация и оформление материалов полевых работ.

Для каждого ММ оформляется «Паспорт мониторингового маршрута» (приложение Д). Паспорт состоит из обложки и бланков-вкладышей. На обложке указываются данные о местоположении ММ, приводится его подробное описание, дается общая характеристика территории, по которой проходит ММ. В бланки-вкладыши заносится характеристика всех выявленных на ММ угроз (см. приложение Д). При повторных обследованиях заполняется новый паспорт.

Материальное обеспечение полевых бригад.

- Материалы и оборудование, необходимые для проведения полевых работ на ММ:
- GPS-приемник.
 - Планы лесонасаждений лесничеств М 1:25 000, топографические карты М 1:50 000 или 1:100 000, схема ООПТ.
 - Паспорт ММ с бланками-вкладышами.
 - Фотоаппарат.
 - Бинокль.
 - Жидкостной компас.
 - Рулетка длиной 10-30 м.
 - Масляная или акриловая краска для наружных работ, кисти.
 - Гербарная сетка (или папка).

Сроки проведения наблюдений.

Работы следует начинать после полного распускания листвы у лиственных деревьев и кустарников, завершить – до начала осеннего пожелтения и опадения листвы. Обычно закладка ММ совмещается со сроками проведения наблюдений на ППН.

Определение места закладки мониторингового маршрута на местности, его привязка, порядок закладки и обозначение в натуре.

Начало и конец маршрута необходимо привязывать к стабильным ориентирам (просеки, дороги, ЛЭП, населенные пункты и пр.). На ориентире или рядом желательно выбрать маркирующий объект (крупные деревья, опоры ЛЭП, крупные валуны), на котором краской подписывается название ММ: например, СП–ММ1, где СП – «Средняя Припять», ММ 1 – мониторинговый маршрут №1. Маршрут может быть замкнутым: начало и конец – в одной точке. Отсчет расстояния, координаты начала и конца ММ, очаги угроз фиксируются с помощью GPS приемника.

Сам маршрут по ходу необходимо привязывать к стационарным линейным объектам (дорогам, просекам, берегам водоемов, опушкам и т.п.). Это, во-первых, облегчает работу исследователя и снижает физическую нагрузку, во-вторых, вдоль данных линейных объектов концентрируются очаги многих угроз, особенно от рекреационного воздействия (пожары, свалки мусора и т.д.), дороги выходят на вырубки, поля сельхозпользования, торфоразработки и прочее.

Если маршрут проходит по землям лесного фонда указываются все кварталы и выдела, которые прилегают к выбранной линии ММ. При прохождении маршрута по территории вне лесного фонда указываются экосистемы, которые он пересекает, их протяженность, дается краткое описание экосистемы.

Оценка состояния экосистем ООПТ на ММ.

Если ММ проходит по землям лесного фонда, оценке подлежат все выдела, прилегающие к линии маршрута с обеих сторон. При прохождении маршрута по территории других земель оценка производится в 200-метровой полосе (по 100 м с каждой стороны ММ). При выявлении угрожающего фактора проводится описание по следующим формам:

- а) для земель лесного фонда:
 - указываются квартал и выдел, на территории которых отмечается угроза;
 - экосистема, которую занимает выдел;
 - для покрытых лесом: состав, возраст насаждения и тип леса в выделе; для лесных земель, непокрытых лесом: вид земель (вырубка, прогалина, несомкнувшиеся культуры и т.д.); для нелесных земель: тип болота, луга или пустоши;
 - дается характеристика угрозы и последствий ее влияния на экосистему;
 - указывается степень проявления угрозы (по 5-балльной шкале);
 - рассчитывается площадь, на которой проявляется воздействие угрозы (% от площади выдела);
- б) для других земель:
 - указывается экосистема, на территории которой отмечается та или иная угроза;
 - указывается протяженность экосистемы по линии маршрута (начало–конец);
 - указывается протяженность участка, на котором проявляется воздействие угрозы (начало–конец);
 - дается характеристика угрозы и последствий ее влияния на экосистему;
 - указывается степень проявления угрозы (по 5-балльной шкале);
 - указываются координаты (GPS-привязка) участка с угрозой.

Перечень возможных угроз включает в себя:

- лесные и торфяные пожары;
- неконтролируемые палы (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах);
- рекреация (негативные последствия: механические повреждения деревьев и кустарников, выжигание напочвенного покрова на пикниковых полянах, замусоривание, пожары и т.д.);
- рубки леса;
- чрезмерное пользование природными ресурсами (повреждение ягодных кустарничков, подсочка лиственных, превышение норм заготовки и т.д.);
- перевыпас;
- выпас крупных стад животных и устройство летних лагерей скота;
- размножение фитофагов;
- болезни;
- энтомоповреждение;
- подтопление, затопление;
- загрязнение техногенное и органогенное;
- загрязнение биологическое;
- свалки мусора;
- гидротехническая мелиорация;
- нарушение почвы техногенное и зоогенное;
- воздействие аномальных природных явлений (поздневесенние и раннелетние заморозки, засухи, ураганы, затяжные паводки и пр.);
- изменение землепользования;
- нецелевое использование земель;
- прочие.

Для характеристики *степени проявления угроз* экосистемам и биоразнообразию ООПТ используется следующая шкала:

- 1 – слабая степень проявления:* нарушений не выявлено;
- 2 – умеренная степень проявления:* постепенная деградация растительности, при снижении степени интенсивности фактора вредного воздействия или прекращении вредного воздействия экосистема восстанавливается самостоятельно;
- 3 – средняя степень проявления:* быстрая деградация растительности на 10-50% площади, при снижении интенсивности фактора вредного воздействия или прекращении вредного воздействия экосистема может восстановиться самостоятельно (мероприятия по ренатурализации проводятся по необходимости);
- 4 – высокая степень проявления:* быстрая деградация растительности на 50-80% площади, при снижении интенсивности фактора вредного воздействия или прекращении вредного воздействия необходимо содействие восстановлению экосистемы (мероприятия по ренатурализации проводятся на части территории);
- 5 – очень высокая степень проявления:* быстрая деградация растительности более чем на 80% площади, восстановление экосистемы возможно только активными мерами по ренатурализации (мероприятия по ренатурализации проводятся на всей территории).

Помимо угрожающих факторов на ММ проводится *учет редких, охраняемых и уникальных объектов растительного и животного мира* (виды Красной книги Республики Беларусь, редкие биотопы и пр.)

6. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДЗЗ

Последние годы знаменуются все более широким применением информационных технологий, в т.ч. и для решения задач управления и научного исследования биологического разнообразия. В настоящее время в этой сфере научной деятельности стремительно развиваются инновации, связанные с: 1) созданием и интерактивным обновлением электронных тематических специализированных баз данных; 2) многофункциональным картографированием биоразнообразия с применением средств дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий; 3) применением интерактивных web-gis проектов для мониторинга и контроля над использованием природных ресурсов (в т.ч. интегрированных через социальные сети); 4) «облачными вычислениями»¹.

Поэтому использование аэро- и космических снимков (дистанционного зондирования Земли – ДЗЗ) является необходимым условием проведения регулярных наблюдений за современным состоянием экосистем. Сравнение их с результатами съемок, выполненных в прошлые десятилетия, позволяет точно зафиксировать произошедшие изменения.

Давно и неоднократно было показано, что использование оперативной глобальной космической информации позволяет успешно осуществлять мониторинг как быстро протекающих (пожары, наводнения и т. п.), так и протекающих достаточно медленно процессов (зарастание вырубок и гарей, пересыхание водоемов и т. п.), охватывающих большие территории. Географические исследования локального уровня, в первую очередь на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), где они имеют целью выявление и оценку происходящих изменений, также опираются на ДЗЗ.

Дистанционный мониторинг экосистем на ООПТ в составе НСМОС должен обеспечивать:

- тип экосистемы, где проявляется негативное воздействие;
- границы и площадь территории, на которой проявляется негативное воздействие, кв.м или га;
- тип негативного воздействия (при возможности определения);

На основе этих показателей целесообразно формировать мониторинговые маршруты наземных исследований или полетного задания для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

6.1 Современное состояние аэрокосмических съемок, применимых для мониторинга на локальном уровне наблюдений

Обобщение практики применения материалов аэрокосмических съемок в интересах изучения растительности – как индикатора состояния экосистем ООПТ – позволяет в систематизированном виде представить данные об их информативных возможностях. В таблице 6.1 приведены сведения об основных группах космических снимков, пригодных для дистанционного изучения состояния экосистем.

¹ Информационно-технологическая концепция, подразумевающая обеспечение повсеместного и удобного сетевого доступа по требованию к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам – как вместе, так и по отдельности, которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру.

Таблица 6.1 – Основные группы космических снимков, пригодных для мониторинга экосистем ООПТ

Спутник – камера/режим	Разрешение, м	Примерный размер «кадра» при съемке в надир, км	Повторяемость, сутки
1. Панхроматические снимки сверхвысокого разрешения (0,5–2 м)			
GeoEye-1	0,5	15×15	2–3
WorldView-1	0,5	18×18	2
QuickBird-2 – панхром	0,6–0,7	16,5×16,5	3–4
EROS-B	0,7	7×7	3–4
IKONOS – панхром	0,8	11×11	3
CARTOSAT-2	0,8	9,6×9,6	4
Ресурс-ДК – панхром	2	4,6×4,6	6
EROS A – панхром	1,9	14×14	3–4
FORMOSAT-2 – панхром	2	24×24	1
2. Многоканальные снимки высокого разрешения (1,6–10 м)			
GeoEye-1 (4 канала)	1,65	15×15	2–3
QuickBird-2 (4 канала)	2,4–2,9	16,5×16,5	3–4
Ресурс-ДК (3 канала)	3	28×28	6
IKONOS (4 канала)	3,2	11×11	3
KOMPSAT-2 (4 канала)	4	15×15	3
FORMOSAT-2 (4 канала)	8	24×24	6
ALOS – AVNIR (4 канала)	10	70×70	2
3. Панхроматические снимки высокого разрешения (2–10 м)			
CARTOSAT-1 (IRS-P5) – PAN	2,5	27×27	5
ALOS – PRISM ПАНХРОМ	2,5	35×35	2
Resourcesat (IRS-P5)	5,8	60×60	5
SPOT 5 – панхром	2,5–5	23×23	5
IRS- 1C/1B – PAN	5,8	70×70	5
SPOT 2/4 – панхром	10	60×60	5
БКА, Канопус-В (№№ 2-6)	2,1	23×23	16
4. Снимки среднего разрешения (10–30 м)			
ALOS – AVNIR ПАНХРОМ	10	70×70	2
SPOT 5 – 4 канала	10(20)	60×60	5
Terra – Aster, 3 канала	15	60×60	4–16
SPOT 2/4 – 3/4 канала	20	60×60	5
IRS- 1C/1D – LISS, 3 канала	23	142×142	24–25
Resourcesat (IRS-P56) – LISS, 4 канала	23,5	140×140	24
Landsat – 5/7 – TM/ETM+, 6 каналов	30	185×185	16
Landsat – 8 – OLI, 8 каналов	30	185×185	16
Sentinel – 2 (A, B) – MSI	10(4), 20(6)	292×290	10
БКА, Канопус-В (№№ 2-6) (MCC, 4 канала)	10,5	20×20	16

*Максимально возможная повторяемость (при специальных режимах съемки).

Космические снимки с пространственным разрешением от 8–15 до 30–50 м получают с помощью съемочных систем, среди которых можно упомянуть «Ресурс-О», МСУ-Э и «Монитор-Э» (Россия), Sentinel – 2 OLI (ЕС), Landsat ETM+ и

«TERRA», ASTER (США), SPOT (Франция), IRS (Индия), ALOS (Япония) и др. Условно изображения этих систем относятся к снимкам высокого разрешения, а съемка обычно производится в видимой, ближней и средней инфракрасной частях электромагнитного спектра. Ряд задач по картографированию и оценке состояния растительности решаются с помощью космических систем (NOAA, TERRA, AQUA и др.) со съёмочной аппаратурой низкого пространственного разрешения (250–1000 м) типа AVHRR (США), MODIS (США) и др.

Наиболее оптимальными для целей мониторинга растительного покрова и экосистем ООПТ являются снимки с разрешением лучше 2 метров, которые позволяют выявить даже незначительные изменения в растительном покрове. При этом, в последнее время активно развиваются космические системы со сверхвысоким пространственным разрешением (0,3–0,5 м), которые по информативности приближаются к материалам аэрофотосъемки и могут заменить их при инвентаризации и оценке состояния растительного покрова. В этом секторе космических данных дистанционного зондирования лидируют QuickBird, IKONOS, WorldView-1, -2, GeoEye-1 (США), EROS (Израиль), Cartosat-1, -2 (Индия), Ресурс-ДК (Россия) и др.

При изучении растительности на сравнительно больших площадях наиболее привлекательным по соотношению цена / качество являются снимки с разрешением от 2 до 10 м (рисунок 6.1). Большой размер кадра сокращает расходы на привязку и обработку снимков.

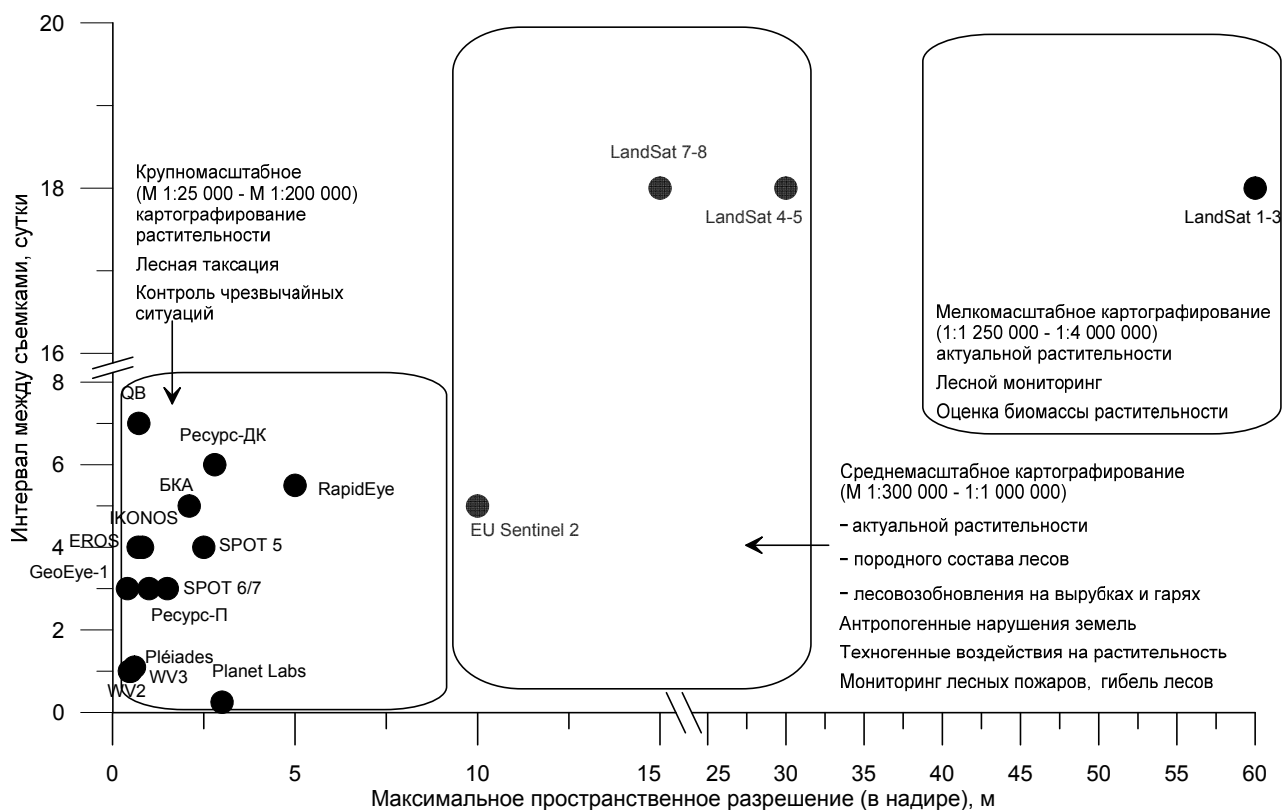


Рисунок 6.1 – Соотношение между пространственным и временным разрешением снимков и решаемые задачи

Снимки среднего разрешения (10–30 м, см. таблицу 6.1), как правило, являются многоканальными, что позволяет использовать разные цветовые синтезы и преимущества дешифрирования в различных спектральных каналах. Более низкое разрешение становится преимуществом (а не недостатком) при мониторинге экосистем в средних масштабах. Территория целой административной области или страны может

быть покрыта всего несколькими снимками Landsat размером 185×185 км. При этом для данных Landsat разработано множество алгоритмов автоматической обработки.

Благодаря приобретшим большую популярность интерактивным веб-сервисам типа GoogleEarth широкая общественность смогла за последние годы познакомиться со снимками сверхвысокого разрешения. Как правило, монохромные («черно-белые») снимки максимального разрешения дополняются многоканальными («цветными») изображениями меньшего разрешения. Поскольку снимки, представленные в GoogleEarth, уже ортотрансформированы с использованием грубой модели рельефа, в них внесены неисправимые ошибки. К сожалению, в силу этой причины использование данных материалов ограничено. Максимальную точность могут обеспечить лишь коммерческие данные дистанционного зондирования. С коммерческими снимками поставляются специальные коэффициенты, используя которые можно устранить искажения сенсора и некоторые другие дефекты.

С появлением космических систем нового поколения и развитием методов обработки изображений требуется регулярное уточнение содержания задач, которые могут быть решены в практических целях, а также усовершенствование существующих аэрокосмических методов изучения и оценки состояния лесного и растительного покрова (см. рисунок 6.1). В соответствии с решаемыми задачами мониторинга экосистем ООПТ были определены исходные требования к данным дистанционного зондирования: мультиспектральная съемка для синтеза цветных изображений с наличием ближнего инфракрасного канала (БИК, длина $0,7\text{--}1,3$ мкм) – наиболее информативного при дешифрировании растительного покрова; высокое разрешение съемки для уверенного дешифрирования объектов площадью до $1,0$ га; сплошное покрытие территории безоблачной (малооблачной, т.е. не выше 10%) съемкой; приемлемая стоимость данных космической съемки.

Несколько слов о цене космической съемки. Существует прямая связь между пространственным разрешением космических снимков и их ценой. Данные наиболее низкого разрешения (например, снимки MODIS с разрешением 250 м) обычно находятся в открытом (бесплатном) доступе с возможностью их получения практически на любую территорию. Оперативные снимки среднего разрешения ($10\text{--}30$ м) представляют собой, как правило, коммерческие продукты (бесплатно распространяются снимки Landsat, Sentinel-2). Практически все снимки с разрешением 10 м и выше – продукт коммерческий и распространяются по достаточно высоким ценам (в среднем примерно $15\text{--}30$ у.е. за 1 км^2 , при минимальной площади заказа 25 км^2). Точная стоимость материалов съемки определяется фирмой-поставщиком данных на момент заказа.

Самым оперативным каналом получения снимков, безусловно, является Интернет. В настоящее время наиболее развиты веб-сервисы мониторинга экосистем на основе снимков MODIS (<http://terra.nasa.gov>), Landsat (<http://landsat.usgs.gov>, <https://libra.developmentseed.org/>), Sentinel (<https://scihub.copernicus.eu/>), и ASTER (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>). Основные поставщики материалов космической съемки через глобальную сеть – крупнейшие американские и европейские центры данных дистанционного зондирования (EROS Data Center, Space Imaging, Eurimage, Spotimage, CEO, инженерно-технологический центр «СканЭкс» и др.). Адреса других каталогов разнообразных типов снимков различного разрешения приведены в приложении Е.

Стремительный рост производительности систем ДЗЗ приводит к необходимости организации сверхбольших архивов данных. Развитие информационных технологий и сетевой инфраструктуры позволяет организовать доступ к распределенным архивам данных таким образом, что для пользователя практически не имеет значения место их физического расположения. В качестве примеров систем доступа к сверх-

большим архивам спутниковых данных можно привести web-порталы Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), EOSDIS (NASA) и ESA (<https://scihub.copernicus.eu/>), объединенную систему доступа к архивам данных центров приема НИЦ Планета (Бурцев, 2019; Лупян, 2014), центр коллективного пользования ИКИ-Мониторинг (ЦКП ИКИ-Мониторинг) (Лупян, 2015), геопортал Роскосмоса (<http://gptl.ru/>) (Носенко, 2010).

Также следует наличие в широком доступе веб-инструментов с открытым исходным кодом для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений, доступных на различных платформах (приложение Ж).

Многозональные спутниковые снимки, как правило, поступают из хранилища оператора в виде упакованных в архив монохромных файлов формата GeoTIFF (*.tif). Причём каждый файл представляет отдельный канал многозонального изображения. Такой подход к предоставлению материалов имеет как плюс – пользователь может ограничить объём обрабатываемых данных только нужными ему каналами, так и минус – для дальнейшей работы каналы должны быть предварительно объединены в многоканальный файл. Об оперативности поставки снимков речь, как правило, не идёт, так как компании-дистрибьюторы заказывают спутниковые данные через каталоги операторов.

В заключении следует сказать, о популярных в последние годы интерактивных геопорталах (Google Earth, Bing, Yandex, Космоснимки и др.), благодаря которым широкая общественность смогла за последние годы познакомиться со снимками сверхвысокого разрешения. Действительно, снимки с разрешением выше 2 метров позволяют выявить даже незначительные изменения в растительном покрове. Как правило, монохромные («черно-белые») снимки максимального разрешения дополняются многоканальными («цветными») изображениями меньшего разрешения. То, что мы видим, например, в Google Earth, является результатом «слияния» таких многоканальных снимков с монохромными. Фактически, это результат «раскраски» исходных «черно-белых» изображений. В Google Earth используется поперечная цилиндрическая проекция Меркатора. Снимки ортотрансформированы с использованием общемировой модели рельефа и всегда ориентированы на север, т.е. над снимками произведена геометрическая коррекция изображений, при которой устраняются перспективные искажения, развороты, искажения, вызванные дисторсией объектива и другие. Изображение при этом приводится к плановой проекции, то есть такой при которой каждая точка местности наблюдается строго вертикально, в нади́р.

Поскольку снимки, представленные в Google Earth, уже ортотрансформированы с использованием грубой модели рельефа, в них внесены неисправимые ошибки. К сожалению, в силу этой причины использование данных материалов ограничено. Максимальную точность могут обеспечить лишь коммерческие данные дистанционного зондирования. С коммерческими снимками поставляются специальные коэффициенты, используя которые можно устранить искажения сенсора и некоторые другие дефекты (Аксенов, Ярошенко, 2009).

Следует также отметить, что технологии геопорталов представляют оперативную информации, особенно для мониторинга пожароопасности: например, порталы научного центра ЕС (https://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html), Минприроды и экологии РФ по оперативному выявлению возгораний на ООПТ федерального значения России (<http://fires.rfimnr.ru/api/index.html>), пожарные сервисы СканЭкс (SFMS http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n23810191), ИКИ РАН – <http://sci-vega.ru/maps/>), Иркутского центра приема оперативной информации (FIRMS

<http://msk.eostation.ru/index.html> и <http://eostation.irk.ru/>) и др. Геопорталы используются и поставщиками данных дистанционного зондирования в качестве пространственной основы для поиска и заказа космической информации, например Космоснимки (<http://kosmosnimki.ru/>), портал СканЭкс, (<http://geoportal.ntsomz.ru/>), геопортал Роскосмоса.

В последние годы все более широкое применение имеют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для оперативного мониторинга растительных объектов локальных территорий. Однако применение снимков БПЛА для крупных территорий (несколько десятков километров) является дорогостоящим мероприятием.

В настоящее время появились БПЛА различной формы, размеров и функциональных возможностей, и их гражданское применение становится все более привлекательным. Гибкие, недорогие и высокоразрешающие системы дистанционного зондирования, использующие беспилотники в качестве платформ, имеют важное значение для заполнения пробелов в данных и дополнения возможностей летательных аппаратов и спутниковых систем дистанционного зондирования. Преимущества дистанционного зондирования с помощью беспилотников включают низкие материальные и эксплуатационные расходы, гибкий контроль пространственного и временного разрешения, сбор данных с высокой интенсивностью и отсутствие риска для экипажей. В настоящее время применение дистанционного зондирования БПЛА в практике мониторинга экосистем ООПТ все еще находится на экспериментальной стадии, однако ожидается, что оно будет быстро расширяться. Для более эффективного руководства развитием дистанционного зондирования с помощью дронов для устойчивого лесопользования и охраны природы важно систематически и постоянно проводить сравнительные исследования для определения соответствующих технологий дистанционного зондирования с помощью дронов.

По видам БПЛА различаются на воздушные, водные и наземные.

По предназначению БПЛА делятся на 3 группы: *коммерческие или гражданские*. (предназначены для перевозки грузов, для доставки товаров или почты, дроны для фото и видеосъемки, дроны для всяческих научных исследований); *потребительские* (предназначены для различных развлечений, таких, как снятие высотных видео, для гонок, и т.д.); *военные* – используемые для военных целей.

По конструкции БПЛА делятся на 7 типов.

Беспилотники с фиксированным крылом. Эти БПЛА имеют фиксированные крылья. Основное преимущество таких дронов заключается в большой дальности и скорости полетов. Существенным недостатком большинства БПЛА такого типа является старт с катапульты, или требуется взлетно-посадочная полоса (ВПП).

Мультикоптеры. Эти дроны могут иметь различное число пропеллеров- от двух до восьми. У некоторых моделей лопасти пропеллеров могут складываться. Наиболее распространены дроны с четырьмя пропеллерами (квадрокоптеры). В настоящее время выпускаются несколько различных моделей, которые легко складываются.

Беспилотники вертолетного типа. Достоинствами таких БПЛА являются: а) Для взлета не требуется ВПП или катапульты; б) За счет использования винта большего диаметра энергоэффективность больше, чем у коптера; в) Способность зависать в заданной точке.

Существенными недостатками таких БПЛА являются малое время и низкая скорость полета, сравнительно сложное пилотирование.

Конвертопланы. Это БПЛА, которые взлетают и садятся по принципу вертолета за счет поворота двигателей, а в полете двигаются как самолет, опираясь на фиксированное крыло.

Глайдеры или планеры. Эти БПЛА могут быть как с двигателем, так и без него. Они как правило предназначены в военных целях для ведения разведки.

Тейлситтеры. Это БПЛА вертикального взлета, который после взлета принимает горизонтальное положение и летит как дрон самолетного типа. Для посадки такой дрон возвращается в вертикальное положение и приземляется на специальные «ребра», отходящие от крыльев и хвоста. От конвертоплана отличается отсутствием поворотных элементов. Имеет те же достоинства, что и конвертоплан.

Привязные беспилотники. Особенность таких БПЛА в том, что энергия к такому БПЛА поступает по проводам.

В целях эффективного выполнения задач локального мониторинга экосистем БПЛА должны обладать следующими характеристиками: 1) оптические системы высокого разрешения с высокой дальностью обнаружения; 2) наличие канала обнаружения инфракрасного диапазона; 3) наличие системы передачи данных высокой пропускной способности; 4) ретрансляция сигналов УКВ-связи по всем направлениям; 5) наличие систем автоматического обнаружения и идентификации загораний.

6.2. Создание аэрокосмического блока системы наблюдений

Проведению мониторинговых наблюдений предшествует предварительный этап, он включает выбор материалов космических съемок, системы координат, программных пакетов, формирование базовых данных.

6.2.1 Выбор материалов космических съемок

Основными характеристиками материалов дистанционного зондирования являются масштаб, или пространственное разрешение снимков, т.е. детальность изображения, их тип (черно-белые, цветные, многозональные, в видимом, инфракрасном или радио диапазонах спектра электромагнитных колебаний), сезон и время съемки. Выбор снимков с определенными характеристиками зависит в решающей степени от цели исследований и свойств территории, которую предстоит изучать.

Пространственное разрешение. Часто пользователи стремятся выбрать снимки с максимальной детальностью, хотя это не всегда оправданно. Выбор детальности снимков зависит от цели исследований и географических особенностей объекта наблюдений. Важно иметь в виду по крайней мере три обстоятельства. Первое – это минимальный размер объектов, которые предполагается дешифрировать и/или отобразить на карте в соответствии с масштабом, в котором она будет составляться. В большинстве случаев приходится ориентироваться не только на размер объектов, являющихся предметом наблюдений, но и на более мелкие объекты, поскольку они могут дать дополнительную информацию при распознавании. Второе – выраженность, четкость границ дешифрируемых объектов: чем более четкие границы имеют объекты, тем более детальное изображение можно использовать. Нет смысла использовать очень детальные снимки для дешифрирования объектов с плохо выраженными, в виде переходной полосы, границами. Известно, что такие границы становятся более четкими по мере уменьшения масштаба. Например, не имеет смысла дешифрировать границу снежного покрова или поверхностных морен на леднике по снимкам сверхвысокого разрешения (менее 2 м), поскольку они не имеют четкой границы. Третье – интервал повторных наблюдений. В общем случае для выявления сезонных изменений нужны снимки более высокого разрешения, чем для выявления долговременных изменений.

Участок спектра электромагнитных колебаний. Как правило, основной объем информации при проведении мониторинговых наблюдений дают снимки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, а материалы съемок в инфракрасном тепловом и радиодиапазонах могут предоставить дополнительные данные. Вследствие различий в спектральных свойствах объекты земной поверхности за редким исключением лучше распознаются на многозональных снимках - цветном синтезированном или отдельных зональных. Принцип многозональной съемки (рисунок 6.2), т.е. одновременной съемки в нескольких каналах, фиксирующих излучение в разных участках спектра, основывается на различиях в спектральной яркости объектов. Перечень комбинаций каналов для Landsat TM / ETM+, Sentinel-2 представлена в приложении 3.

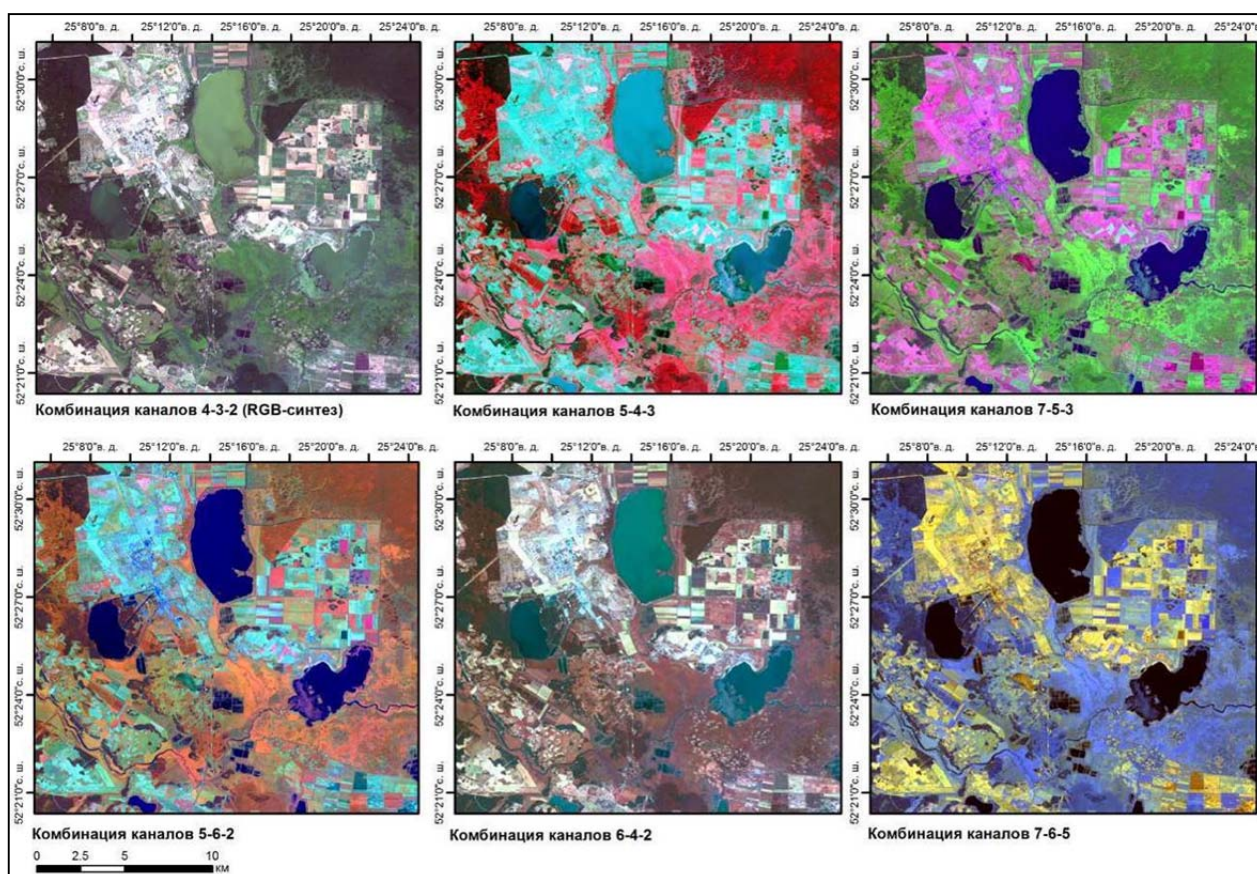


Рисунок 6.2 – Варианты синтеза изображений многозонального космического снимка Landsat 8 (дата съемки 08.08.2015; пространственное разрешение 30 м)

Изменчивость геосистем во времени, смена состояний природно-территориальных комплексов - одна из особенностей территории, которые необходимо иметь в виду при выборе аэрокосмических снимков. Объекты земной поверхности существуют не только в пространстве, но и во времени, т.е. постоянно изменяются. Масштабы происходящих изменений различны: суточные, сезонные, многолетние, вековые. Со временем меняются физиономические свойства объектов, их внешний облик, а значит, в момент съемки каждый из географических объектов фиксируется в некотором определенном состоянии. От того, насколько хорошо выражены в этом состоянии важные для исследования характеристики, зависят результаты дешифрирования. Сезонные изменения могут служить дополнительным дешифровочным признаком, например, растительности, поскольку смена фаз вегетативного развития у растений разных видов наступает в разное время. Если предполагается изу-

чать по снимкам многолетнюю динамику природных объектов, то выявление различий в сезонных состояниях становится обязательным, так как в противном случае можно получить искаженные данные. Учет состояния объекта наблюдения - обязательное условие проведения мониторинга.

Суточная динамика большинства объектов земной поверхности связана с высотой Солнца и метеорологическими условиями и, как правило, в большей мере сказывается на результатах дешифрирования снимков высокого пространственного разрешения. Учет положения Солнца важен при сопоставлении разновременных снимков, так как направленные в разные стороны тени ухудшают визуальное восприятие изображения, а при компьютерном дешифрировании приводят к появлению фиктивных изменений. Существенно влияют на достоверность результатов и метеорологические условия. Например, граница лугов низкого и среднего уровня может быть неправильно определена после сильных дождей.

Знание закономерностей изменений, происходящих в географических ландшафтах, существенно повышает качество результатов дешифрирования при выявлении по снимкам динамики объектов и явлений.

6.2.2 Выбор системы координат

Система координат - это способ задания положения точек в пространстве. Главное свойство всех систем координат - положение любой точки однозначно определяется ее координатами. Использование снимков для мониторинга, т.е. для сопоставления и выявления изменений, в обязательном порядке предполагает их геометрическое соответствие, т.е. привязку к пространственной системе координат. Мониторинг на локальном или региональном уровне ведется в крупных и средних масштабах топографических карт, т.е. не мельче 1:500 000. В этом случае возможен выбор одной из трех систем пространственных координат: географической (широта-долгота) или двух прямоугольных (СК-42 и WGS-84), наиболее часто используемых в настоящее время (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Наиболее распространенные геодезические системы координат

Геодезическая система координат	Проекция	Эллипсоид
СК-42 (Пулково)	Гаусса-Крюгера	Красовского
WGS-84	UTM (поперечно-цилиндрическая Меркатора)	WGS-84

При работе с данными в растровом формате можно использовать и географическую, и геодезические системы, если же планируется составление карт в векторном формате, то лучше выбрать прямоугольные геодезические системы.

Для совместного использования снимков и отечественных карт необходимо привести их в единую систему. Выполнять геометрические преобразования приходится и в некоторых других случаях. Первичная привязка космических снимков выполняется по орбитальным данным, точность ее у разных съемочных систем неодинаковая. Например, высокой точностью привязки отличаются съемочные системы спутников Landsat, а космические снимки системы Cartosat со спутника IRS-P5, наоборот, привязаны по орбитальным данным неточно. В программных пакетах высокого уровня пересчет координат из системы WGS-84 в СК-42 выполняется автоматически соответствующей программой. Если такой программы нет, переход к другой системе координат выполняется по опорным точкам.

Согласование систем координат необходимо также при использовании в процессе обработки снимков точек наземных наблюдений, координаты которых определены

приемником спутникового позиционирования (GPS, ГЛОНАСС). Во многих современных GPS-приемниках предусмотрен переход от WGS-84 к СК-42 (Пулково). При отсутствии в установках приемника координатной системы СК-42 создают пользовательскую систему путем ввода общепринятых коэффициентов пересчета координат, которые можно найти в Интернете или учебной литературе.

В настоящее время существует целый ряд программных средств, применяемых для предварительной и тематической обработки данных ДЗЗ. Современные профессиональные пакеты тематической обработки аэрокосмических изображений включают весь необходимый набор процедур для перехода от исходного изображения к тематической карте, в частности (Чабан, 2013):

- географическая привязка и трансформирование изображений для приведения их к заданной картографической проекции и системе координат;
- создание цветных композиционных изображений, яркостные преобразования, пространственно-частотная фильтрация;
- выделения областей интереса с помощью векторной графики, наложение масок для последующей обработки;
- создание мозаик изображений;
- классификация по спектральным яркостным признакам различными методами, средства анализа и редактирования результата;
- элементы пространственного анализа – сегментация, сглаживание;
- фильтрация областей по заданным характеристикам;
- элементы ГИС-анализа – послойное представление, возможности оверлейных операций со слоями, преобразования типов пространственных данных (в том числе векторно-растровое и растрово-векторное преобразования), комплексный анализ информации различных типов.

6.2.3 Выбор программных пакетов

Выбор программ зависит от решаемых задач, объемов данных, предполагаемых к обработке, и квалификации исполнителей (Лабутина, 2011). Среди пакетов высокого уровня (дорогостоящих, лицензионных) наибольшее распространение получили ERDAS Imagine, ERDAS ER Mapper (США), ENVI (США), ScanEx Image Processor (Россия), TerrSet (США). Эти программные продукты обеспечивают полный комплекс обработки всех существующих в настоящее время видов съемки, для овладения программами такого уровня требуется высокая квалификация исполнителей.

Среди свободно доступных и ориентированных в основном для решения небольших исследовательских задач можно выделить, ILVIS (Нидерланды), MultiSpec (США), SNAP (Европейское космическое агентство), GRASS GIS. Как правило, для работы с ними не требуется высокий уровень квалификации, поэтому их могут использовать и специалисты-природоведы, только начинающие обрабатывать снимки.

Для тематического картографирования создана целая линейка программных продуктов – это инструментальные геоинформационных систем (ГИС). Они могут быть предназначены для самых разнообразных задач: для организации ввода информации (как картографической, так и атрибутивной), ее хранения (в том числе и распределенного, поддерживающего сетевую работу), отработки сложных информационных запросов, решения пространственных аналитических задач, построения производных карт и планов и, наконец, для подготовки к выводу на твердый носитель оригиналов-макетов картографической продукции.

Как правило, инструментальные ГИС поддерживают работу, как с растровыми, так и с векторными изображениями, имеют встроенную базу данных для цифровой

основы и атрибутивной информации или поддерживают для хранения атрибутивной информации одну из распространенных баз данных (Paradox, Access, Oracle и др.).

В настоящее время на рынке геоинформационных технологий лидируют программные продукты 2 американских компаний Esri, MapInfo, хотя в последние годы все большую популярность приобретает свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS (Quantum GIS). Кроме того, ГИС-картографирование возможно в следующих инструментальных ГИС: gvSIG (Испания), AutoCAD Map (Autodesk, США), ГИС Карта 2011 (Панорама, Россия), GeoDraw/GeoGraph (Центр геоинформационных исследований Института географии Российской академии наук, Россия) и др.

6.2.4. Тематические продукты и веб-инструменты для дистанционного зондирования экосистем ООПТ

В интернете находится достаточно большое количество готовых программных решений, которые могут быть использованы для мониторинга экосистем особо охраняемых природных территорий. Их каталог находится в свободном доступе по адресу <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/>. Остановимся на наиболее важных разработках

Global Forest Watch — это веб-приложение для мониторинга лесного покрова планеты в реальном масштабе времени (рисунок 6.3). Приложение создано Институтом мировых ресурсов и другими организациями, в том числе: Google, Агентство США по международному развитию, Университет Мэриленда, ESRI, Vizzuality и многими другими (академическими, некоммерческими, государственными и частными).

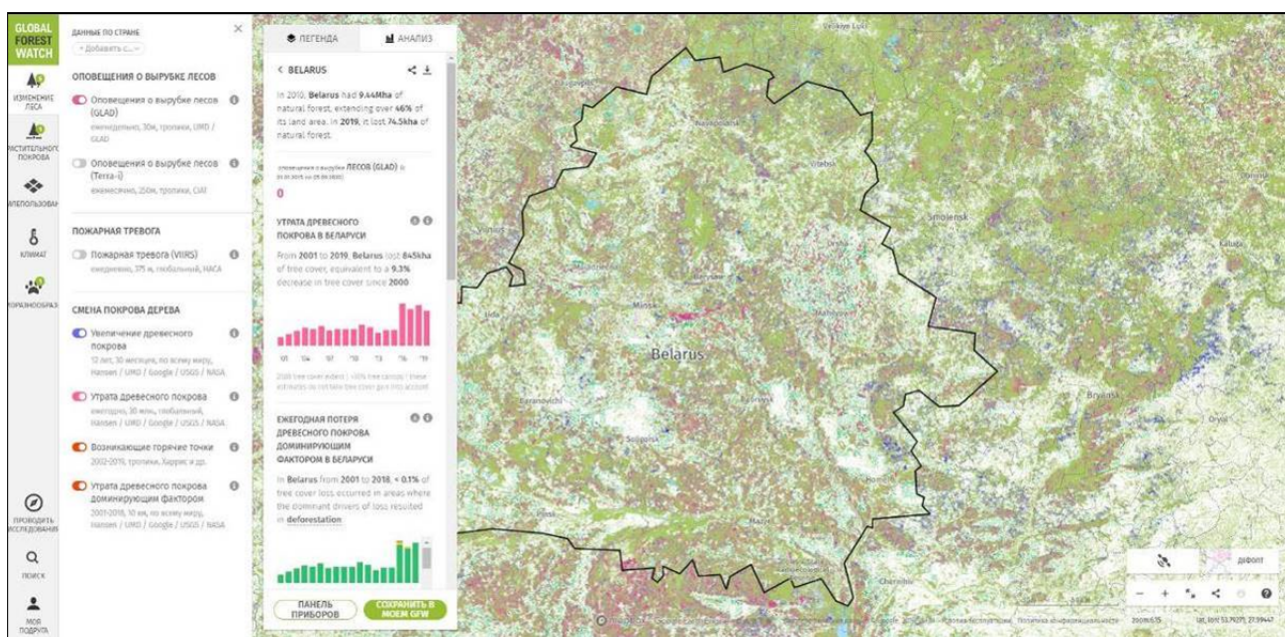


Рисунок 6.3 – Интерфейс тематического продукта Global Forest Watch – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (<https://www.globalforestwatch.org/>)

Global Forest Watch – этот проект (<https://www.globalforestwatch.org/>) направлен на разработку глобальных продуктов данных об изменении лесного покрова на основе спутниковых изображений Landsat, которые доступны для отображения и загрузки на веб-платформе Global Forest Watch 2.0 (GFW 2.0). Этот проект состоит из трех основных компонентов: 1) создание на основе архива спутниковых данных Landsat гло-

бального годового продукта для изменения древесного покрова с разрешением 30 метров за период с 2000 по 2012 год; 2) выпуск ежегодных обновлений вышеуказанного набора данных за 2013–2019 гг.; 3) создание системы сигнализации обезлесения, основанной на снимках Landsat 7 и / или 8; система оповещения будет обрабатывать снимки Landsat с разрешением 30 метров по мере их поступления на постоянной основе, выявляя и отображая изменения в древостое практически в реальном времени (рисунок 6.4). Разработка позволяет создавать специальные тематические карты, оценивающие динамику растительного покрова территории.

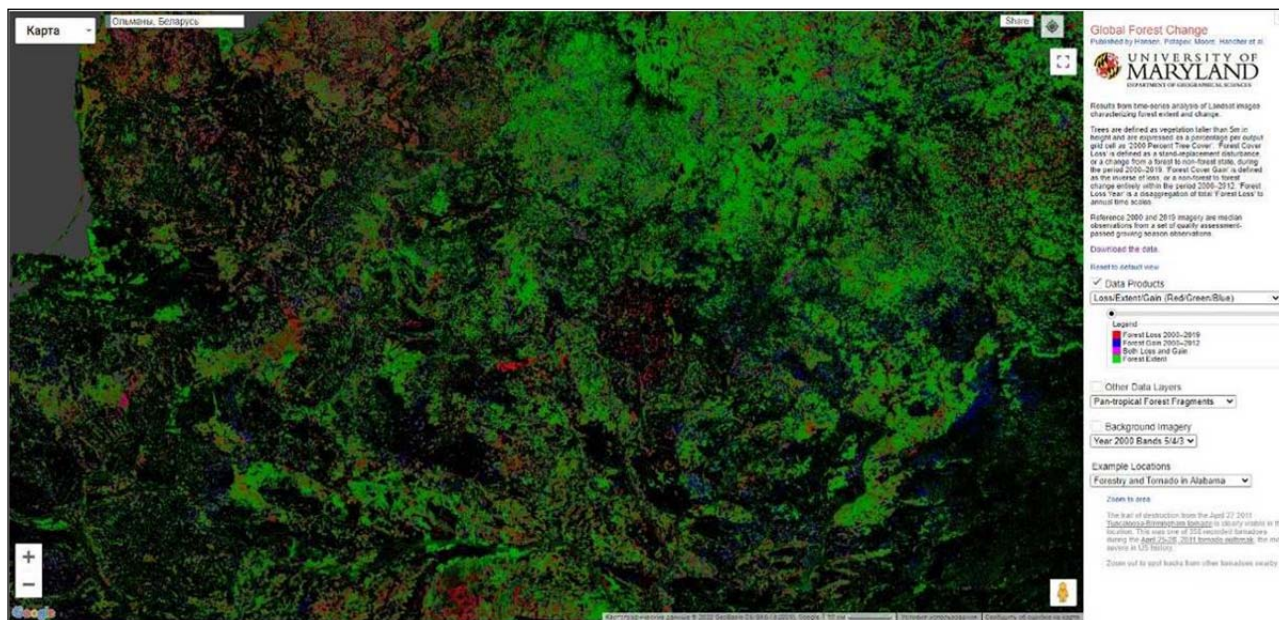


Рисунок 6.4 – Интерфейс тематического продукта Global Forest Change – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (<http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>)

Global surface water dynamics 1999-2019 (www.glad.umd.edu/dataset/global-surface-water-dynamics) – глобальные карты, полученные на основе всех снимков Landsat 5, 7 и 8 за 1999-2019 гг. (рисунок 6.5). Показывают изменения в площади поверхностных вод в течение указанного периода, а также даются объективные оценки площади постоянных водоемов, сезонных вод, потерь воды и т. д.

Global Wildfire Information System – глобальная информационная система о лесных пожарах (GWIS) направлена на объединение существующих источников информации на региональном и национальном уровнях, чтобы обеспечить всестороннее представление и оценку пожарных режимов и последствий пожаров на глобальном уровне. уровень и предоставить инструменты для поддержки оперативного управления лесными пожарами от национального до глобального масштаба. Доступ к всемирной информации о лесных пожарах доступен через средство просмотра GWIS по адресу http://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html (рисунок 6.6).

ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru/maps/>) – научная установка, входящая в состав Центра коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг», предназначенного для решения научных задач изучения и мониторинга окружающей среды с использованием методов и технологий спутникового дистанционного зондирования. «ВЕГА-Science» предоставляет распределенный доступ к многолетним ежедневно пополня-

ющимся архивам спутниковых данных и получаемые на их основе различным информационным продуктам, в первую очередь ориентированным на характеризующие изучение и анализ состояния растительного покрова (рисунок 6.7). «БЕГА-Science» также предоставляет пользователям возможности по проведения удаленной обработки и анализа спутниковых данных и результатов их обработки с использованием вычислительных ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

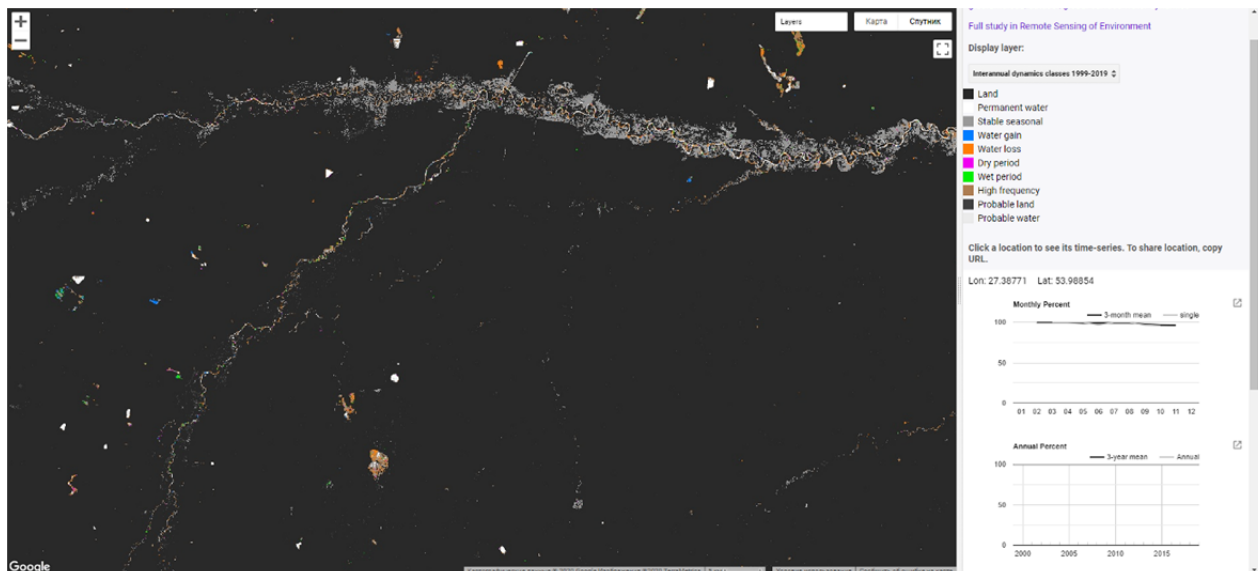


Рисунок 6.5 – Интерфейс тематического продукта Global surface water dynamics 1999-2019 (www.glad.umd.edu/dataset/global-surface-water-dynamics)

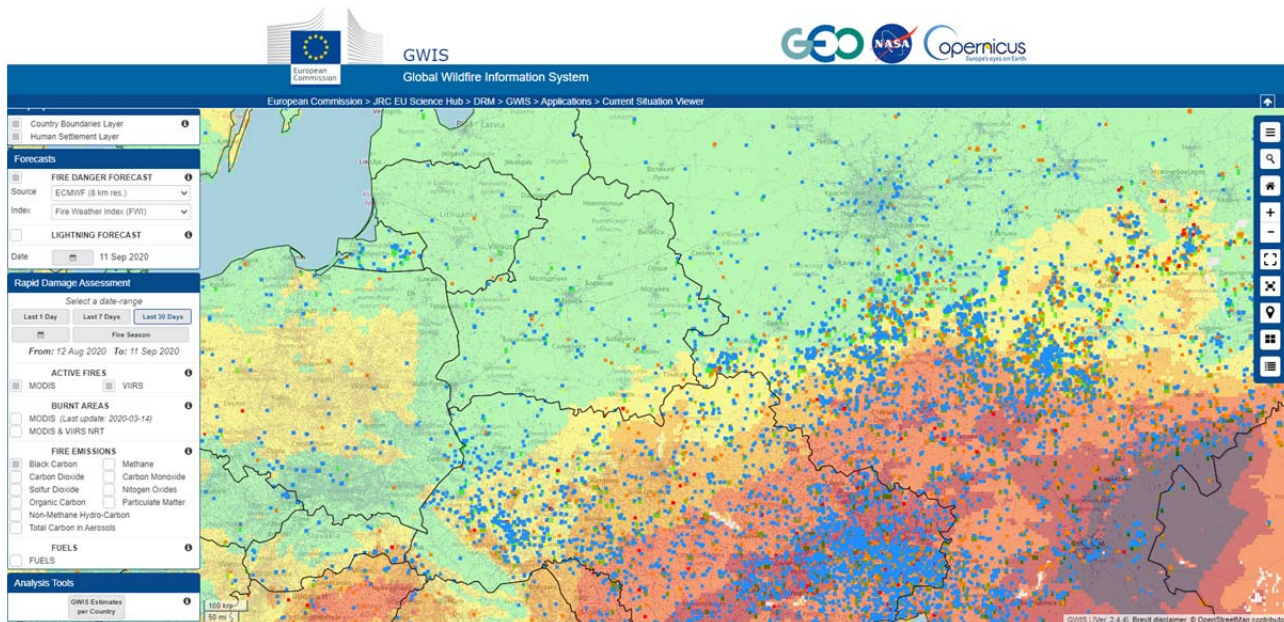


Рисунок 6.6 – Интерфейс тематического продукта Global Wildfire Information System (http://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html)

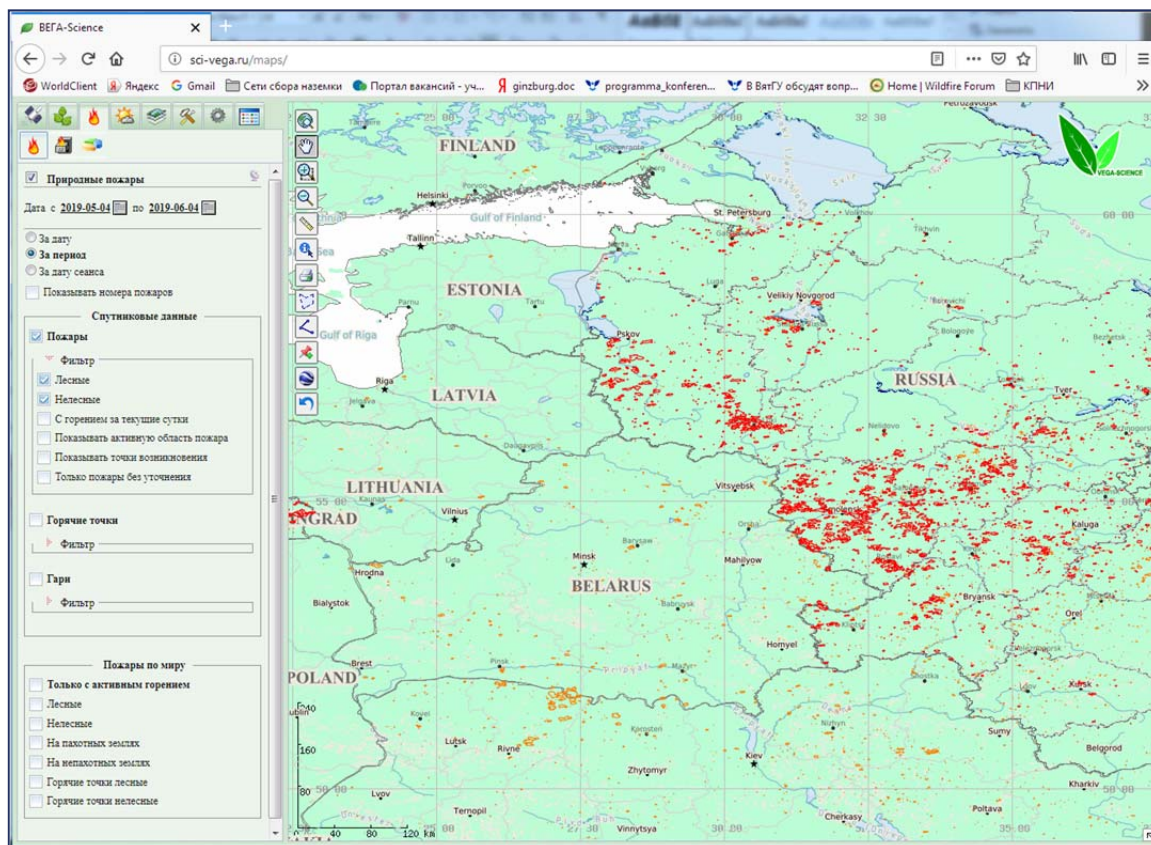


Рисунок 6.7 – Карта пожаров на лесных и нелесных землях приграничных территорий Республики Беларусь и прилегающих стран за период с 04 мая по 04 июня 2019 г. (источник ЦКП «Мониторинг» ИКИ РАН)

6.2.5 Формирование базовых данных как уровня отсчета мониторинговых наблюдений

Важным этапом создания системы мониторинга экосистем охраняемых территорий является формирование единой пространственной основы, которая призвана объединить архивные данные, современные источники и поступающие новые данные, обеспечить их пространственно-геометрическое и смысловое согласование. Такой пространственной основой должна стать базовая карта.

Базовая карта – слой тематической информации, предназначенный для использования в качестве географической основы и для привязки других пространственных данных. От геометрической точности базовой карты зависит точность всех новых информационные слоев, создаваемых на ее основе.

Содержание карты должны составлять объекты, удовлетворяющие двум основным требованиям: иметь четкие контуры и быть физиономичными, т. е. изображающимися на аэрокосмических материалах различного разрешения.

Базовое аэрокосмическое изображение. Выбор материалов, которые могут быть использованы для формирования базового аэрокосмического слоя, зависит не только от наличия снимков разного пространственного разрешения, но и от природных особенностей территории, прежде всего рельефа. Для территорий с малым перепадом относительных высот предпочтительнее космический снимок, отвечающий нескольким требованиям. Он должен иметь высокое разрешение, лучше – самое высокое из имеющихся данных. Для относительно небольших территорий это могут быть снимки с размером пиксела 5–20 м. Желательно в качестве базового использовать многозональ-

ный снимок, так как на нем легче, чем на черно-белых снимках, распознавать большинство природных объектов. Выбранный снимок должен охватывать территорию несколько большую, чем изучаемая, что позволит обеспечить его более точную привязку.

Базовое аэрокосмическое изображение служит основой для приведения к выбранной системе координат всех аэрокосмических снимков, а также других материалов, представленных в растровом формате. Опыт показывает, что сопоставление двух даже сильно различающихся, в том числе и разновременных, снимков и поиск идентичных точек на них несравнимо легче, чем сопоставление снимка и карты. Это позволяет добиваться хороших результатов при передаче координат и трансформировании всех аэрокосмических данных.

Базовая тематическая карта. Для согласования разнообразных тематических карт, составляемых по данным наблюдений, помимо базового аэрокосмического слоя желательно иметь и базовую тематическую карту (слой), которая обеспечит смысловое согласование информации. Для этого, в частности, создают карту природных контуров (растительности, биотопов, экосистем), или используют имеющуюся.

Таким образом, три базовых слоя - векторная карта-основа, растровое аэрокосмическое изображение, дополненное цифровой моделью рельефа, и базовая тематическая карта составляют блок базовой информации для картографо-аэрокосмического обеспечения мониторинга территории, который должен способствовать взаимной увязке и согласованию всех остальных источников пространственных данных

6.3 Методы обработки данных дистанционного зондирования

Все методы обработки изображений ДЗЗ могут быть разделены на две основные группы (Кочуб, 2012; Методические..., 2010).

– *улучшение изображений* (в литературе встречается также ряд синонимичных названий: предварительная обработка изображений, коррекция изображений, реставрация изображений).

– *тематическая обработка* изображений (извлечение информации из изображений ДЗЗ).

6.3.1 Предварительная обработка и улучшение изобразительных характеристик аэрокосмических снимков

Это коррекция и улучшение аэрокосмических изображений. Обеспечивает преобразования снимков, направленные на облегчение визуального дешифрирования, повышение его объективности и достоверности, а также подготовку снимков к последующему автоматизированному дешифрированию и созданию тематической карты.

Эта группа методов являются преимущественно проблемно ориентированными; так, метод улучшения, являющийся полезным для одного снимка, не обязательно окажется полезным для другого. Таким образом, общего подхода к улучшению изображений не существует. Подбор методов зависит в первую очередь от характера данных, цели обработки, знания представленной на изображении области и подготовленности (опыта в проведении работ по улучшению изображений) (Кравцов, 2008; Лабутина, 2011).

Тем не менее, в основе процесса по улучшению материалов ДЗЗ можно выделить три основных вида коррекции изображений, включающих геометрические, радиометрические и яркостные преобразования. Указанные виды предварительной обработки спутниковых снимков включены в специализированные программные продукты ERDAS Imagine, ScanEx Image Processor, ENVI и др.

Радиометрические процедуры обусловлены необходимостью получения корректных значений спектральных яркостей объектов (Лабутина, 2011). Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых «сырых» значений яркости (DN, Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок. Задача радиометрической калибровки заключается в приведении этих значений в физические единицы (на основании калибровки); устранении влияния различий освещенности, обусловленных геометрией съемки, атмосферой, рельефом; устранения дефектов изображения (Книжников, 2004).

Виды дефектов на изображениях, которые устраняются путем радиометрической коррекции: искажения за счет влияния атмосферы, сбойные пиксели, выпадающие строки, модуляция (полосатость).

Геометрические преобразования. К данной группе процедур относятся три типа преобразований: 1) устранение систематических искажений, обусловленных характеристиками датчика или бортовой платформы; 2) ортотекстуальная коррекция изображений; 3) геометрические преобразования, обеспечивающие приведение данных к общей картографической проекции (Чабан, 2013).

Применение первого типа геометрических преобразований обусловлено изменением пространственного разрешения или смещением пикселей по строке или по направлению полета. К методам геометрической коррекции, применяемых для исправления некоторых видов авиационных или спутниковых изображений относятся: *метод аффинных преобразований; метод перспективных преобразований; метод полиномиальных преобразований; метод триангуляции* и др. Эти методы довольно подробно изложены в специальном издании (Кравцов, 2008).

Второй тип преобразований – ортотекстуальная коррекция – устраняет искажения, вызванные рельефом местности, а также геометрией получения изображения (Кравцов, 2008). Чаще все выполняется с использованием методов рациональным полиномов.

Изменение картографической проекции также связано с геометрическими преобразованиями и необходимо, например, при составлении мозаик изображений или при визуально-инструментальном дешифрировании.

Если же в процессе тематического дешифрирования используется классификация по спектральным признакам, то геометрические преобразования лучше выполнять после тематической обработки изображения. При трансформировании изображения пересчет значений пикселей к узлам прямоугольной сетки в новой системе координат может привести к непредсказуемому искажению спектральных характеристик объектов. Такая последовательность процедур обычно применяется во всех задачах, решаемых на основе уже упомянутого количественного подхода. Но если в процессе анализа используются данные наземных обследований или материалы разновременной съемки, приведение видеоданных к требуемой системе координат выполняется до начала тематической обработки для точной пространственной привязки этих данных к изображению (Чабан, 2013).

Яркостные преобразования цифрового снимка заключаются в изменении передаточной функции, которая характеризует связь яркости на местности с уровнем яркости на цифровом снимке. В зависимости от свойств изображений выделяются яркостные преобразования чёрно-белых (панхроматических) и многозональных снимков. В первом случае применяются такие методы, как *контрастирование, подчеркивание контуров, квантование и цветовое кодирование*. Наиболее распространенными способами яркостных преобразований многозональных снимков являются *синтез цветного изображения, синергизм снимков, математические операции* (отношение и

вычитание, расчет вегетационных индексов, преобразование Каута-Томаса) и *метод главных компонент*.

Остановимся более подробно на вегетационных индексах (ВИ), поскольку они являются индикаторами состояния растительности (экосистем) при дистанционном мониторинге. Расчет значений ВИ относится к операции *создания простых производных индексных изображений* (проведение математических операций с матрицами значений яркости пикселей цифровых снимков (сложение, умножение и др.). Принцип расчета индексных изображений обусловлен тем, что при изучении объектов по многозональным снимкам часто важны не абсолютные значения, а характерные соотношения между значениями яркости объекта в спектральных зонах (Лабутина, 2011). Изображения получают путем простых преобразований снимков на основе арифметических и логических операции со значениями яркости в различных спектральных зонах (их сложения, вычитания, деления, умножения) (Книжников, 2004).

Вегетационные индексы (ВИ) – показатели, рассчитываемые в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) ДДЗ, и имеющие отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Расчет большей части ВИ базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений.

На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа; т.е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой биомассой растительности) ведет к более низким значениям отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной (Черепанов, 2011). Как известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов (Черепанов, 2009).

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Краткий обзор индексов представлен в таблице 6.3, куда включена характеристика многих индексов, рассчитываемых по данным в широких спектральных зонах (в том числе устойчивых к влиянию почв, атмосферы) и по данным в узких спектральных зонах.

Наиболее популярный и часто используемый вегетационный индекс – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI – это стандартизированный индекс, позволяющий построить изображение, отображающее наличие и состояние растительности (относительную биомассу). Диапазон значений NDVI лежит между значениями от -1,0 до 1,0. Очень маленькие значения индекса (0,1 и меньше) соответствуют областям, лишенным растительности. Средние значения представляют кустарники, луга (от 0,2 до 0,3), в то время как большие значения указывают на лесную растительность (от 0,6 до 0,8). На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью.

Главным преимуществом вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач. Так, NDVI часто используется как один из инструментов при проведении более сложных типов анализа, результатом которых могут являться карты продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, карты ландшафтов и природных зон, почвенные, аридные, фитогидрологические, фенологические и другие эколого-климатические карты (Lillesand, 2004).

Таблица 6.3 – Вегетационные индексы, наиболее часто используемые при автоматизированном дешифрировании космических снимков (по обобщенным данным Программный комплекс, 2007; Черепанов, 2009, 2011 и др.)

Разновидность вегетационного индекса (ВИ)	Формула и краткое описание	Авторы
1	2	3
Индексы, рассчитываемые по значениям коэффициентов отражения в широких спектральных диапазонах		
Относительный ВИ (Ratio VI, RVI)	$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$ Значения индекса изменяются от 0 до бесконечности. Для зеленой растительности значения $RVI > 1$ и растут с увеличением зеленой фитомассы, сомкнутости растительности (обычно принимают значения 2–8)	Birth и McVey, 1968 Jordan C.F., 1969 Rouse J.W. и др., 1973 Tucker C.J. и др., 1979
Нормализованный разностный ВИ (Normalized Difference VI, NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$ Индекс может принимать значения от –1 до 1. Для здоровой растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0,2 до 0,8	Впервые описан Rouse B.J. и др., 1973; концепция впервые представлена Kriegler F.J. и др., 1969
Инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage VI, IPVI)	$IPVI = \left(\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right) = \left(\frac{NDVI + 1}{2} \right)$ Функционально IPVI и NDVI эквивалентны. Индекс может принимать значения от 0 до 1. Для зеленой растительности характерны значения от 0,6 до 0,9	Crippen (1990)
Разностный вегетационный индекс (Difference VI, DVI)	$DVI = \rho_{NIR} - \rho_{RED}$ Индекс может принимать любые значения.	Tucker, C., 1979 Lillesand T.M. и Kiefer R. W., 1987 Richardson и Everitt, 1992
Усовершенствованный индекс растительности (Enhanced Vegetation Index, EVI)	$EVI = \frac{2,5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + 6 \times \rho_{RED} - 7,5 \times \rho_{BLUE} + 1)}$ Индекс может принимать значения от –1 до 1, где зеленая растительность находится в диапазоне значений EVI от 0,20 до 0,80.	Rouse J.W. и др., 1973 Tucker C.J., 1979 Jackson R.D. и др., 1983 Kriegler F.J. и др., 1969 Sellers P.J., 1985 Huete A.R. и др., 1997
Трансформированный вегетационный индекс (Transformed Vegetation Index, TVI)	$TVI = \sqrt{NDVI + 0,5}$ 0,5 прибавляется для исключения отрицательных значений в подкоренном выражении. Функционально TVI и NDVI эквивалентны	Tucker C.J. и др., 1979

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3
Индексы, устойчивые к влиянию почвы		
Почвенный вегетационный индекс (Soil Adjusted VI, SAVI)	$SAVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} \right) \times (1 + L),$ где, $L = (0;1)$, $L = 0$ для очень густого растительного покрова, $L = 1$ для очень разреженного, чаще всего используют значение $L = 0,5$ (Huete и Liu, 1994). Значения индекса изменяются от -1 до 1.	Huete A.R., 1988 Huete A.R., и Liu H., 1994 Qi J. и др., 1994
Индекс глобального мониторинга окружающей среды (Global Environmental Monitoring Index, GEMI)	$GEMI = E \times (1 - 0,25 \times E) - \left(\frac{\rho_{RED} - 0,125}{1 - \rho_{RED}} \right)$ $E = \frac{2 \times (\rho_{NIR}^2 - \rho_{RED}^2) + 1,5 \times \rho_{NIR} + 0,5 \times \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + 0,5}$ GEMI – индекс глобального мониторинга окружающей среды, разработанный Pinty и Verstraete (1991). Они пытались избежать необходимости проводить детальную атмосферную коррекцию путем конструирования общей поправки на влияние атмосферы для вегетационного индекса. Значения индекса изменяются от 0 до 1	Pinty B. и Verstraete M.M., 1991 Leprieur C. и др., 1994
Вегетационный индекс, устойчивый к влиянию атмосферы (Atmospherically Resistant Vegetation Index, ARVI)	$ARVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_b}{\rho_{NIR} + \rho_b} \right),$ где $\rho_b = \rho_{RED} - a \times (\rho_{RED} - \rho_{BLUE})$, как правило, $a=1$, при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы $a=0.5$ (Kaufman, Y. J., 1992). Индекс использует значение отражения в синей зоне, чтобы устранить влияние атмосферы на коэффициенты отражения в красной зоне. Значения индекса изменяются от -1 до 1. Линия почв может иметь различный наклон и проходит через точку 0	Kaufman, Y.J., Tanre, D., 1992; Kaufman, Y.J., D. Tanre, 1996; Huete A.R., и Liu H., 1994
Индексы, рассчитываемые по значениям коэффициентов отражения в узких спектральных диапазонах		
Использование этих индексов дает более точные результаты для оценки количества и состояния растительности. Использование отражения в узких спектральных каналах позволяет этим индексам фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Но для расчета этих индексов необходимы данные в узких спектральных зонах (например, гиперспектральные). Индексы этой группы также отражают общее количество и состояние растительности. Эти индексы используют для расчетов данные о яркости в участке спектра от 690 до 750 нм, то есть рассматривают область инфракрасного склона (red edge)		
Нормализованный разностный ВИ для области ближнего инфракрасного склона (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI_{0,75} = \frac{\rho_{0,750} - \rho_{0,705}}{\rho_{0,750} + \rho_{0,705}}$ Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычно принимает значения от $0,2$ до $0,9$	Gitelson A.A. и др., 1994 Sims D.A. и др., 2002

1	2	3
Модифицированный относительный ВИ для области ближнего инфракрасного склона (Modified Red Edge Simple Ratio Index)	$mSR_{0,705} = \left(\frac{\rho_{0,705} - \rho_{0,445}}{\rho_{0,705} + \rho_{0,445}} \right)$ Индекс может принимать значения от 0 до 30. Для зеленой растительности обычно принимает значения от 2 до 8	Datt B., 1999 Sims D.A. и др., 2002
Индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове Для расчетов этих индексов используются значения отражения в ближней инфракрасной и средней инфракрасной зонах спектра		
Водный индекс (Water Band Index, WBI)	$WBI = \frac{\rho_{0,900}}{\rho_{0,970}}$ Зеленая растительность обычно имеет значения от 0,8 до 1,2. Увеличение содержания воды в растениях приводит к увеличению поглощения в зоне около 970 нм относительно поглощения в зоне около 900 нм. Данный индекс применяется для анализа водного стресса, определения продуктивности, анализа пожароопасности, управления орошаемыми землями и др.	Penuelas J. I. и др., 1995 Champagne C. и др., 2001
Нормализованный разностный водный индекс (Normalized Difference Water Index, NDWI)	$NDWI = \frac{\rho_{0,857} - \rho_{1,241}}{\rho_{0,857} + \rho_{1,241}}$ Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычно принимает значения от -0,1 до 0,4	Gao B.C., 1995
Индекс стресса влажности (Moisture Stress Index, MSI).	$MSI = \frac{\rho_{1,599}}{\rho_{0,819}}$ MSI - чувствителен к увеличению содержания воды в зеленой биомассе. Содержание воды в листьях приводит к увеличению поглощения в зоне около 1599 нм. Поглощение в зоне 819 нм практически не зависит от изменения содержания воды, поэтому его используют в качестве эталона. MSI применяется для анализа водного стресса, прогнозирования и моделирования продуктивности, анализа пожарной опасности, а также исследования физиологии экосистем. Принимает значения в диапазоне от 0 до более чем 3. Общий диапазон для зеленой растительности от 0,4 до 2. Более высокие значения указывают на более высокий водный стресс и меньшее содержание воды.	Rock и др., 1986 Hunt Jr. и др., 1989 Ceccato P. и др., 2001
Нормализованный разностный инфракрасный индекс (Normalized Difference Infrared Index, NDII)	$NDII = \left(\frac{\rho_{0,819} - \rho_{1,649}}{\rho_{0,819} + \rho_{1,649}} \right)$ Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычно принимает значения от 0,02 до 0,6	Hardisky M.A. и др., 1983 Jackson T.L. и др., 2004

Также на его основе возможно получение численных данных для использования

в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных стихийных бедствий, техногенных аварий и т. д. (Черепанов, 2009).

Алгоритмы расчета ВИ встроены практически во все распространенные программные пакеты и веб-инструменты, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (рисунки 6.8-6.10).

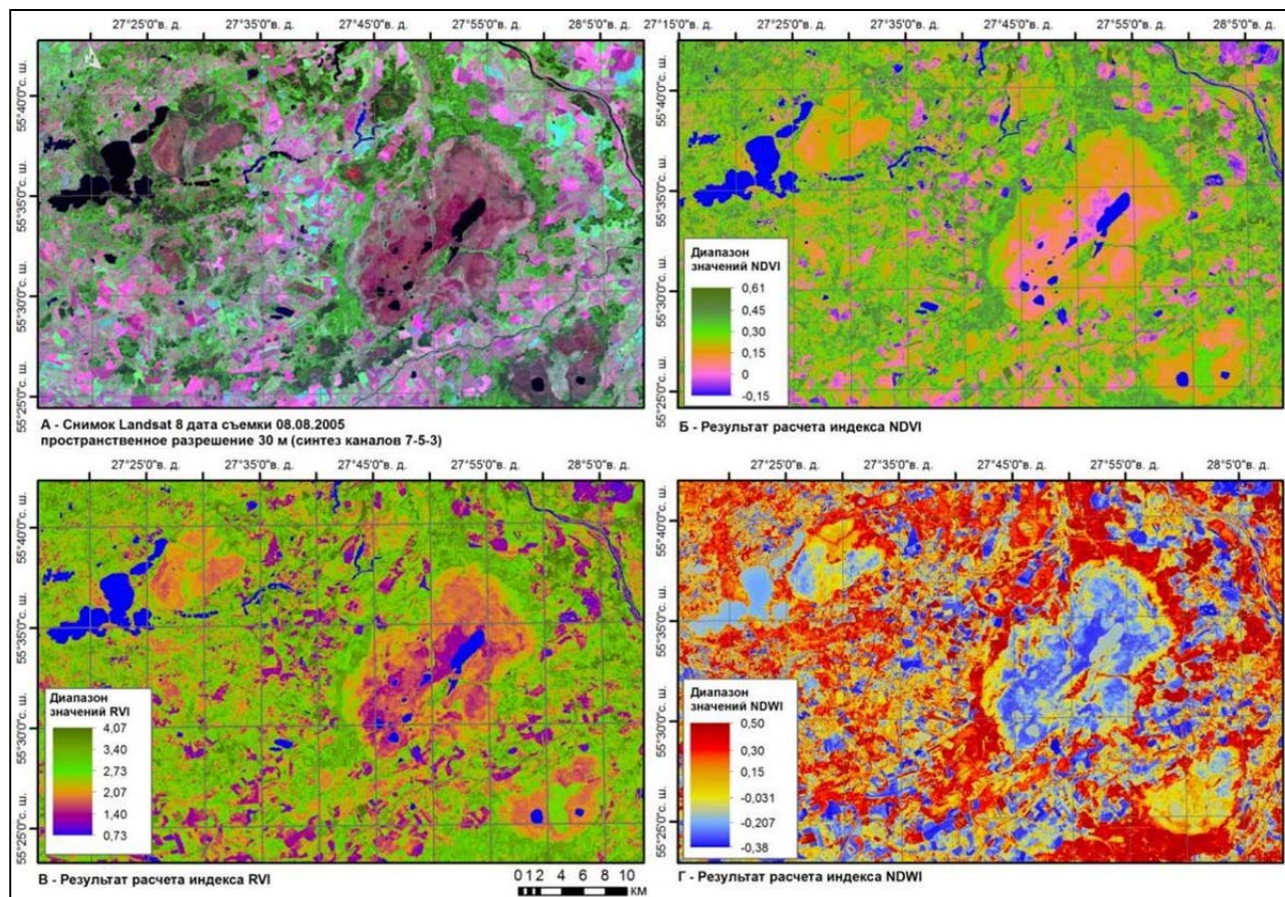


Рисунок 6.8 – Многозональный снимок Landsat (А) и растровые карты (Б–Г), составленные на основе распределения значений вегетационных индексов (рассчитаны с использованием калькулятора ArcGIS и раскрашены в псевдоцвета)

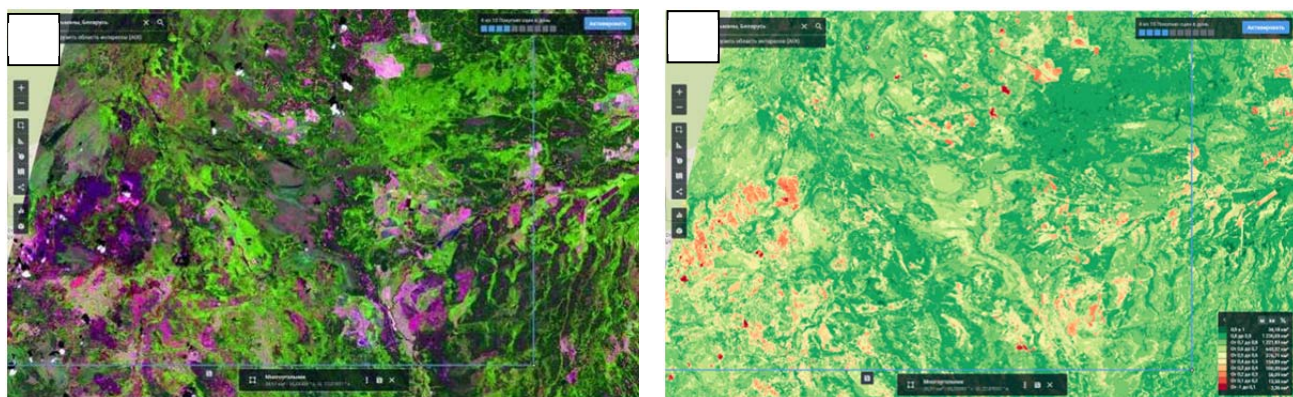


Рисунок 6.9 – Многозональный снимок Sentinel-2 L2A (15.06.2019, синтез каналов B11, B8A, B04) и растровая карта значений NDVI (Б) (рассчитаны с использованием калькулятора веб-платформы <https://eos.com/landviewer/>)

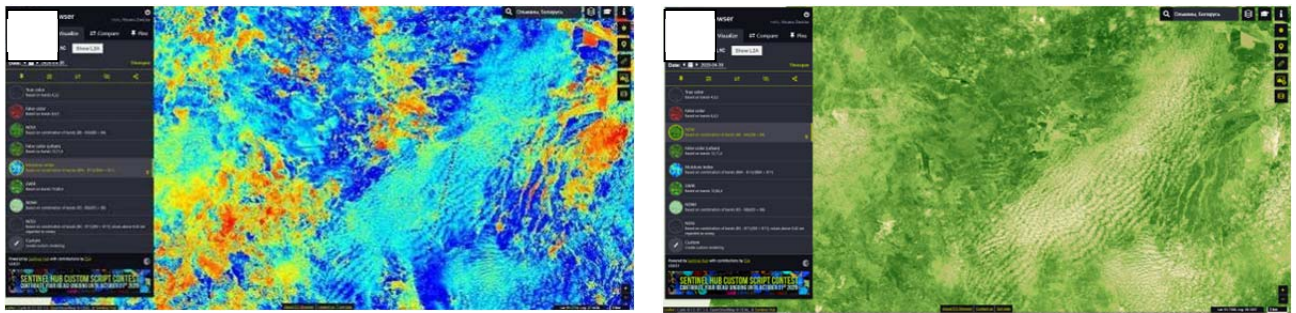


Рисунок 6.10 – Растровая карта индекса NDWI (А) и NDVI (Б), рассчитанные на основе спутниковой съемки Sentinel -2 L2A (30.04.2020) рассчитаны с использованием калькулятора веб-платформы <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>)

Кроме расчета вегетационных индексов, довольно часто при оценке состояния растительности создают сложных производные индексные изображения. Данное преобразование требуется для выявления нескольких типов объектов или получения ряда характеристик объектов. Комбинирование изображений выполняют, создавая цветные синтезированные изображения с использованием индексных изображений, вместо зональных снимков. Такие преобразования применяются для выявления нескольких типов растительного покрова, а также комплексной оценки состояния растительного покрова.

Создание сложных производных преобразований реализуется во многих программных комплексах. Например, в программной среде ENVI имеется модуль создания сложных производных индексных изображений (рисунки 6.11, 6.12) для оценки сельскохозяйственного стресса (*agricultural stress*), пожарной опасности (*fire fuels*) и здоровья лесов (*forest health*).

6.3.2 Визуальное дешифрирование

Все разнообразие приемов и способов дешифрирования сводится к двум основным методам: *визуальному* и *автоматизированному* (компьютерному). Под визуальным дешифрированием понимается процесс, выполняемый исполнителем, независимо от того, в каком виде представлен снимок: в виде фотоотпечатков или изображения на экране компьютера. В противоположность этому автоматизированное (компьютерное) дешифрирование – это программная обработка снимков на компьютере. Существовавшее некоторое время тому назад представление о том, что автоматизированное дешифрирование полностью заменит визуальное, оказалось неверным. Более того, по мере все более широкого использования снимков со сверхвысоким пространственным разрешением роль визуального дешифрирования возрастает. Это объясняется тем, что способности человека анализировать изображение пока существенно превосходят возможности вычислительной техники (Кравцов, 2008, Лабутина, 2011).

При визуальном дешифрировании изучаемый объект характеризуют на основе признаков дешифрирования его изображения на аэро- или космическом снимке (на бумажном носителе или экране компьютера) невооруженным глазом, с помощью оптических приборов (Методические..., 2010). Успех дешифрирования зависит не только от качества используемых материалов, но и от исследователя, особенностей его зрительного и логического восприятия.

Многозональный аэрокосмический снимок состоит обычно из 4–6 снимков, полученных в относительно узких спектральных зонах. К этому виду снимков можно также отнести радиолокационные снимки, получаемые как при регистрации отраженных радиоволн разной длины, так и при разной их поляризации. Работа с серией зо-

нальных снимков сложнее, чем с одиночным снимком, и дешифрирование многозональных снимков требует использования особых методических подходов. Для более быстрого, простого и полного извлечения из снимка необходимой информации выполняют его преобразование, которое сводится к получению другого изображения с заданными свойствами. Оно направлено на выделение необходимой и удаление излишней информации. Следует подчеркнуть, что преобразование изображения не добавляет новой информации, а только приводит ее к виду, удобному для дальнейшего использования.

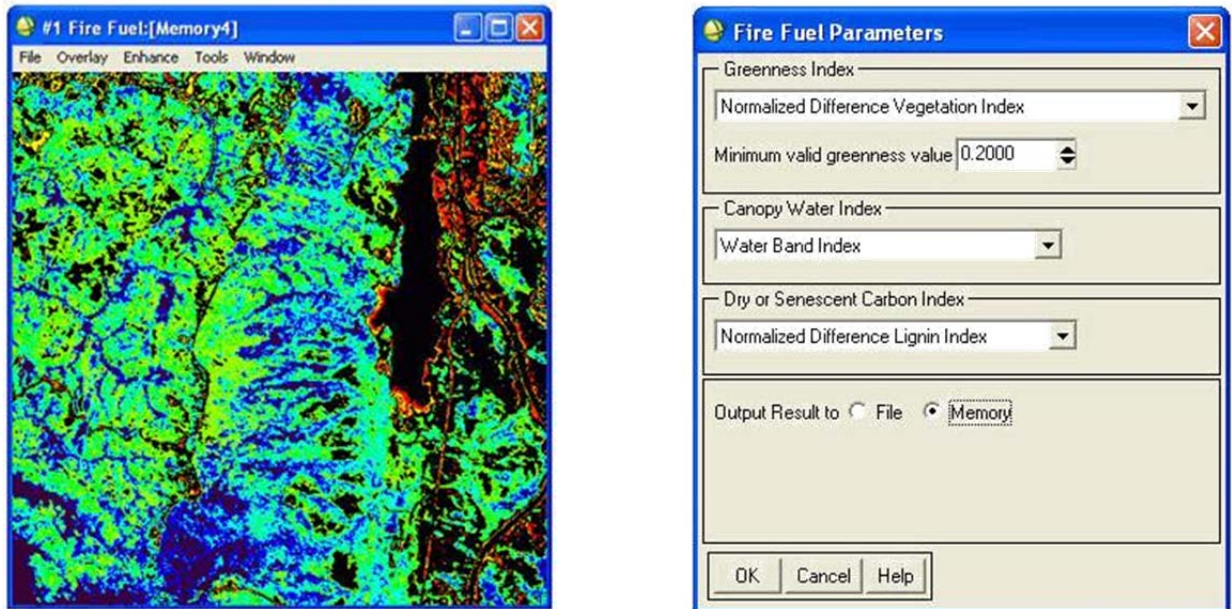


Рисунок 6.11 – Пример создания сложных производных индексных изображений для прогнозирования потенциала возникновения пожароопасной ситуации в программном комплексе ENVI (инструмент Fire Fuel Tool)



Рисунок 6.12 – Пример создания сложных производных индексных изображений (Index Stack) с использованием калькулятора веб-платформы <https://eos.com/landviewer/>

Преобразование снимков можно выполнить *фотографическими, оптическими и компьютерными* способами или при их сочетании. Фотографические способы основаны на различных режимах фотохимической обработки; оптические – на преобразовании светового потока, пропущенного через снимок. Наиболее распространены компьютерные преобразования снимков. Можно сказать, что в настоящее время альтернативы компьютерным преобразованиям не существует (Книжников, 2004). Распространенные компьютерные преобразования снимков для визуального дешифрирования, такие, как компрессия-декомпрессия, преобразование контрастности, синтезирование цветных изображений, квантование и фильтрация, а также создание новых производных геоизображений, рассмотрены нами в разделе 3.1.

Наиболее универсальный прием – *синтезирование цветного изображения*, включая выбор варианта цветового синтеза, оптимального для решения конкретной задачи дешифрирования. Дополнительные результаты может дать также работа с серией ахроматических (черно-белых) зональных снимков.

Процесс визуального анализа изображения принято делить на три стадии: *обнаружение, опознавание и интерпретация*. Последняя процедура предполагает выявление существа объекта, отнесение его к какой-либо категории, предусмотренной легендой карты или ранее известной дешифровщику, т.е. связана с логическим восприятием. Две первые представляют особенности зрительного восприятия (восприятие яркости, цвета, размера и объема). Дешифрирование и оцифровка в стереоскопическом режиме выполняется с помощью специальных цифровых фотограмметрических систем, в моноскопическом – в любой из инструментальных ГИС (Курлович, 2013).

Исследователь при визуальном дешифрировании опирается на диагностический аппарат, который включает в себя опознавательные признаки – свойства объектов, нашедшие отражение на снимке и используемые для распознавания этих объектов. Дешифровочные признаки принято подразделять на *прямые* дешифровочные признаки – свойства объектов, находящие непосредственное отображение на снимках, и *косвенные*, или индикационные дешифровочные признаки – взаимосвязи и взаимообусловленность природных и антропогенных объектов, характеризующие объект дешифрирования опосредованно, через какой-либо прямой дешифровочный признак других природных или антропогенных объектов, или их комплекс (Лабутина, 2011).

Прямые дешифровочные признаки – это свойства объекта, находящие непосредственное отображение на снимках. К ним относятся три группы признаков: *геометрические* (форма, тень, размер), *яркостные* (фототон, уровень яркости, цвет, спектральный образ), *структурные* (текстура, структура, рисунок).

К первой группе, как следует из ее названия, относятся признаки, связанные с размерами и формой объектов на местности.

Форма – наиболее надежный, т. е. не зависящий от условий съемки признак. К тому же наш глаз наиболее уверенно распознает именно форму объектов. С изменением масштаба снимков форма объекта на нем может несколько изменяться, за счет исчезновения деталей она упрощается. Форма является достаточным признаком для разделения объектов природного и антропогенного происхождения. Антропогенные объекты, обычно, отличаются правильностью конфигурации. Для объектов природного происхождения типична неправильная, часто сложная форма. Исключительно большое значение, особенно при дешифрировании рельефа местности, имеет пространственная, объемная форма объектов. Самый надежный способ ее определения – стереоскопическое наблюдение пары перекрывающихся снимков (Лабутина, 2011).

Тень – дешифровочный признак, позволяющий судить о пространственной форме объектов на одиночном снимке. Различают собственную тень, т. е. часть объекта, не освещенную прямым солнечным светом, и падающую – тень от объекта на земной поверхности или поверхности других объектов. Собственная тень позволяет судить о поверхности объектов, имеющих объемную форму: резкая граница тени характерна для угловатых объектов, например, крыш домов, а размытая свидетельствует о плавной поверхности, например, крон деревьев. Падающая тень в большей степени характеризует вертикальную протяженность, силуэт объекта (Курлович, 2010).

Существенную роль играет тень как дешифровочный признак рельефа. По выраженности границы тени определяют профиль водораздельных поверхностей, бровок эрозионных форм, гребней форм эолового рельефа, а по размеру, протяженности – относительную высоту или длину форм рельефа. При дешифрировании форм микрорельефа плоских равнин, речных террас тень как дешифровочный признак играет едва ли не главную роль.

Размер – не вполне надежный признак. При дешифрировании чаще используются не абсолютные, а относительные размеры объектов. По размеру можно идентифицировать класс дорог, величину строений, лесной и древесно-кустарниковой растительности и др.

Яркостные дешифровочные признаки связаны с одним и тем же свойством объектов местности – спектральной отражательной способностью, которая фиксируется на снимке в зависимости от вида съемки и типа материала, используемого при дешифрировании. На панхроматических и зональных (отдельных съемочных каналов) сканерных снимках интегральная или спектральная яркость объектов земной поверхности закодирована уровнями яркости (чаще говорят «яркостью») шкалы из определенного числа ступеней (например, 256 или 2048). Этот признак является функцией интегральной или зональной (в относительно узкой зоне спектра) яркости объектов. На многозональном снимке различия в спектральной яркости объектов отображаются набором уровней яркости в съемочных зонах, называемым спектральным образом, а на цветных синтезированных снимках – цветом.

Фототон, или *тоном изображения*, принято называть оптическую плотность на черно-белых фотоотпечатках при визуальном анализе. Наиболее широко этот признак использовался при дешифрировании материалов фотографической съемки, в первую очередь аэрофотосъемки.

Отражательные свойства объектов не постоянны во времени, зависят от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, фазы вегетативного развития и других факторов. Изменчивостью спектральной яркости объектов, а также неоднозначностью изображительных свойств съемочных систем объясняется невысокая надежность яркостных дешифровочных признаков. Яркостные дешифровочные признаки одного и того же объекта на разных снимках могут сильно варьировать, но, несмотря на это, они широко используются при визуальном дешифрировании, а при компьютерном в настоящее время являются основными.

Солнечное излучение обладает свойством в зависимости от длины волны проникать в воду на разную глубину, поэтому серия из снимков в голубой, зеленой и красной съемочных зонах создает как бы разноглубинный образ водных объектов и служит незаменимым материалом для их дешифрирования.

Структурные признаки являются отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации. На снимке эти признаки представляют собой сочетание изображений объектов и их частей определенной формы, размера и тона (цвета), дополняя его новым свойством – про-

пространственным распределением элементов изображения, их размещением, повторяемостью. Благодаря этим свойствам структурные признаки мало зависят от условий освещения, сезона и технических параметров съемки, несмотря на изменчивость отдельных составляющих изображения, поэтому их принято считать надежными дешифровочными признаками. Относительно мелкие элементы на снимке, у которых распознаются форма и размер, образуют структуру изображения. Типичным примером служат изображения лесных насаждений на аэрофотоснимках и космических снимках сверхвысокого разрешения.

Несколько разных структур часто формируют довольно устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов земной поверхности. Такие сочетания называют рисунком изображения. В рисунке находят отражение как природные особенности территории (структура почвенного и растительного покрова, распределение геоморфологических элементов, литологические особенности слагающих пород, тектонические условия), так и пространственные взаимоотношения объектов антропогенного происхождения. Очень часто рисунок изображения территории определяется ее рельефом и растительностью. Например, типичный рисунок поверхности речных террас с полукружьями заполненных водой или пересохших стариц обусловлен различиями в микрорельефе и растительных сообществах, а характерный рисунок грядово-мочажинного болота представляет собой чередование изображения растительности и открытой водной поверхности.

Структурные признаки тесно связаны с пространственным разрешением или масштабом снимка, поскольку они соответствуют рисунку природно-территориальных комплексов разного ранга. Например, на снимках с высоким пространственным разрешением (в крупном масштабе) структуру изображения формируют кроны отдельных деревьев, а на снимках с более низким разрешением – чередование выделов лесной и травянистой растительности.

Косвенные дешифровочные признаки. Наличие взаимосвязей и взаимообусловленности всех природных и антропогенных свойств территории служит методологической основой дешифрирования по косвенным признакам. В качестве косвенных обычно выступают прямые дешифровочные признаки других объектов, называемых индикаторами. Интерпретировать изобразившийся на снимке объект можно по его географической приуроченности, местоположению.

Косвенные дешифровочные признаки подразделяются на *природные, антропогенные и природно-антропогенные*.

К *природным (ландшафтным)* относятся взаимосвязи и взаимообусловленности объектов и явлений в природе. Например, зависимость вида растительного покрова от типа почвы. С помощью *антропогенных* признаков опознают объекты, созданные человеком. При этом используют функциональные связи между объектами, их положение в комплексе сооружений, зональную специфику организации территории, коммуникационное обеспечение объектов. Например, животноводческая ферма сельскохозяйственного предприятия может быть опознана по совокупности основных и вспомогательных построек, внутренней планировке территории, интенсивно выбитым прогонам, характеру дорожной сети. К *природно-антропогенным* относят: зависимость хозяйственной деятельности человека от определенных природных условий, проявление свойств природных объектов в деятельности человека и др. Пример: по размещению некоторых видов культур можно составить определенное суждение о свойствах почвы.

Прямые и косвенные дешифровочные признаки в общем не постоянны, а зависят от сезона, времени и спектральных диапазонов съемки, масштаба снимков и т.д. В за-

висимости от конкретных условий меняется относительная значимость дешифровочных признаков, да и сами признаки. Начинаящий исполнитель больше работает с прямыми дешифровочными признаками; умелое использование косвенных признаков – свидетельство высокой квалификации дешифровщика (Книжников, 2004).

6.3.3 Особенности визуального дешифрирования растительного покрова

Леса. Древесная растительность опознается на космических снимках по прямым дешифровочным признакам, кустарниково-травянистая – почти исключительно по косвенным признакам (Методические..., 2010).

Исследования информативности космических снимков (с разрешением 10–30 м) полученных при съемке хвойно-лиственных лесов, показывают, что с вероятностью более 0,7 распознаются хвойные и смешанные хвойно-лиственные древостой, а вероятность распознавания чистых лиственных насаждений колеблется от 0,6 до 0,8 (Жирин, 2012, 2013, 2014).

На космических снимках высокого разрешения для изображения лесных объектов существует большое разнообразие условных цветов и оттенков. На приведенном производном снимке IKONOS, полученном путем синергизма (слияния) панхроматического изображения с разрешением 1 м с многозональным изображением с разрешением 4 м, представлены насаждения с преобладанием хвойных (ель, сосна) и лиственных (береза, осина) пород (рисунок 6.13). Несмотря на четкие цветовые контрасты в изображении древесного полога, достоверность классификации преобладающих пород остается невысокой: преобладание березы определяется с вероятностью примерно 0,7; ели – 0,60–0,70; сосны – 0,5–0,7; осины — 0,4–0,4. При объединении пород в группы – хвойных и хвойно-лиственных, лиственно-хвойных и лиственных пород – вероятность их распознавания повышается, но существенно не отличается от тех значений, которые получены при использовании съемки с пространственным разрешением 10–30 м (Методические..., 2010).

Структура – другой важный признак дешифровочный признак лесных земель и характеризующий пространственную организацию элементов изображения и зависящий от статистического распределения тона (цвета). Признак структуры изображения более устойчив, чем тон или цвет, так как мало зависит от условий съемки (Методические..., 2010).

Для древесной и кустарниково-травянистой растительности характерна нерегулярная текстура фотоизображения, которая выражается в зернистости неправильной формы, создаваемой чередованием округлых пятен (проекций крон деревьев) и различных по очертаниям промежутков между ними, частично или полностью занятых темными по тону тенями, отбрасываемыми деревьями. При стереоскопическом просмотре высота деревьев воспринимается достаточно отчетливо. Величина и форма зерен зависят от размеров и строения крон деревьев на местности, а также от густоты леса.

Точечная (равномерная, неравномерная) структура характерна для изображений редин, вырубок с оставленными сменными деревьями или подростов. Размещение точек может быть равномерным или неравномерным.

Мелкозернистая структура лесных насаждений образует совокупность зерен мелкого размера, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее удвоенной величины диаметра зерен. Этот тип структуры обычно характерен для изображений чистых сомкнутых молодых. Зернистая структура образует совокупность зерен среднего размера, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не

превышающее удвоенного диаметр зерен. Этот тип структуры характерен для изображений чистых по составу или равномерно смешанных средневозрастных сомкнутых насаждений (Методические..., 2010).

Крупнозернистая структура образует совокупность зерен крупного размера, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга не превышающих удвоенного диаметра зерен. Этот тип структуры обычно характерен для изображений чистых по составу или равномерно смешанных спелых сомкнутых насаждений. Мелкопятнистая структура образует совокупность мелких пятен, равномерно размещенных по полю изображения. Этот тип структуры обычно характерен для изображений спелых насаждений средней сомкнутости. Пятнистая структура образует совокупность пятен среднего размера, равномерно размещенных по полю изображения. Этот тип структуры характерен для изображений неравномерно смешанных насаждений низкой сомкнутости. Крупнопятнистая структура образует совокупность крупных пятен, неравномерно размещенную по полю изображения. Этот тип структуры характерен для изображений куртинных насаждений низкой сомкнутости (Методические..., 2010).



Рисунок 6.13 – Отображение лесных земель (ГЛХУ «Быховский лесхоз», материалы космической съемки IKONOS, пространственное разрешение 1 м)

Приведенные типы структуры возникают при сочетании изображений округлых и неправильно-округлых проекций крон деревьев, а также затененных промежутков между кронами. Сложные рисунки изображений формируются за счет сочетания различных типов структур, например, в виде мелкозернисто-точечной, крупнозернисто-

пятнистой, мелкозернисто-зернистой. Сочетание различных типов структуры характерно, как правило, для лесных насаждений сложного породного состава с нарушенной сомкнутостью полога.

На рисунке 6.14 представлен фрагмент космического снимка, на котором видны цветовые и структурные различия объектов лесной территории и результаты его дешифрирования, выполненные лесоустроителями.

При дешифрировании космических снимков высокого разрешения наблюдается примерная связь возраста насаждений с типом структуры изображения (Сухих, 2005):

- на космических снимках высокого разрешения молодые насаждения I-II классов возраста имеют преимущественно мелкозернистую структуру;
- лесным насаждениям III класса возраста соответствует зернистый тип структуры;
- в большинстве случаев крупнозернистой структурой отображаются лесные насаждения IV класса возраста;
- мелкопятнистая структура характерна для лесных насаждений V класса возраста;
- пятнистая структура характерна для лесных насаждений старших возрастов.

При правильной классификации структуры изображений лесных насаждений по космическим снимкам высокого разрешения определяется группа возраста или класс возраста древостоев с ошибкой 1–2 класса.

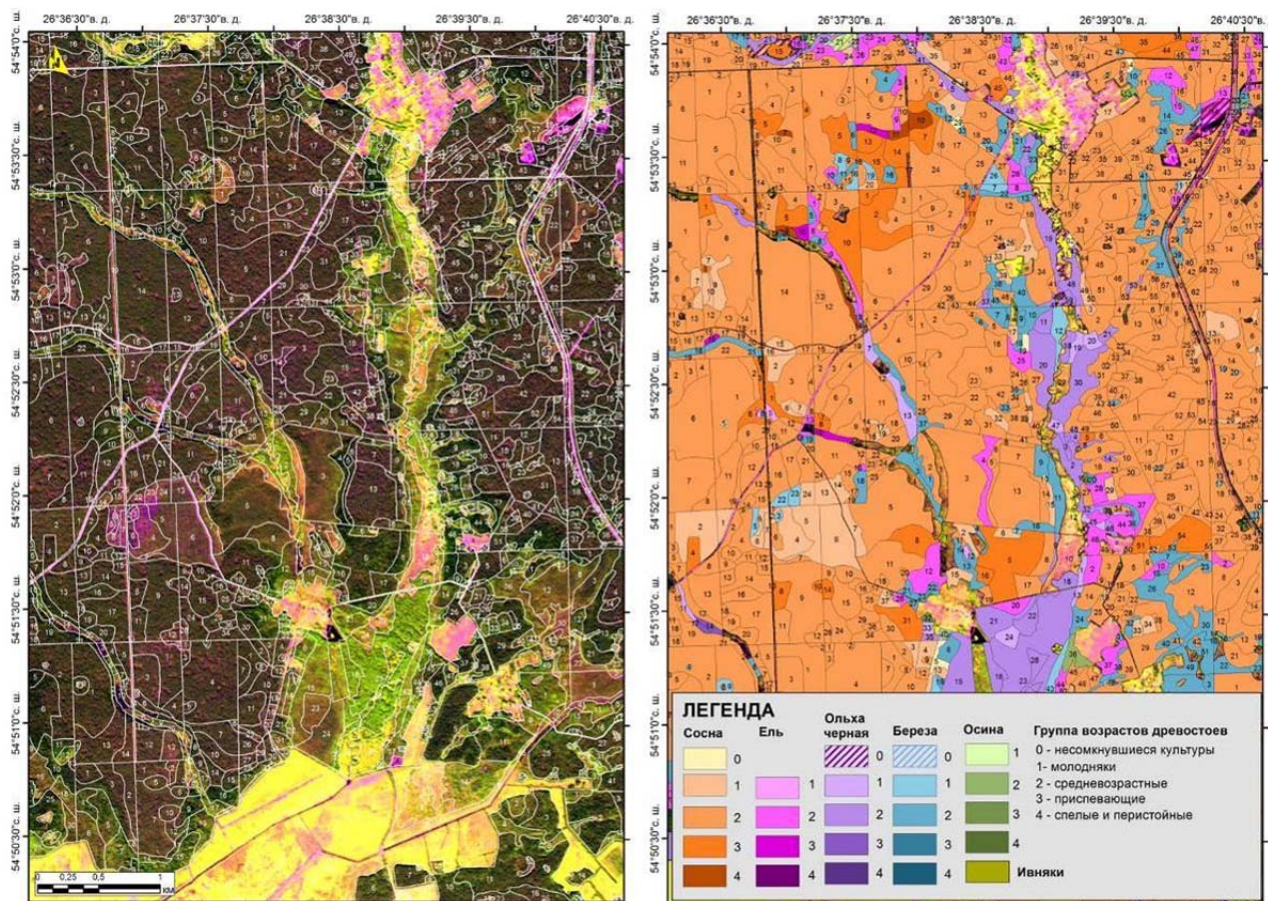


Рисунок 6.14 – Фрагмент космического снимка лесной территории национального парка «Нарочанский» и результаты его дешифрирования

На космических снимках высокого разрешения высота лесных насаждений иногда определяется путем измерения длины падающих теней от деревьев, а по диаметрам проекций крон (площадям проекций крон) – сомкнутость полога и примерная полнота древостоя (Методические..., 2010).

Космические снимки высокого разрешения используются при оценке состояния лесного покрова на отдельных участках, занятых лесом и нуждающихся в детальном анализе состояния лесных насаждений, в качестве дополнительного материала к космическим снимкам среднего разрешения.

В таблице 6.4 приведены сведения о точности определения характеристик лесов при использовании аэрофотоснимков и космических снимков разного пространственного разрешения в сравнении с наземными методами обследования лесов.

Болота. При визуальном дешифрировании болот распознаются:

- границы болотных массивов или систем болотных массивов различного типа (верховые, переходные, низинные),
- границы внутриболотных контуров, которые соответствуют группе или типу болотного микроландшафта.
- производные сообщества, возникшие на болотах из-за проведения лесозаготовительной деятельности, под воздействием торфяных пожаров, ураганных ветров.
- контуры внутриболотной гидрографической сети (протоки, ручьи, реки, озера и топи);
- границы минеральных островов среди болота;

По космическим снимкам с разрешением (2–10 м) вероятность распознавания болот составляет 70–80%, с разрешением 10–40 м – 60–70%. Для повышения точности дешифрирования необходимо классифицировать изображения объектов гидрографии, рельефа и почвенного покрова.

Дешифрирование болот по данным ДЗЗ осуществляется по прямым и косвенным признакам. К прямым дешифровочным признакам болот относятся: структура фотоизображения: зернистость, извилисто-полосатый рисунок, различная тональность отдельных участков космических снимков, изображение гидрографии. К косвенным дешифровочным признакам болот относятся все известные закономерности геоморфологического залегания и взаиморасположения элементов болотного ландшафта (приуроченность различных типов болотных микроландшафтов) (Усова, 2009). Предпочтительно визуально дешифрировать спутниковые снимки болот, отснятые в летнюю межень при низком стоянии уровней болотных вод. В этот период более контрастно фотоизображение растительного покрова (рисунок 6.15).

Дешифрирование космоснимков верховые болот. Верховые болота довольно хорошо дешифрируются на космоснимках. Они определяются по более мелкой зернистости рисунка и более светлому тону фотоизображения по сравнению с суходольных лесных участков для которых характерен более крупнозернистый и густой рисунок на темном фоне. Вместе с тем на основе космической информации не всегда можно определить четко границу болота в тех случаях, когда болото граничит с заболоченным лесом. В этом случае граница болот проводится условно. Кроме этого довольно часто лесные верховые болота перепутываются с другими объектами.

При визуальном дешифрировании верховых болот по преобладающему типу растительности выделяются 5 групп болотных микроландшафтов (лесные, мохово-лесные, моховые, мохово-травяные и комплексные). На рисунках 6.16, 6.17 представлены фрагменты космических снимков верховых болотных массивов с фотоизображением групп болотных микроландшафтов.

Таблица 6.4 – Возможная точность определения по прямым дешифровочным признакам параметров и характеристик отдельных участков лесного фонда (таксационных выделов) (по Сухих и Жирин, 2005)

Категории земель, классы объектов и их характеристики	Значения ошибок при определении характеристик лесов (при достоверности 0,68)			
	наземные работы	по аэрофотоснимкам	по космическим снимкам с разрешением 7–10 м	по космическим снимкам с разрешением 10–40 м
Лесные земли:				
Покрытые лесом земли	точно	5%	10%	20%
Несомкнувшиеся лесные культуры	точно	30%	не распознаются	
Редины (в т.ч. естественные)	20%	30%	40%	50%
		перепутываются с насаждениями низкой полноты, старыми гарями, вырубками		
Вырубки	точно	10%	20%	30%
		перепутываются со старыми гарями, прогалинами, рединами		
Гари (через 1–2 года после пожара)	точно	точно	20%	30%
			перепутываются с рединами, старыми вырубками	
Прогалины, пустыри	точно	30%	50%	50%
		перепутываются с сенокосами, болотами		
Нелесные земли:				
Болота	точно	10%	20%	30%
		перепутываются с прогалинами, сенокосами,		
Воды	точно	точно	точно	точно
Сенокосы, пойменные луга	точно	20%	50%	50%
		перепутываются с прогалинами, болотами, песками, старыми вырубками		
Пески	точно	10%	30%	50%
		перепутываются с прогалинами, сенокосами		
Биометрические параметры:				
Породный состав насаждений	1–2 единицы	1–3 единицы	не определяется	не определяется
Высота, м	7–10%	10–20%	—«—	—«—
Возраст, лет	10–40 лет	10–60	—«—	—«—
Группа возраста	точно	1	1–2	—«—
Полнота (0,3–1,0)	0,1–0,2 ед.	0,1–0,2	0,2–0,3	—«—
Запас древесины	15–25%	15–30%	20–40%	30–50%
Категория состояния (4–6 категорий) насаждений	1 категория	1 категория	± 2 категории	участки погибших насаждений
Запас сухостоя	20–30%	30–40%	не определяется	не определяется
Запас валежной древесины	30%	50%	—«—	—«—
Группы насаждений (хвойные, лиственные, смешан-	точно	точно	10%	30%

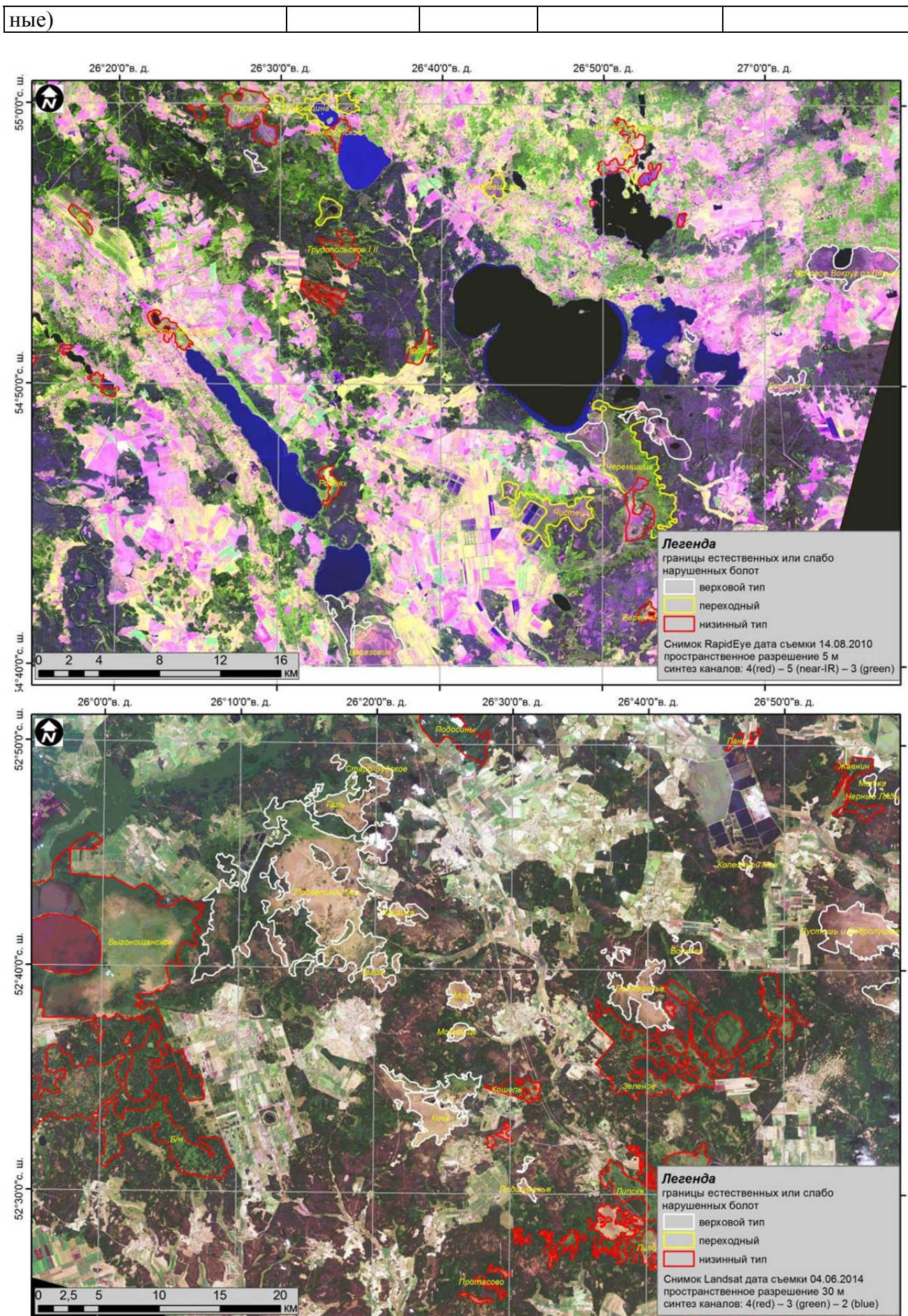
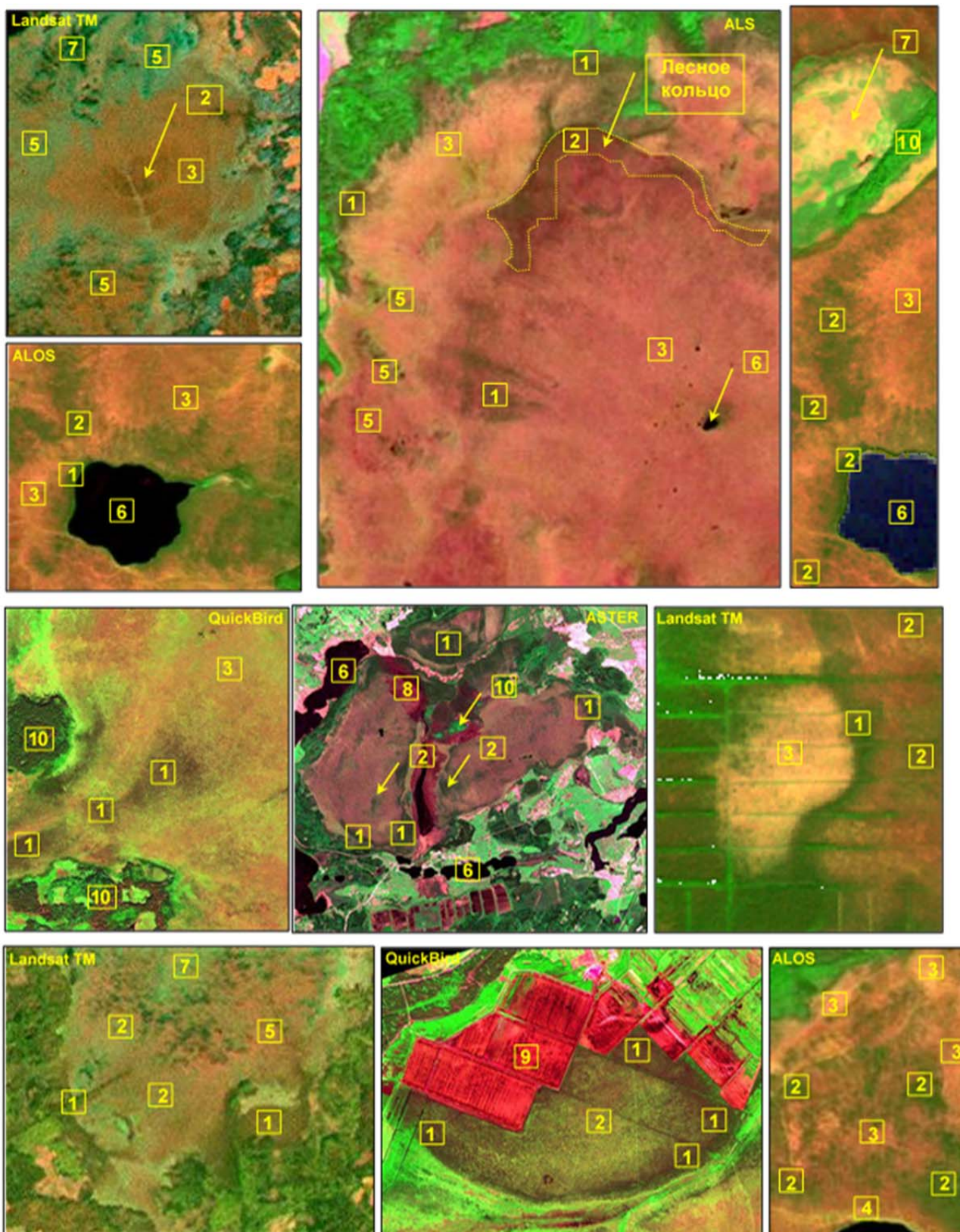


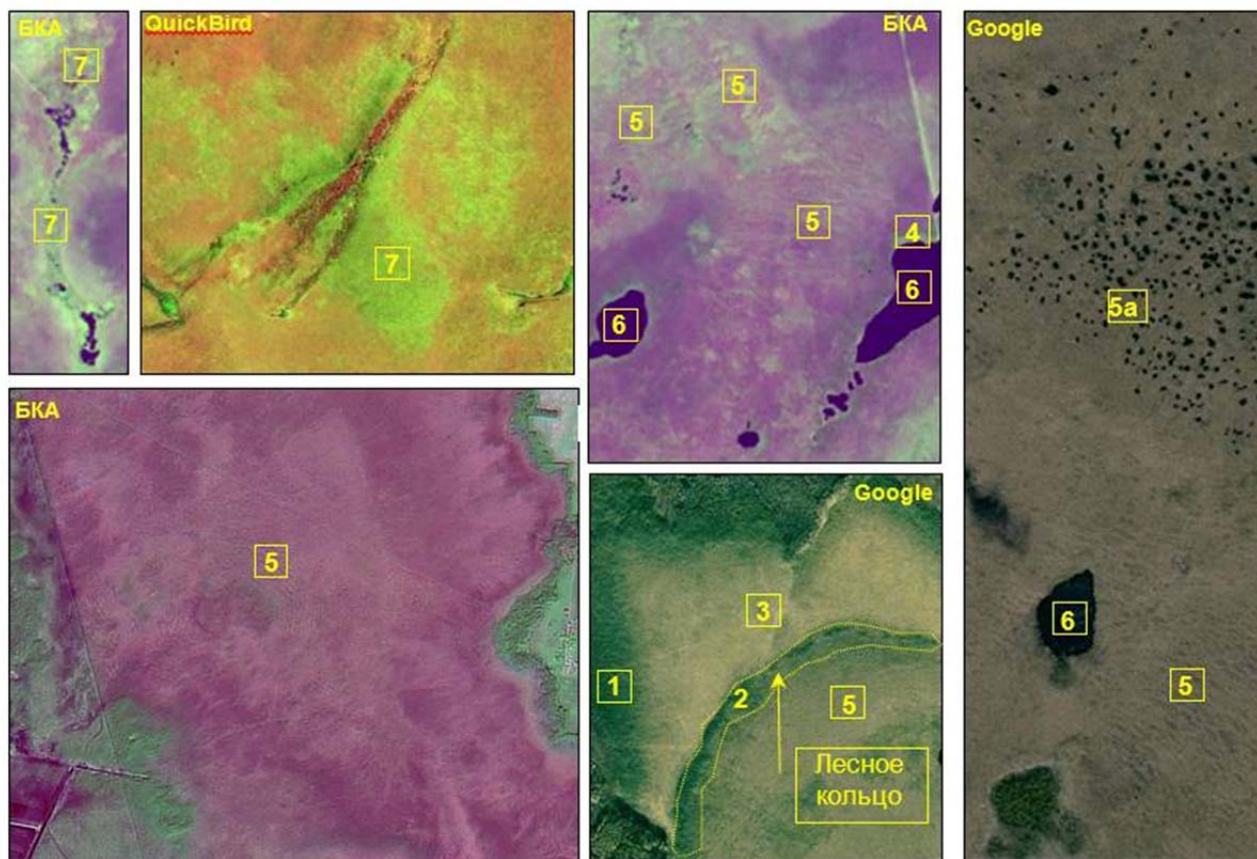
Рисунок 6.15 – Пример картографирования болот различного типа

в пределах тестовых полигонов



Коды объектов: 1 – лесные микроландшафты; 2 – мохово-лесные микроландшафты; 3 – моховые микроландшафты; 4 – травяно-моховые микроландшафты; 5 – комплексные микроландшафты; 5а –грядово-мочажинно-озерковые; 6 – озера; 7 – топи

Рисунок 6.16 – Фрагменты космоснимков (RGB-синтез)
с изображением микроландшафтов верховых болот



Коды объектов: 1 – лесные микроландшафты; 2 – мохово-лесные микроландшафты; 3 – моховые микроландшафты; 4 – травяно-моховые микроландшафты; 5 – комплексные микроландшафты; 5a – грядово-мочажинно-озерковые; 6 – озера; 7 – топи

Рисунок 6.17 – Фрагменты космоснимков
с изображением микроландшафтов верховых болот

*Лесные*² микроландшафты характеризуются хорошо развитым древесным ярусом. Сомкнутость крон деревьев 0,5–0,8, высота деревьев 4–10 м. Травяно-кустарничковый ярус представлен в основном кустарничками (багульник, мирт, брусника, черника), местами встречаются пушица и осока. Моховой ярус состоит в основном из сфагновых мхов. Они встречаются на окрайке болот, вокруг крупных озер полосами вдоль внутриболотных рек, мелиоративных каналов или занимают все территорию облесенного болота. Основные дешифровочные признаки на космоснимках: мелкозернистый в сравнении с рисунком окружающих лесов на суходолах; тон снимка (RGB-синтез) темно-коричневый или темно-зеленый (при различных яркостных преобразованиях).

Мохово-лесные микроландшафты характеризуются развитым моховым ярусом. Древесный ярус несколько угнетен по сравнению с лесными микроландшафтами. Со-

²Следует отметить, что при классификации растительности и ее картировании необходимо подразделять на собственно болотные леса и облесенные болота, т.е. относить их к разным типам растительности – лесному и болотному, тогда как общепринятых критериев их разделения не существует. Для лесохозяйственных целей предложен такой разграничительный показатель, как запас древесины на 1 га. Если запас древостоя в пересчете на полноту 0,3 больше 40–50 м³/га, такие сообщества относятся к лесам, если меньше этой величины – к лесным болотам. В геоботанических исследованиях для этой цели используются такие показатели древесного яруса, как высота деревьев и сомкнутость крон. Для сосняков дифференцирующим признаком лесных сообществ предложено считать спелый древостой высотой 10 м и сомкнутостью крон 0,4. Меньшие высоты и сомкнутость древесного яруса соответствуют болотным сообществам.

мкнутость крон деревьев порядка 0,3–0,4, высота деревьев 1–5 м. Кустарничковый ярус хорошо развит и представлен в основном багульником, миртом, подбелом, брусникой и клюквой. Моховой ярус из сфагнов. Распространены по окрайке болот, полосами вдоль внутриболотных рек и озер, по склонам болота, где образует лесные кольца.

Основные дешифровочные признаки: тон снимка (RGB-синтез) красновато-зеленоватый или светло-коричневый (в зависимости от яркостных преобразований) с более мелкозернистым однородным рисунком, чем в лесных микроландшафтах.

Моховые микроландшафты характеризуются хорошо развитым моховым покровом и слабо развитым древесным ярусом. Древесный ярус имеет сомкнутость крон 0,1–0,2 и высоту деревьев 1–4 м. Моховой и кустарничковый ярусы хорошо развиты. В сплошном моховом покрове доминируют сфагновые мхи. Встречаются на окрайках и переувлажненных склоновых участках болота.

Основные дешифровочные признаки: более светлый тон рисунка, чем в мохово-лесных микроландшафтах с заметным мелкосетчатым рисунком (кустарничковый покров которых хорошо просматривается на снимках высокого разрешения) и с разреженной зернистостью (кроны деревьев).

Мохово-травяные микроландшафты характеризуются хорошо развитыми моховым и травяным ярусами. Древесный ярус почти не развит, встречаются местами отдельные низкорослые деревья с сухостоем. Они приурочены к переувлажненным окрайковым участкам болота, также встречаются в прибереговой полосе вблизи крупных озер и месте спущенных озер.

Основные дешифровочные признаки: тон снимка (RGB-синтез) светло-желтый или желтый, неоднородной (шейхцериево-осоково-сфагновые, очеретниково-сфагновые) или однородной (пушицево-сфагновые ковры) тональности.

Комплексные микроландшафты или комплексы характеризуются расчлененным мезорельефом, представленным грядами и мочажинами, местами в сочетании с озерками. В зависимости от занимаемой площади гряд, мочажин и озерков, выделяются следующие комплексы: грядово-мочажинный; грядово-мочажинно-озерковый; грядово-озерковый; мочажинно-грядовый. Они приурочены к склоновым и центральным участкам болотных массивов или систем.

Основные дешифровочные признаки: определяется по извилисто-полосатому рисунку. Рисунок напоминает мелко сплетенную паутину из параллельных нитей – гряд и ячеек-мочажин. Концентрическое расположение полос на снимке указывает на выпуклость поверхности болотного массива. В грядово-мочажинно-озерковом комплексе в «паутину» вклиниваются черные пятна (озерки) округлой формы.

На космических снимках болот довольно четко определяется внутриболотная гидрографическая сеть (водоемы, водотоки, а также топи). Озера дешифрируются по четкому контуру береговой линии и черному изображению водной поверхности (белые пятна – солнечные блики от воды в озере). Реки и ручьи с открытой водной поверхностью дешифрируются по извилистым черным линиям, а на сплавинах они просматриваются фрагментами по открытым «окнам» воды.

Застойные топи – на снимке (синтез RGB) полосы светлого и зеленого цвета (тон цвета меняется в зависимости от степени обводнения, времени съемки) со штрихообразной структурой рисунка без определенного выраженного направления стока. Они располагаются на переувлажненных плоских склоновых и водораздельных участках болота, иногда на контакте с суходолом. По приуроченности они подразделяются на водораздельные и прибереговые топи.

Проточные топи – мазки темно-зеленого (синтезированный снимок, комбинация RGB) часто с более светлыми вкраплениями (пятнами). Эти топи располагаются в направлении как общего, так и частного уклона болота. Они подразделяются на топи за минеральными островами, топи выклинивания и транзитные топи.

Фильтрационные топи – на синтезированном космоснимке (комбинация RGB) определяются как темно-зеленые полосы на более светлом фоне болота с извилисто-полосатым рисунком, представляющим собой чередования светлых узких (гряд) и темных широких (мочажин) полос.

Дешифрирование космоснимков переходных болот. Переходные (мезотрофные) болота, как правило, хорошо выделяются на космических снимках, однако при их визуальном дешифрировании существует ряд проблемных моментов. Во-первых, переходные болота довольно часто перепутываются с верховыми или низинными болотами, в зависимости от того, какие процессы формирования преобладают (в сторону олиготрофности или эвтрофности). Во-вторых, периферия переходных болот на границе с суходольными участками, как правило, читается довольно слабо и провести границы переходных болот весьма проблематично. Прямыми дешифровочными признаками для переходных болот, как и для верховых, являются зернистость, тональность КС, полосато-пятнистая мозаика. К косвенным признакам относятся приуроченность различных болотных микроландшафтов на болотном массиве.

Переходные болота, подразделяются на: лесные, мохово-лесные, моховые. Ниже приведены их основные дешифровочные признаки, а на рисунках представлены фрагменты мезотрофных болотных массивов с фотоизображением групп болотных микроландшафтов.

Лесные микроландшафты характеризуются хорошо развитым древесным ярусом (сомкнутость 0,4–0,8) представлены либо хвойными (сосна), либо лиственными (береза, реже ольха черная). Высота деревьев 5–12 м. Напочвенный покров с неоднородным покровом: кустарничково-пушицево-сфагновые кочки и осоково-травяно-сфагновые межкочья. Распространены на небольших по площади болотах, часто по окрайкам верховых болот, иногда вокруг вдоль водотоков, полосами вокруг озера.

Основные дешифровочные признаки лесных микроландшафтов на космических снимках: мелкозернистый однородный в сравнении с рисунком окружающих лесов на суходолах; сосна создает на снимке (RGB-синтез) коричневый, при преобладании лиственных пород в цветовой мозаике преобладает зеленоватая окраска.

Мохово-лесные микроландшафты характеризуются развитым моховым ярусом. Основным доминантом является сосна, береза пушистая. Бонитет насаждений очень низкий – V–V^б классы, высота (в возрасте 80–100 лет) – 5–9 м, запас – 30–80 м³/га. Ярус подлеска не выражен. В травяно-кустарничковом ярусе основной фон образуют осока волосистоплодная, пушица влагалищная и болотные кустарнички – голубика, клюква болотная, багульник. В моховом ярусе сплошной покров образуют сфагны.

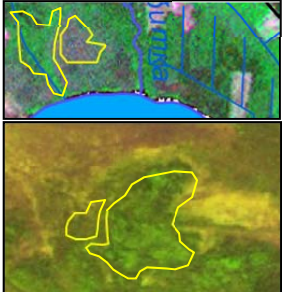
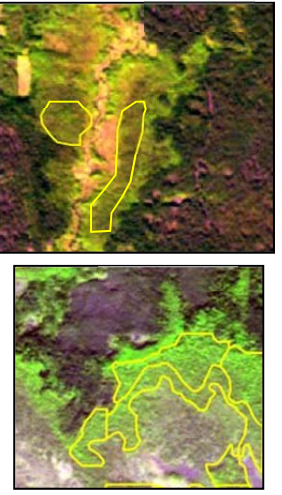
Основные дешифровочные признаки: однородная мелкая зернистость, зерна округлой формы, тон снимка (RGB-синтез) в зависимости яркостных преобразований светло-коричневый, с увеличением доли березы преобладает зеленоватая окраска.

Моховые микроландшафты характеризуются хорошо развитым моховым покровом и слабо развитым древесным ярусом. Древесный ярус (с преобладанием березы пушистой) имеет сомкнутость крон 0,1–0,2 и высоту деревьев 0,5–4 м. Моховой и кустарничковый ярусы хорошо развиты. Встречаются на окрайках и переувлажненных склоновых участках болота.

Дешифрирование космоснимков низинных болот. Низинные (эвтрофные) болота имеют наибольшую погрешность при выделении (ошибка 20–30%).

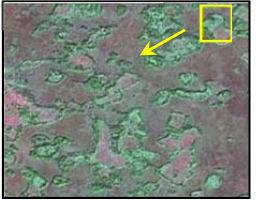
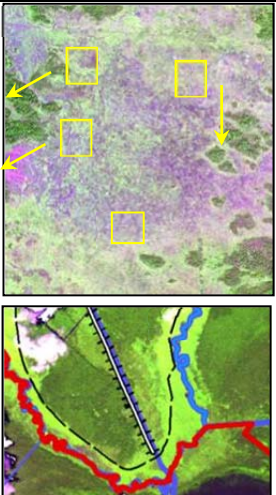
Часто перепутываются с лугами, сенокосами, прогалинами. Дешифровочные признаки низинных болот представлены в таблице 6.5 и показаны на рисунках 6.18, 6.19.

Таблица 6.5 – Фрагменты космоснимков с изображением болотных микроландшафтов

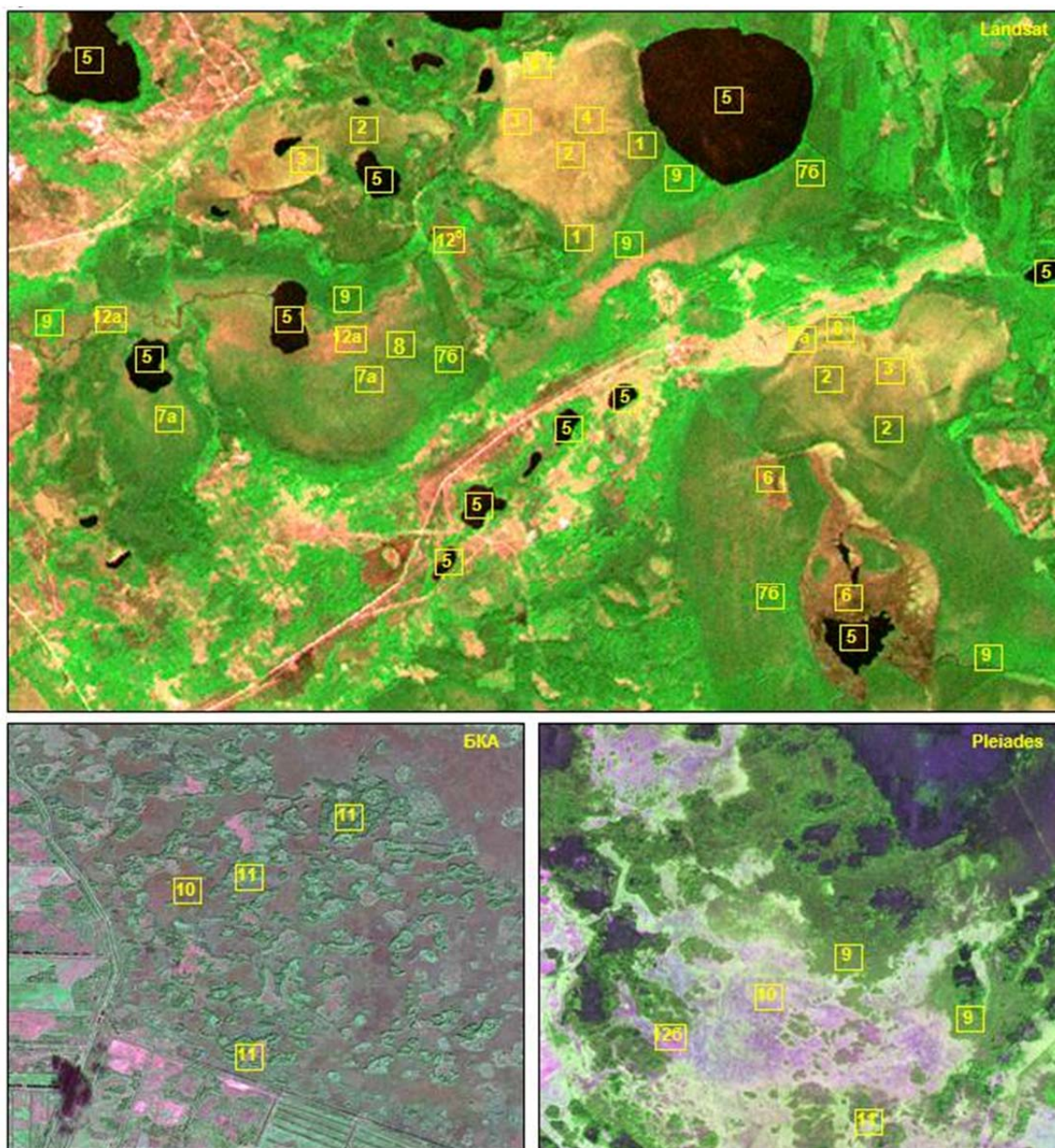
№	Группа и тип болотного микроландшафта	Дешифровочные признаки на аэрофотоснимках	Приуроченность	Фотоизображение
1	2	3	4	5
ЛЕСНЫЕ				
1	Березовые эвтрофно-болотнотравяные	Однородная мелкая зернистость, округлой формы зеленого тона	Распространены на небольших по площади болотах, часто по окрайке эвтрофных травяных болот, иногда вдоль водотоков	
2	Черноольховые гигрофильнотравяно-осоковые	Неоднородный мелкозернистый рисунок более темного тона, чем предыдущий микроландшафт. Общий фон космоснимка зеленый	Распространены в террасных понижениях по окрайке эвтрофных травяных болот,	
3	Еловые осоково-травяные	Тон снимка темно-зеленый (наиболее темный из всех лесных микроландшафтов на низинных болотах). Рисунок мелкозернистый, неоднородный, что вызвано разной высотой деревьев.	Распространены узкими полосами по окрайке эвтрофных травяных болот у склонов террас речных долин и редко как отдельные болота	

4	Сосновые гидрофитно-травяно-осоковые	Мелкозернистый неоднородный рисунок. Зернистость темно-коричневого цвета	Распространены по окрайкам болот и вдоль внутриболотных рек; иногда занимая всю площадь болот	
---	--------------------------------------	--	---	---

Продолжение таблицы 6.5

1	2	3	4	5
ТРАВЯНО-ЛЕСНЫЕ:				
КУСТАРНИКОВЫЕ:				
5	Ивняки осоковые	Однородная очень мелкая зернистость серо-зеленого тона, рисунок похож на губчатую структуру, создаваемая крутинами ивняка округлой формы	Распространены вдоль внутриболотных водотоков и встречаются среди травяных эвтрофных болот	
ТРАВЯНО-МОХОВЫЕ:				
6	Осоково-гипновый, осоково-вейниково-гипновые	Тон снимка светло-зеленый однородный, иногда со светлыми вкраплениями, создаваемые слабовидимой мозаичностью	Распространены	
ТРАВЯНЫЕ:				
7	Осоковые	Тон снимка в зависимости степени обводненности (и соответственно от доминирования разных видов осок), в широком диапазоне от светло-зеленого до красновато-зеленого, однородный	Распространены повсеместно на территории низинных болот, в поймах рек и внутриболотных рек, в приозерных котловинах при богатом минеральном питании	

8	Тростниковые	Темно-красные (темно-коричневые) расположены ближе к водоемам или водотокам	Распространены вдоль водоемов и водотоков.	
---	--------------	---	--	---



Микроландшафты на верховых болотах: 1 – лесные; 2 – мохово-лесные; 3 – моховые; 4 – комплексные (сфагновые) микроландшафты; 5 – озера; 6 – топи. Микроландшафты на переходных болотах: 7 – мохово-лесные (7а – с преобладание сосны, 7б – с преобладание лиственных пород); 8 – моховые. Микроландшафты на низинных болотах: 9 – лесные; 10 – травяно-моховые; 11 – кустарниковые; 12 – травяные (12а – осоковые, 12б – тростниковые)

Рисунок 6.18 – Фрагменты космоснимков
с изображением микроландшафтов низинных и верховых болот

Микроландшафты на низинных болотах: 4 – травяно-моховые микроландшафты; 5 – кустарниковые; 6 – травя-

Рисунок 6.19 – Фрагменты космоснимков с изображением микроландшафтов низинных и переходных болот

Луга. Форма и размеры участков, занятых луговыми землями, неопределенные, так как их границами служат границы пашни, залежи, леса, а также топографические элементы местности.

Текстура изображения изменяется в зависимости от качественных характеристик лугов. Ровный и однородный тон луговой растительности, в зависимости от условий освещения при аэрофото- и космосъемке и степени увлажнения, может изменяться от светлого до темно-серого. При дешифрировании луговых земель важную роль играют косвенные дешифровочные признаки (рисунок 6.20). Так, луговые земли, используемые под сенокосы, отличается приуроченность к определенным природным комплексам, отсутствие возможности прогона скота к участку и, в целом, отсутствие признаков систематического его выпаса. Напротив – луговые земли, используемые под пастбища, определяют по положению относительно населенных пунктов и, в частности, относительно скотных дворов с установлением возможности прогона скота к пастбищному участку, наличию множества выбитых скотом троп, вытоптанных у водопоев и на местах стоянок, наличию специальных сооружений (загонов, навесов и т. п.).

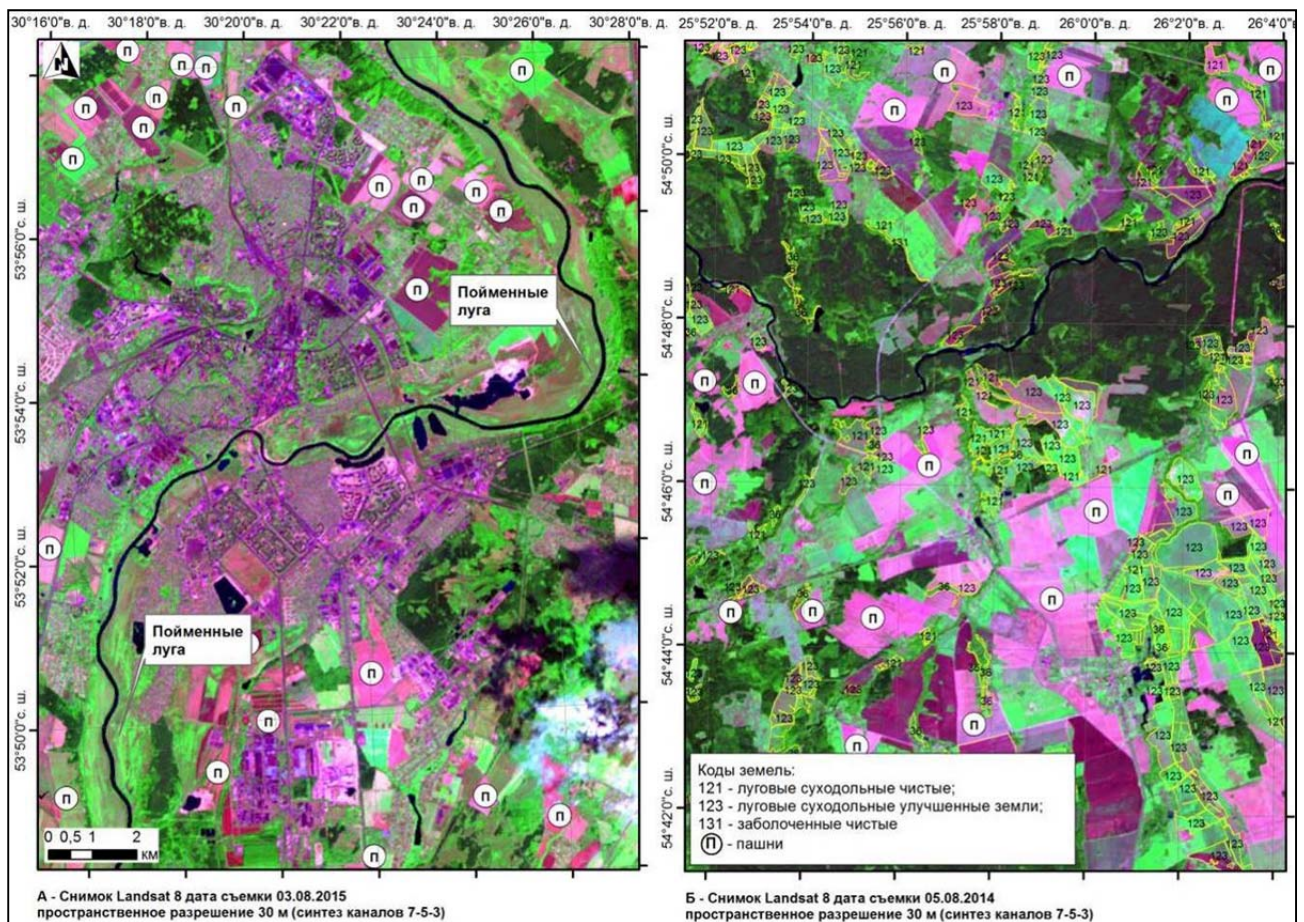


Рисунок 6.20 – Фрагменты космоснимков
с изображением луговых и пахотных земель

Пахотные земли отличаются на снимках четкостью границ, определенной «геометричностью» формы (см. рисунок 6.20). Тон изображения земельных участков, занятых пашней, преимущественно светлый, однако он не может быть достаточно надежным самостоятельным признаком. Даже на одном снимке тон различных участков пашни может изменяться, что связано с различным видовым составом культур и особенностью их отображения на ДДЗ, сезоном выполнения съемки. Информативность цвета изображения пашни значительно больше. Характерна полосчатая тексту-

ра, обусловленная наличием различных сельскохозяйственных культур или различным временем вспашки. Однако она неустойчива во времени. Наиболее вероятными ошибками дешифрирования пашни являются отнесение некоторых контуров пашни к залежи и наоборот, а также отнесение к пашне луговых земель, распахиваемых с целью коренного их улучшения.

Дешифровочные признаки залежных земель и пахотных очень близки. Границы и следы обработки почвы и соответственно полосчатая текстура изображения сохраняются многие годы. Однако со временем появляются признаки прекращения обработки – локальная нечеткость текстуры, возникновение в текстуре пятен (зерен) отображения сорняков и древесной растительности. Косвенным признаком залежи является приуроченность земель к овражным и балочным элементам рельефа.

6.3.4 Автоматизированное (компьютерное) дешифрирование

Автоматизированное дешифрирование основывается на распознавании по спектральным и морфометрическим характеристикам объектов их количественных и качественных показателей. В этом случае съемочная информация анализируется и обрабатывается с помощью технических средств обработки изображений при активном участии оператора-дешифровщика.

Компьютерное дешифрирование материалов ДЗЗ включает в себя этапы предварительной (см. раздел 3.1) и тематической обработки.

Основой компьютерного дешифрирования является классификация изображений. Она представляет собой автоматизированный процесс численных операций, группирующих единичные элементы цифрового изображения (пикселы) в кластеры (классы) на основе их спектральных характеристик (Рачковская, 2000). Поскольку классификация является одной из основных задач обработки спутниковых изображений, требующая применения специализированных программных пакетов, то очевидна необходимость рассмотрения ее применения при использовании специализированного программного обеспечения.

Известны два типа классификации: *классификация без обучения* (неконтролируемая классификация); *классификация с обучением* (контролируемая классификация) (Книжников, 2004).

Неконтролируемая классификация. При проведении неконтролируемой классификации (unsupervised) средствами специализированного ПО требуется минимум вводных параметров (количество искомых классов, алгоритм классификации). Основная роль исследователя заключается в том, что он *a posteriori* назначает полученным спектральным кластерам смысловые классы в соответствии с предварительно разработанной легендой (Jensen, 1996).

Смысл неконтролируемой классификации заключается в разделении всех пикселей изображения на группы (кластеры), название, спектральные характеристики и даже само существование которых предварительно неизвестны. Критерием отнесения пикселей к тому или другому кластеру служит схожесть спектральных характеристик. Выделенным кластерам присваиваются порядковые номера, а в задачу дешифровщика входит последующее определение их соответствия классам на земной поверхности. Этот способ чаще применяют при отсутствии достоверных эталонных данных: полевых наблюдений, спектрометрирования и т. д., а также как этап, предшествующий классификации с обучением (Рачковская, 2000; Лабутина, 2011).

Наиболее популярными среди алгоритмов неконтролируемой классификации

(кластеризации) являются алгоритмы: K-Means и ISODATA (Зубков, 2007). Эти алгоритмы нашли применение на практике благодаря включению их в специализированные программные продукты ERDAS Imagine, ScanEx Image Processor, ENVI и др.

Алгоритм K-Means пригоден для быстрого разделения многозонального снимка на пространственно и спектрально однородные области. Центр (средние значения) первого кластера задается значениями яркости первого пиксела кластеризуемого изображения. Далее все изображение последовательно анализируется пиксел за пикселом по строкам или по столбцам и при необходимости образуются новые кластеры. В процессе анализа рассчитывается спектральное расстояние d от значений спектральной яркости текущего пиксела до средних значений яркости по кластеру. Решение, присоединить ли пиксел к кластеру или образовать новый, принимается в результате сопоставления вычисленного спектрального расстояния и специально заданного порога яркости. После образования второго кластера значения каждого последующего пиксела сравниваются уже с двумя наборами средних значений и т.п. После обработки всего снимка получают предварительную карту кластеризации, в легенде которой указаны порядковые номера кластеров. Далее дешифровщик определяет соответствие этих кластеров тематическим классам (Книжников, 2004).

Преимущество способа – высокая скорость вычислений, а недостаток — влияние значений яркости первых нескольких пикселей на результат кластеризации. Усовершенствованный вариант алгоритма быстрого выделения кластеров предполагает определение яркостных порогов в процессе кластеризации. Способ является параметрическим в том смысле, что предполагает группировку пикселей вокруг средних значений яркости кластеров.

Алгоритм ISODATA – итеративный самоорганизующийся способ анализа данных; применяется для более точной, многошаговой обработки снимков (рисунок 6.21). Перед первой итерацией рассчитывают статистические параметры распределения яркости всего снимка в каждой спектральной зоне: минимальное, максимальное и среднее значения, стандартное отклонение. Далее все пространство спектральных признаков произвольно разбивается на n равных диапазонов и назначают средние значения кластеров в центре каждой из образованных областей. Затем проводят первую итерацию: кластеризация по минимальному расстоянию от этих центров с использованием евклидовой метрики. После этого вычисляются вектора средних значений и находят среднеквадратическую ошибку. Каждый пиксел относят в определенный кластер (Программный комплекс..., 2007).

После первой итерации рассчитывают реальные средние значения спектральных признаков по полученным кластерам. На второй итерации выполняется повторная кластеризация по минимуму расстояния от векторов средних значений. При этом число кластеров может измениться, изменяются и вектора средних значений, и значения ошибки и т.п.

Итерации повторяют до тех пор, пока границы кластеров не стабилизируются (среднеквадратическая ошибка не перестанет заметно уменьшаться), т.е. пиксели не перестанут переходить из кластера в кластер. Обычно задают этот параметр, так называемый порог сходимости, равным от 95 до 99% всех пикселей. При определенном распределении значений яркости на снимке такой стабилизации не происходит, поэтому одновременно используют второй ограничивающий параметр – максимальное число итераций (Книжников, 2004).

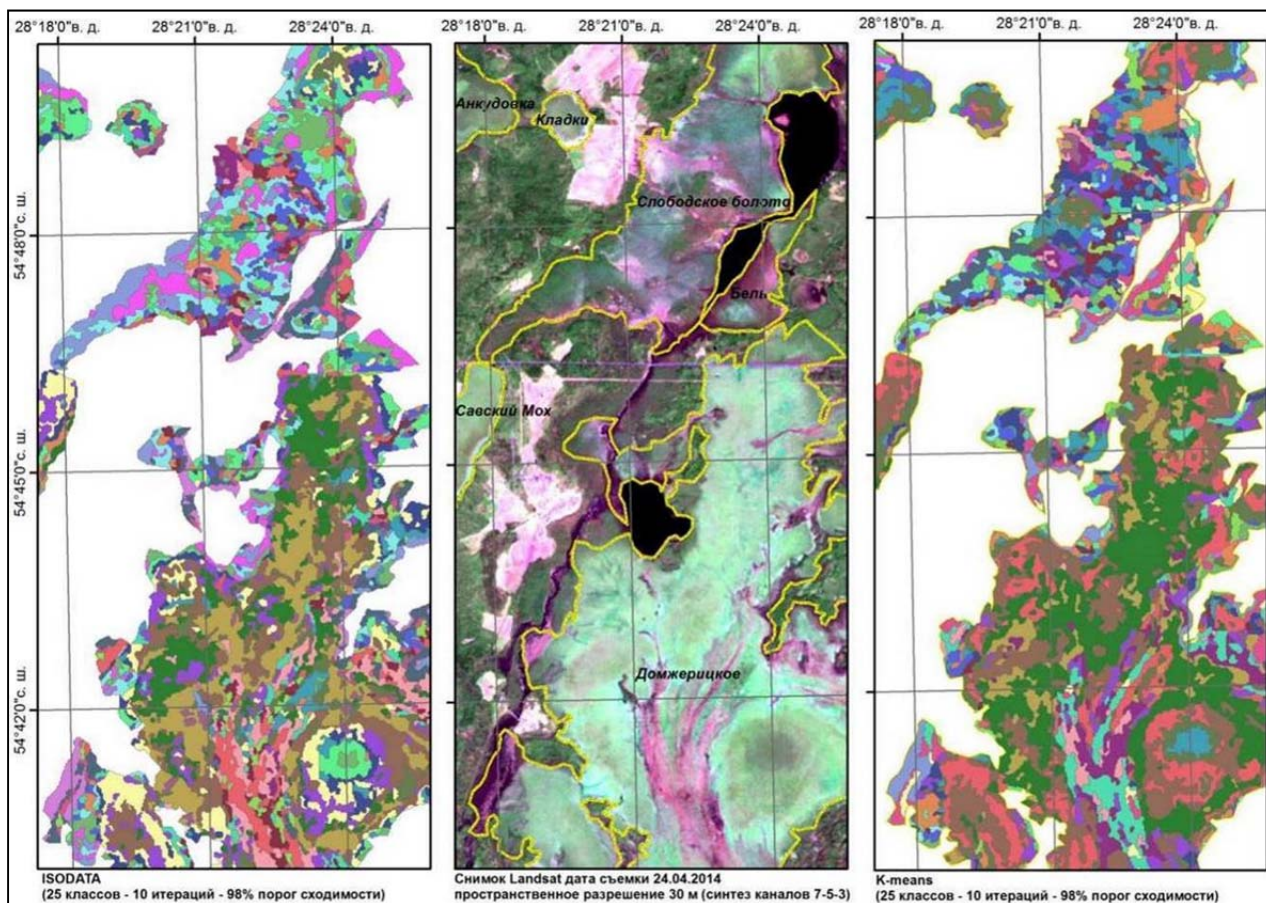


Рисунок 6.21 – Пример автоматической классификации многозонального снимка болот Березинского биосферного заповедника (алгоритм ISODATA)

По сравнению с алгоритмами контролируемой классификации алгоритмы неконтролируемой классификации имеют ряд преимуществ и недостатков.

Преимуществами являются:

- необязательное условие наличия априорной информации о свойствах дешифрируемой местности, в то время как при использовании алгоритмов контролируемой классификации требуется дополнительная информация для создания эталонных выборок.

- алгоритмы неконтролируемой классификации менее зависимы от человеческого фактора. Классы, созданные ими по спектральному составу более последовательны, чем созданные алгоритмами контролируемой классификации

- алгоритмы неконтролируемой классификации создают уникальные классы. При проведении контролируемой классификации эти классы могут быть не распознаны как отдельные и могут принадлежать более общему классу, что приведет к ошибке и неверным результатам в процессе выполнения процедуры классификации.

Основными *недостатками* алгоритмов неконтролируемой классификации являются:

- несоответствие созданных классов представлениям исследователя;
- ограничения по контролю созданных классов;
- спектральные свойства полученных классов меняются с течением времени; поэтому связь между информацией и спектральными классами не постоянна и определяется только снимком, что затрудняет процесс дешифрирования разновременных снимков.

Следует отметить, что алгоритмы неконтролируемой классификации широко

используются совместно с алгоритмами контролируемой классификации для повышения качества дешифрирования данных ДЗЗ.

Контролируемая классификация (supervised) производится по эталонным «образцам» (группам пикселей), полученным при полевых исследованиях и привязанных с помощью прибора GPS, что позволяет ввести такой важный для каждого класса (кластера) параметр, как среднее значение спектральной подписи. При такой классификации спектральные классы (кластеры) соответствуют природным классам окончательно принятой легенды (Рачковская, 2000).

Методы контролируемой классификации учитывают априорную информацию о типах объектов и вероятности их представления данными снимка, эталонных значениях спектральных характеристик этих объектов. В процессе проведения такой классификации значения яркости текущего пикселя сравниваются с эталонными и на основании этого сравнения пиксел относится к наиболее подходящему классу объектов. После проведения классификации по имеющимся наземным данным оценивается качество проведенной классификации (Зубков, 2007). Обычно контролируемая классификация применяется, когда классы хорошо различаются на снимке и их число варьируется от 25 и выше (Книжников, 2004).

Наиболее широко распространены три метода классификации с обучением (Лабутина, 2011).

Метод параллелепипедов реализует наиболее простой алгоритм, основанный на статистическом подходе. Данный способ применяют, когда значения спектральной яркости разных объектов практически не перекрываются, а классов объектов немного. Как следует из названия, при классификации в пространстве спектральных признаков выделяются области в форме параллелепипедов (а в двумерном пространстве – прямоугольников), ограничивающих значения яркости объектов данного класса. Граничные (минимальные и максимальные) значения яркости определяют визуально по двумерным графикам спектральных признаков. Затем значения спектральных признаков в каждом пикселе сравниваются с граничными для каждого класса. Если пиксел по своим значениям яркости попадает в один из выделенных диапазонов, его относят к соответствующему классу. Если значения яркости пикселя не попали ни в один диапазон, его относят к неклассифицированным объектам. Если значения яркости попадают в несколько диапазонов, возможно несколько вариантов классификации объекта (Книжников, 2004).

Этот способ часто применяют в сочетании с более сложными, чтобы быстро отделить объекты, не пересекающие по диапазонам характерных значений яркости с другими, а уже затем обрабатывать оставшиеся участки с помощью более сложных способов (Программный комплекс..., 2007).

Метод классификации по минимальному расстоянию основан на детерминированном подходе. Он прост в вычислительном отношении. Смысл метода заключается в отнесении пикселя к тому эталонному классу, евклидово расстояние, до центра которого в пространстве признаков минимально. Этот способ целесообразно использовать при ограниченном числе классов в обучающей выборке (Лабутина, 2011).

Метод максимального правдоподобия также основан на статистическом подходе. Смысл его сводится к определению вероятности попадания пикселя в тот или иной класс. В общем случае вероятностное распределение спектральных признаков, которыми характеризуется каждый класс, определяет возможность нахождения пикселя в любом месте пространства признаков. Этот метод обычно применяют в случаях, когда спектральные характеристики классов объектов мало различаются, как это часто бывает при распознавании растительных сообществ (Лабутина, 2011).

Кроме описанных методов при контролируемой классификации используются также *метод спектрального угла* (дает хорошие результаты, когда нужно провести классификацию для объектов, которые имеют схожие значения яркости), *метод дистанции Махаланобиса* (является более точным, по сравнению со способом минимального расстояния, поскольку учитывает распределение значений яркости обучающих выборок); *метод бинарного кодирования* (применяют, если все пиксели на снимке нужно разделить на два класса), алгоритмы *нейронных сетей* и *способ дерева решений* и др.

Широкий набор алгоритмов для проведения классификации с обучением представлен в специализированных программах. Независимо от того, какой способ выбран для решения этой задачи, контролируемая классификация включает 4 этапа (Книжников, 2004; Лабутина, 2011).

1. На этапе планирования классификации формулируют конкретную задачу компьютерной обработки снимков, определяют список дешифрируемых объектов, анализируют характер распределения их значений яркости на снимке и в пространстве спектральных признаков, выбирают способ классификации.

2. Этап выбора эталонных участков включает создание обучающих выборок для каждого класса по эталонным участкам и оценку их качества. Напомним, что эталонные участки получают оцифровкой границ однородных по яркости фрагментов изображения, типичных для данного класса по значениям яркости и расположению. Обучающие выборки – это совокупности значений спектральной яркости в пределах эталонного участка, по которым получают эталонные значения яркости классов, например, диапазоны значений яркости классов для классификации способом параллелепипеда или средние значения яркости для классификации способом минимального расстояния. Чтобы надежно оценить характер распределения значений по гистограмме яркостей для способа максимального правдоподобия, создают обучающие выборки большого размера: эмпирическое правило рекомендует для каждого класса использовать в 10–100 раз больше пикселей, чем число спектральных зон снимка.

Контролируемая классификация выполняется, как правило, при наличии достаточных эталонных данных, прежде всего в случае наличия данных полевых наблюдений. Особое значение имеет формирование обучающей выборки, поскольку от ее качества в решающей степени зависит точность классификации. Качество обучающих выборок оценивают по следующим критериям (Книжников, 2004):

Репрезентативность: представительность совокупности значений яркости в выборке для данного класса; оценивается по результатам пробной классификации в пределах специально выбранных контрольных участков.

Однородность: отсутствие не характерных для класса значений яркости; оценивается по величине стандартного отклонения значений яркости по обучающей выборке от среднего и результатам пробной классификации. Очевидно, что эталонные участки должны классифицироваться так же, как объект, для которого они служат эталоном.

Различимость: достаточное различие спектральных яркостей классов. Если диапазоны их значений яркости пересекаются, то оценивают, насколько перекрываются гистограммы яркости классов. Это перекрытие можно оценить, как визуально, так и статистически. Например, для оценки классов, характеризующихся нормальным распределением, гистограммы которых перекрываются, используют известный в математике показатель дивергенции, который учитывает, как средние значения яркости

классов, так и присущий каждому классу характер взаимосвязи между спектральными яркостями. Чем выше показатель дивергенции, тем более различимы классы.

Характер распределения значений яркости (для способа минимального расстояния, и особенно максимального правдоподобия): требуется максимальное сходство с нормальным распределением и одномодальность гистограммы значений яркости по выборке; обычно оценивается визуально по гистограммам значений яркости выборки.

3. После проверки качества обучающих выборок приступают к третьему этапу – собственно процессу классификации, в ходе которого значения яркости пикселей сравниваются с эталонными на основе выбранного способа классификаций и принимается решение о принадлежности пикселя к определенному классу либо к категории неклассифицированных. В результате получают карту классификации, на которой каждый класс изображается своим цветом, и которая имеет элементарную легенду, соответствующую списку выявленных классов.

4. Заключительный этап классификации (вне зависимости от примененного способа) – это оценка достоверности результатов, т. е. определение процентного отношения правильно определенных объектов к общему количеству классифицируемых. Оценка может осуществляться различными способами.

Полевые и камеральные методики оценки достоверности – это проверка карты классификации в отдельных точках, по маршруту или на контрольных участках, положение которых на местности точно определяется, например, с помощью спутниковых приемников (GPS, ГЛОНАСС). Соответствие результатов классификации объектов на местности проверяют наблюдениями на земле или с воздуха. Для оценки достоверности классификации необходимо, чтобы каждый контрольный участок изображался несколькими пикселями на снимке. Следует проверить в пределах каждого класса хотя бы несколько участков, случайно распределенных на местности.

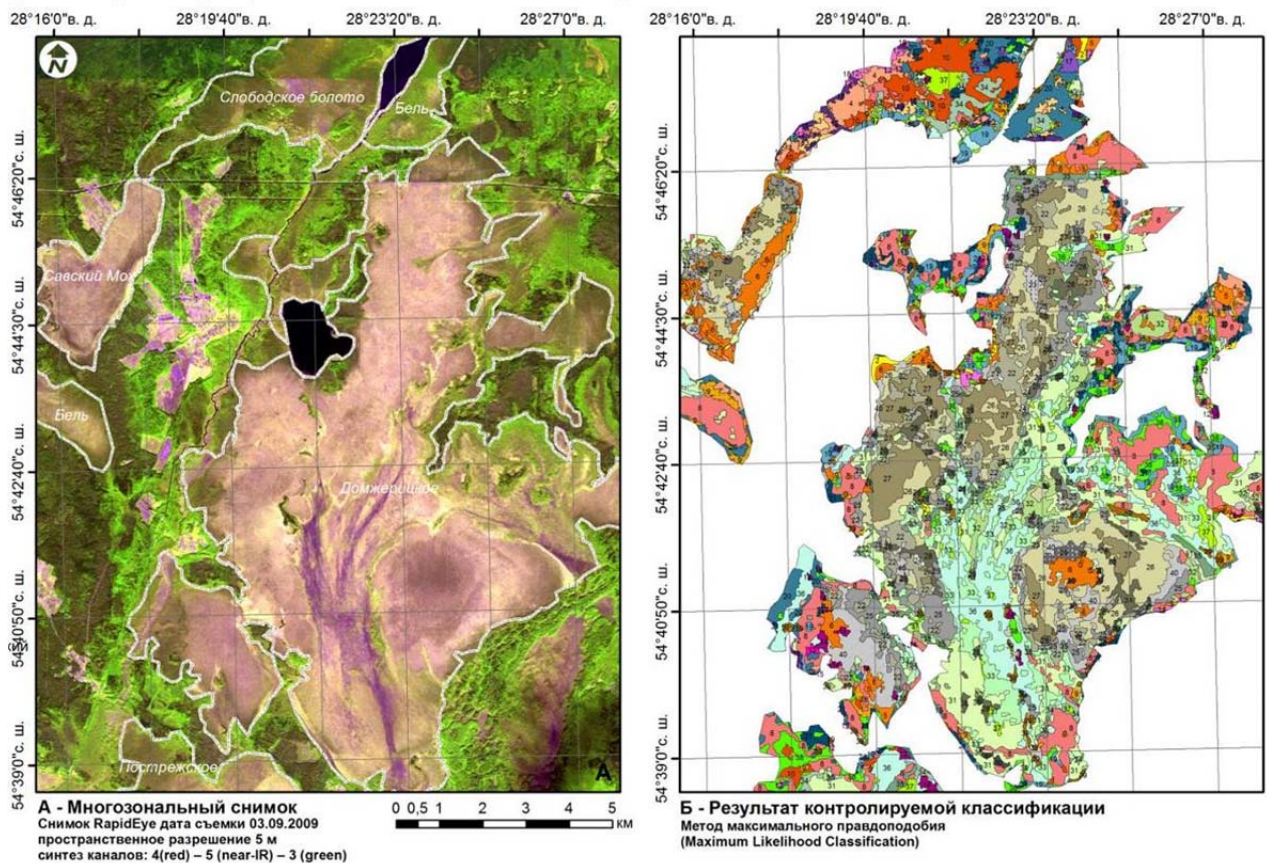
В связи с дороговизной такой проверки чаще используют *камеральные* или *комбинированные* методы. Камеральная оценка достоверности включает: а) визуальную оценку достоверности классификации на основе знания местности дешифровщиком; б) количественную оценку на основе данных, не использовавшихся в классификации: карт, снимков более высокого разрешения, материалов наземных наблюдений, научных публикаций. При комбинированной оценке камеральные исследования дополняются выборочной полевой проверкой. К наземным и камеральным данным, используемым для оценки достоверности, предъявляется ряд требований: они должны быть получены в близкие со съемкой сроки; если это требование не выполняется, необходимо учитывать возможные изменения; данные не должны использоваться при самой классификации – в этом случае объективная оценка достоверности становится невозможной (Книжников, 2004; Лабутина, 2011).

Достоверность классификации оценивается на основе матрицы ошибок, которую рассчитывают по контрольным участкам (не совпадающим с эталонными участками, использовавшимися для создания обучающих выборок). По одному входу матрицы указывают классы, установленные по наземным или эталонным данным, а по другому – полученные в результате классификации по снимку. На пересечении строк и столбцов записывают количество пикселей. Таким образом, на диагонали матрицы оказывается количество пикселей, классифицированных корректно, а вне диагонали – количество пикселей, попавших в ошибочные классы. Путем построения матрицы ошибок рассчитывают ряд показателей достоверности классификации: ошибки оmissии (количество пикселей, ошибочно не попавших в данный класс); ошибки комиссии (количество пикселей, ошибочно присоединенных к данному классу); достоверность

классификации (% правильно классифицированных пикселей от общего количества проверяемых пикселей).

Если полученные результаты не удовлетворяют исполнителя, он уточняет обучающую выборку (например, путем деления крупных классов на более мелкие) и затем повторяет процесс. Практический опыт показывает, что достоверности классификации в 90–95% можно добиться для 2–3 классов. Удовлетворительными считаются результаты, если правильно определены 70–85% классифицируемых объектов (Лабутина, 2011).

Результатом классификации (как с обучением, так и без обучения) служит растровое изображение, каждый из пикселей которого отнесен к определенному классу (рисунок 6.22). Как правило, результат автоматической классификации никогда не бывает идеальным с точки зрения его тематической интерпретации. Даже если выделенные классы соответствуют необходимым тематическим категориям, классификация каждого пикселя отдельно не дает связных областей на изображении. Кроме того, при любой классификации всегда возникают какие-то ошибки, пусть даже незначительные (Чабан, 2013). Для перехода к тематической карте необходимо не только устранить ошибочно классифицированные точки, но и привести результат к тому виду, который требуется для дальнейшего прикладного анализа.



*Рисунок 6.22 – Проведение автоматической контролируемой классификации
многозонального снимка лесоболотных комплексов
Березинского биосферного заповедника*

В последние годы при дистанционном мониторинге экосистем ООПТ широко используется контролируемая классификация изображения с предварительной сегментацией (рисунок 6.23, 6.24).

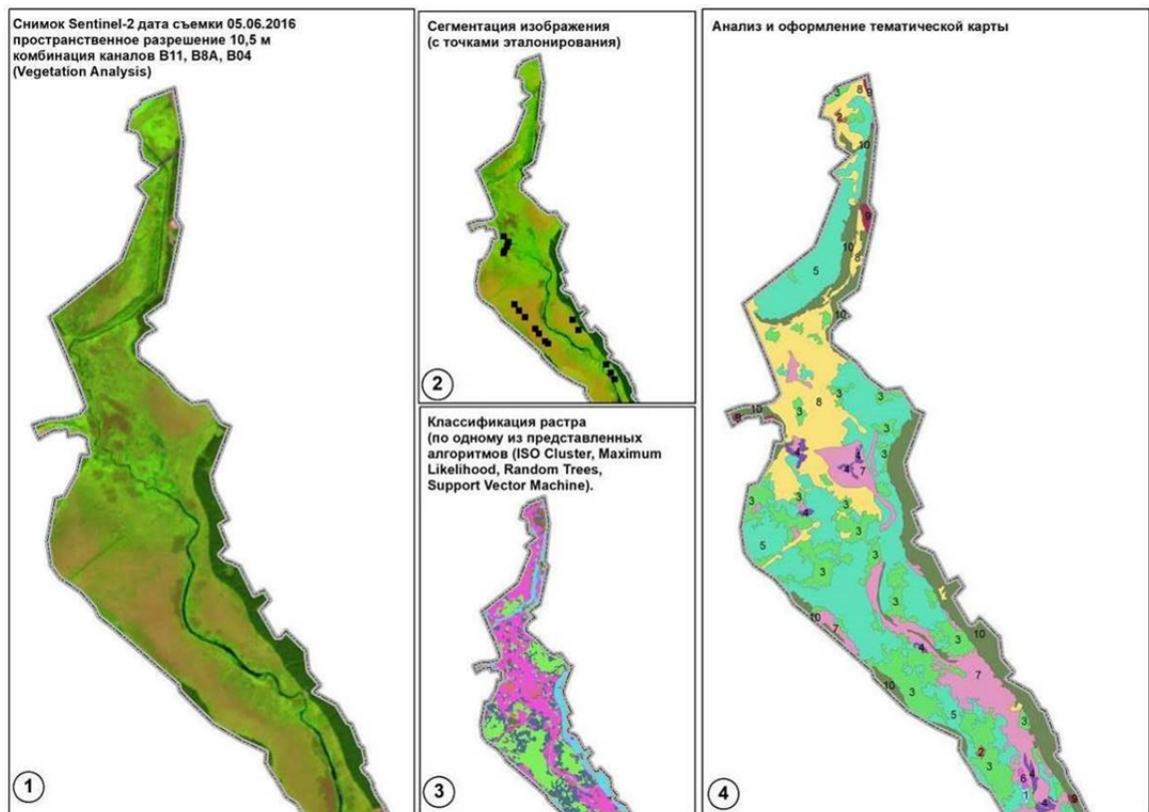


Рисунок 6.23 – Этапы проведение автоматической контролируемой классификацией (с предварительной сегментацией) многозонального снимка (территория республиканского заказника «Споровский»)

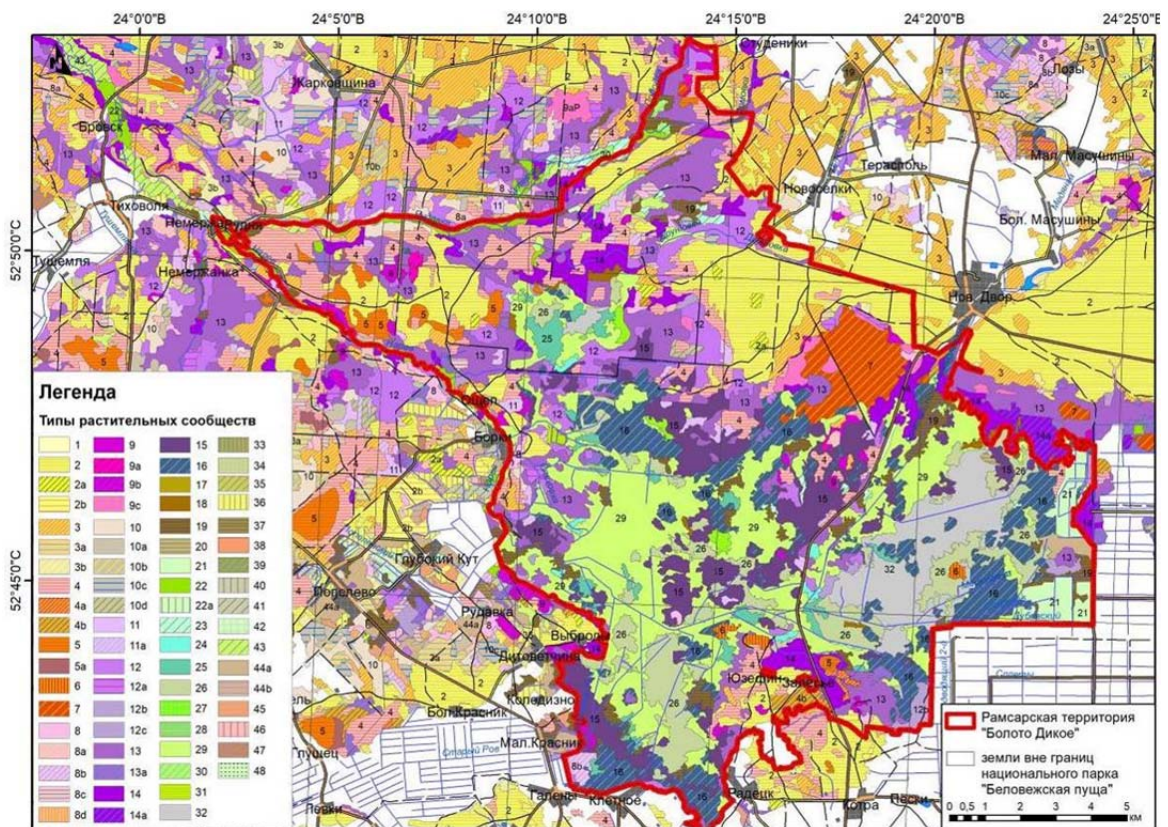


Рисунок 6.24 – Фрагмент карты растительности национального парка «Беловежская пушча», составленной методом автоматической контролируемой классификации с предварительной сегментацией многозонального снимка

Этот объектно-ориентированный процесс похож на традиционный подход к классификации пиксельного изображения, использующий методы контролируемой и неконтролируемой классификации. Однако вместо того, чтобы классифицировать пиксели, процесс классифицирует сегменты, которые можно рассматривать как суперпиксели.

Процесс извлечения объектов поддерживается инструментами ArcGIS, охватывающими три основные функциональные области.

Сегментация изображения – группирует вместе соседние пиксели со сходным цветом и геометрическими характеристиками.

Обучение классификатора – выполняется с использованием набора тренировочных данных (полевых описаний) и сегментированного растра, по одному из представленных алгоритмов (ISO Cluster, Maximum Likelihood, Random Trees, Support Vector Machine).

Классификация растра. Выходными данными является набор тематических растровых характеристик в соответствии со схемой, разработанной в процессе обучения.

Выше были охарактеризованы основные способы классификации, однако во многих ситуациях использование какого-либо из них недостаточно для полной и достоверной классификации объектов. В таких случаях применяют ряд дополнительных способов и подходов. Среди них – различные гибридные и нечеткие классификации, новые способы обработки (например, на основе алгоритмов нейронных сетей), обработка гиперспектральных снимков (Книжников, 2004).

Гибридная классификация – это классификация объектов на снимке, выполняемая при сочетании двух или более способов классификации. Сочетание способов без обучения и с обучением наиболее полезно при большом количестве классов. Один из распространенных вариантов такого сочетания следующий (Книжников, 2004).

На *первом этапе* проводят объективное выделение классов (кластеризацию) по спектральным признакам, например, используя итерационный способ ISODATA без обучения (при этом для более полного учета спектральной неоднородности тематических классов задают заведомо большее количество выделяемых спектральных кластеров). Затем анализируют полученные классы: определяют, какие из них нужно впоследствии объединить в один тематический, а какие повторно классифицировать другим способом. Обычно требуется повторная классификация объектов, распределение яркостей которых далеко от нормального. Для ее классификации можно использовать способ параллелепипеда.

На *втором этапе* проводят классификацию методом минимального расстояния или максимального правдоподобия, используя гибридный набор дешифровочных признаков: граничные значения, заданные для способа параллелепипеда, и средние значения яркости кластеров, полученных в результате работы способа ISODATA. Таким образом, разные объекты классифицируются разными способами. При перекрытии спектральных признаков разных объектов определенному классу объектов может отдаваться предпочтение на основе дополнительных решающих правил.

На *третьем этапе* проводят заключительное редактирование полученной карты классификации: объединяют спектральные классы, входящие в один тематический, сглаживают изображение, исключая одиночные классифицированные пиксели, и т. п.

Использование алгоритмов нейронных сетей при разнородных источниках информации позволяет выполнять одновременную обработку нескольких типов информации. В этом случае в отличие от способов, основанных на параметриче-

ских подходах, не требуется нормальное распределение значений данных для каждого класса. Алгоритм нейронной сети имитирует работу человеческого мозга в том отношении, что обработка осуществляется с помощью многочисленных простых элементов сети – так называемых нейронов, дублирующих друг друга и работающих одновременно.

Обработка гиперспектральных снимков. В отличие от обычных многозональных снимков гиперспектральные позволяют получить детальные, почти непрерывные кривые значений спектральной яркости объектов. Поэтому потенциально информация, заключенная в гиперспектральных снимках, позволяет не только классифицировать объекты, изобразившиеся на них, но и определять многие биогеофизические характеристики объектов.

Однако гиперспектральные снимки чрезвычайно велики по объему занимаемой компьютерной памяти, имеют пониженную радиометрическую точность и в их значениях яркости велик вклад атмосферного рассеяния и отражения. Для их обработки используют специальные способы, а обычные параметрические способы классификации неэффективны.

Оформление результатов классификации (контролируемой, неконтролируемой, гибридной) включает следующие операции (Книжников, 2004, Лабутина, 2011):

- подбор оптимальной цветовой палитры для отображения классов;
- редактирование легенды — перестройка ее в логическом порядке, соответствующем характеру объектов, а не их яркостным признакам, иерархическое структурирование категорий легенды;
- выполнение различных операций, направленных на улучшение визуального восприятия изображения, его генерализацию (обобщение легенды, фильтрация изображения для исключения объектов малой площади);
- включение в итоговую карту классификации элементов картографической основы (координатной сетки, масштабной линейки, картографического изображения гидрографической и дорожной сети, застройки, подписей гидрографии и населенных пунктов и т.п.).

Кроме того, используя стандартные процедуры конвертации раstra в вектор в программных пакетах тематической обработки или ГИС, дешифровщик может оперировать результатом классификации в векторном виде.

6.3.5 Методы обработки съемки БПЛА

Обработка данных аэрофотосъемки БПЛА для получения картографических материалов заключается в снятии данных с бортовых носителей информации летательного аппарата. После этой процедуры производится оценка качества полученных фотографий и отбраковка снимков вне пределов нужного участка съемки. Также из файла журнала полета выбираются координаты, соответствующие моментам фотографирования, которые приписываются к конкретным снимкам. Такая обработка проводится в программе - планировщике полетного задания.

Далее обработка снимков проводится в ПО Agisoft PhotoScan. Эта автоматическая программа позволяет получать трехмерные модели поверхностей снятых объектов или местности по их фотоизображениям.

Построение модели и привязка местности в этой программе состоит из трех этапов:

1. Построение грубой модели. На этом этапе производится определение общих точек на перекрывающихся снимках в автоматическом режиме, восстановление проецирующих лучей, определение координат центров фотографирования и элементов

взаимной ориентировки аэрофотоснимков, расчет необходимых параметров, оптической системы.

2. Привязка полученной модели к внешней геодезической системе координат и уравнивание всех параметров этой системы с центрами фотографирования, также уравнивание наземных опорных точек, углов ориентирования аэрофотоснимков, параметров оптической системы. В качестве весовых коэффициентов для уравнивания выступают погрешности определения координат центров фотографирования, определения координат точек наземной опорной сети, дешифровки и маркировки опорных точек на снимках;

3. Построение полигональной модели поверхности местности на основе определенных параметров. Полученная модель используется для генерации ортофотопланов и матриц высот, которые в процессе обработки генерируются в цифровую модель местности участка съемки. На основе ортофотопланов в программе ГИС можно получить цифровую карту местности.

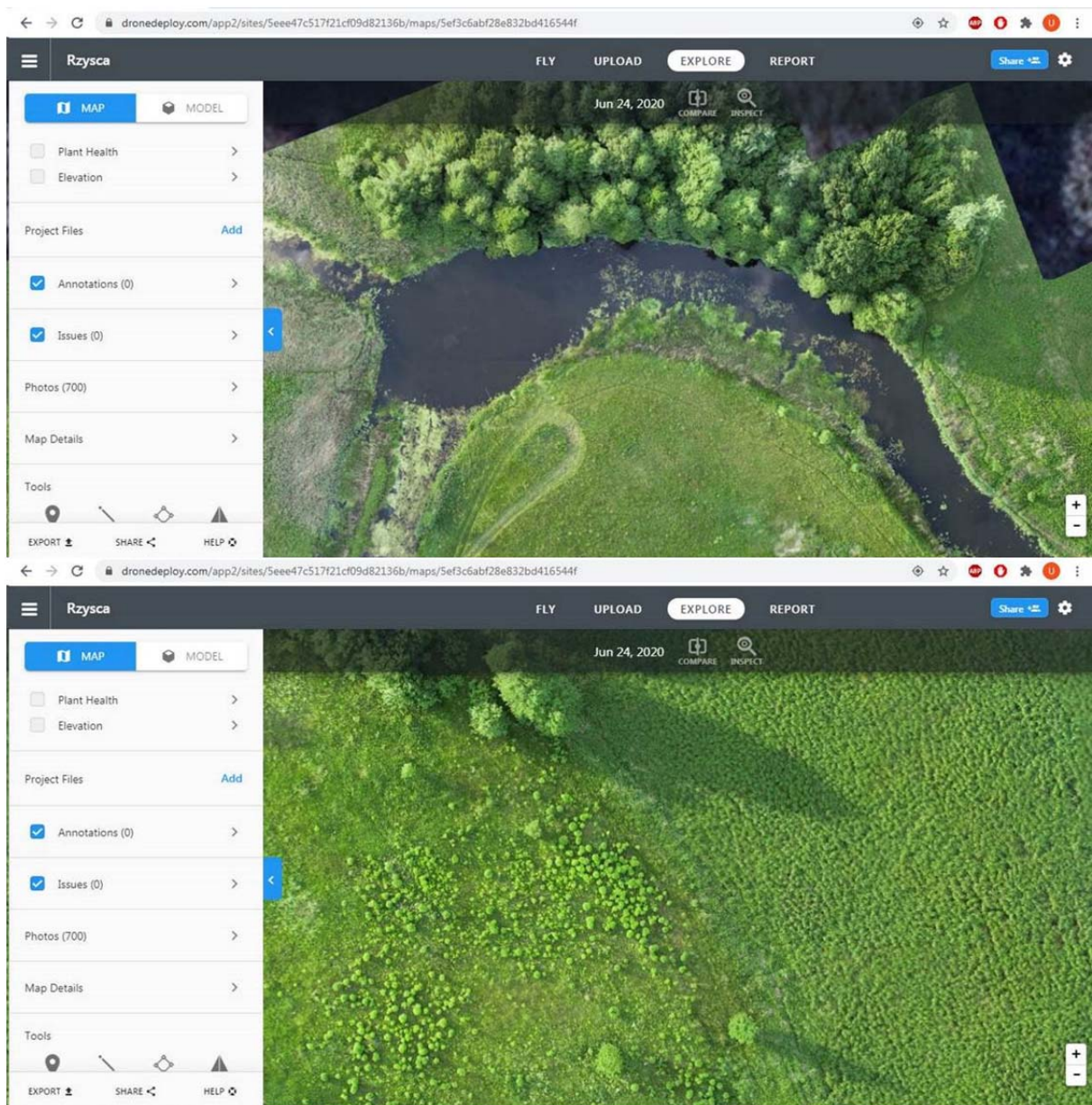
В последние годы активно развиваются серверы, позволяющие в удаленном режиме обрабатывать и формировать фотопланы. Ниже приведен пример создания ортофотопланов с использованием квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro v 2.0, имеющего механический затвор камеры, позволяющий получать серии четких снимков в движении (таблица 6.6, рисунок 6.25).

Таблица 6.6. Параметры съемки и полученных карт.

Параметр	Тестовые участки					
	Чер- нявка	Великий мох (Север)	Великий мох (Запад)	Пойма р. Птичь	Чер- нявка	Великий мох (центр)
Высота съемки, м	100	100	100	75	50	50
Площадь съемки, га	92,2	96,3	97,4	168,0	12,8	7,6
Время съемки, мин.	44	58	52	?	26	15
К-во аккумуляторов	3	3	3	3	2	1
К-во фотографий	770	810	815	700	442	266
Размер фотографий, ГБ	5,9	6,1	6,2	5,3	3,4	2,0
Разрешение фотоплана на сервере Drone Deploy, см/пиксель	2,8	2,7	2,8	2,1	1,4	1,5*
Размер экспортированной карты, ГБ	1,8	2,0	1,8	1,3	1,8	0,9
Разрешение экспортированной карты в формате GeoTiff, см/пиксель	5	5	5	5	5	1,5*

*Ограничение размера экспортируемой карты.

В мобильном приложении квадрокоптера планируется маршрут и запускается дрон в полет по рассчитанному маршруту. Приложение может работать в офлайн режиме с предварительно сохраненным маршрутом и кэшированными картами Google Maps. В зависимости от необходимого разрешения фотоплана в приложении нужно установить высоту полета дрона. Чем выше разрешение, тем больше фотографий нужно сделать, и может получиться так, что для большой территории не хватит одного аккумулятора. Приложение позволяет продолжить полет по маршруту с прерванного места после смены аккумулятора или выключения дрона.

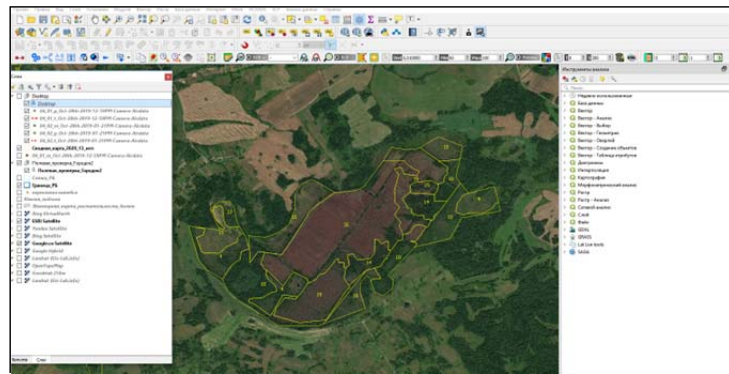


высота съемки: 75 м, разрешение: 2,1 см/пиксель

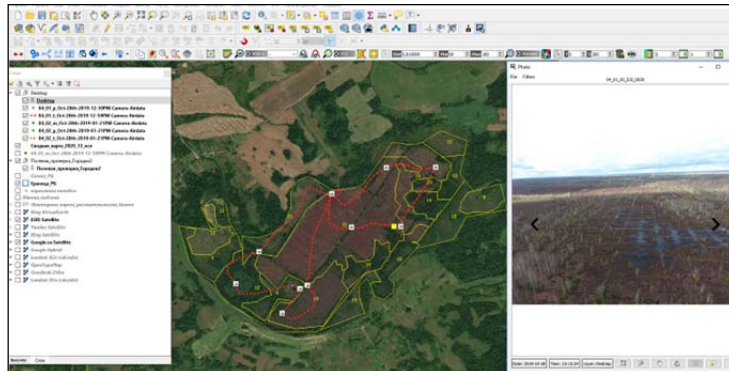
Рисунок 6.25 – Фрагменты фотоплана низинное болото в пойме р. Птичь (окрестности д. Ржище, Пуховичского района Минской области)

Квадрокоптер автоматически делает фото в нужных точках и под нужным ракурсом. После полета отснятые фото с SD-карты памяти загружаются на сервер DroneDeploy для обработки в удаленном режиме. После обработки фотопланы и 3D модели можно посмотреть, как через мобильное приложение, так и через браузер, а также отправить по почте с возможностью просмотра в браузере без специального ПО. Параметры съемки и фотопланов тестовых полигонов см в таблице 6.5.

При мониторинге экосистем особо охраняемых природных территорий БПЛА можно использовать также для выборочного эталонирования территории с сокращением объема наземных работ. В этом случае работы осуществляются по следующей схеме (рисунок 6.26).



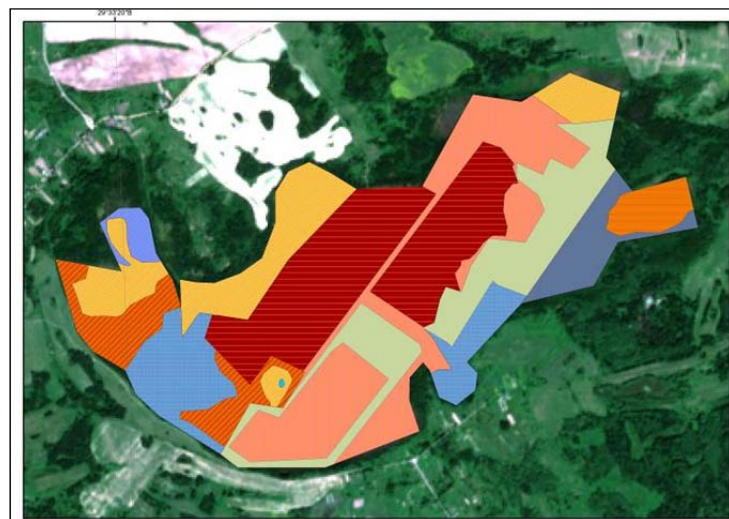
А – Визуальное (автоматическое) дешифрирование модельной территории с составлением прекарты в программном пакете QGIS



Б – Облета БПЛА территории в соответствии с маршрутом эталонирования



В – Наземное эталонирование территории



Г – Карта экосистем

Рисунок 6.26 – Использование БПЛА для картографирования экосистем

6.4 Обнаружение изменений растительного покрова по разновременным изображениям

Применение космических материалов при проведении мониторинга сводится к сопоставлению разновременных данных для выявления как короткопериодических, так и многолетних изменений. Основные методические приемы совместного анализа включают, во-первых, сопоставление разновременных снимков и результатов их обработки, во-вторых, карт, составленных по разновременным съемочным данным, и в-третьих, архивных карт и снимков.

Наиболее простая по выполнению операция – *вычитание (или сложение) разновременных снимков*. Однако во многих случаях такой подход требует соблюдения определенных условий, которые частично ограничивают его применение на практике. Снимки должны быть получены одной и той же или аналогичной съемочной системой и приведены к одинаковым условиям съемки, для чего необходимо выполнить дополнительную коррекцию – исключить влияние атмосферы. В противном случае с достаточной уверенностью можно выявлять лишь значительные изменения во внешнем облике территории или отдельных объектов, а к количественным оценкам изменений в яркости объектов подходить с осторожностью.

Значительно чаще выполняется *сложение преобразованных изображений*: результатов квантования, вычисления вегетационного или других индексов, а также классификации. Например, вычитание изображений, предварительно квантованных на два уровня (вода и суша), показывает изменения в сезонной зарастаемости акватории водной растительностью. Во всех программных пакетах, предназначенных для обработки растровых изображений, предусматривается специальная процедура сопоставления (наложения) двух изображений, в результате выполнения которой создается новое изображение и/или таблица, в которой зафиксированы все сочетания выделов, представленных на сопоставляемых изображениях (например, в ILWIS эта операция выполняется функцией Cross). Непосредственное наложение разновременных аэрокосмических данных часто используется при проведении регулярных наблюдений, мониторинге.

Вариант сложения трех разновременных аэрокосмических снимков – синтез цветного изображения. Так, синтез трех снимков в ближней инфракрасной части спектра или результатов вычисления вегетационного индекса, относящихся к трем разным сезонам одного года, позволит проследить прирост зеленой массы растений или дать дополнительные возможности для выделения растительных сообществ, у которых не совпадают фазы вегетативного развития.

Во всех названных случаях требуется геометрическое согласование разновременных изображений. Большинство космических снимков поставляются потребителям с выполненной радиометрической коррекцией (получение «сырых» данных специально оговаривается и не всегда возможно). Если требуется количественное сравнение значений яркости на разновременных снимках, полученных в разных условиях, необходимо выполнить и другие виды коррекции: учет различной освещенности, исключение влияния атмосферы, рельефа и геометрии съемки. При выявлении качественных, а не количественных параметров объектов и наличии снимков, полученных в безоблачных условиях, коррекция влияния атмосферы не обязательна. Можно использовать простой, но не вполне точный метод коррекции влияния атмосферы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Значения яркости наиболее темных объектов на снимке (участков глубокой тени от облаков, глубоких и чистых водоемов в ближней инфракрасной зоне) теоретически должны быть нулевыми. Если они имеют

некоторое значение, отличное от нуля, то значения яркости «эталонов» вычитаются из значений яркости всех пикселей соответствующего зонального снимка.

При сопоставлении двух разновременных снимков обычна ситуация, когда гистограммы резко различаются, например, один снимок выглядит темным, а другой светлым. В таком случае необходимо так преобразовать оба снимка или один из них, чтобы минимальные и максимальные значения яркостей были одинаковыми. Это преобразование известно, как приведение изображений к одному виду.

Сложение карт, составленных по разновременным снимкам (переходных карт) применяется, если моменты съемки отстоят во времени на десятки лет и сопоставлять, как правило, приходится разнотипные данные, например, аэрофотоснимки или фотопланы с космическими снимками или космические снимки, полученные разными съемочными системами. Еще больше усложняется ситуация, если для определения состояния изучаемого объекта в каждый из моментов наблюдения использовано несколько источников. Отличительная особенность и несомненное преимущество серии специально составленных переходных карт – их сопоставимость: единая легенда, одинаковые цензы отбора и обобщения элементов содержания. Все это позволяет провести впоследствии совместный анализ карт средствами геоинформационных технологий.

При использовании архивных карт особое значение имеют два взаимосвязанных обстоятельства: дата съемки, по материалам которой составлены карты, и точность планового положения объектов на них. Дата съемки далеко не всегда указывается в выходных данных, более того, год издания карты и время, которому соответствует изображенная ситуация, могут не совпадать и отстоять друг от друга на десятки лет. О точном положении объектов свидетельствуют только топографические карты, которые составляются по инструкциям. Важно также учитывать метод составления архивных карт.

Результаты мониторинговых наблюдений могут быть представлены в виде количественных характеристик или карт динамики. В любом случае расхождения, выявленные путем совмещения разновременных данных, будь то снимки или результаты их дешифрирования, требуют дополнительного анализа, целью которого является разделение изменений, происшедших на местности, и разного рода погрешностей. Такой анализ значительно более важен при использовании геоинформационных технологий, чем при традиционных картографических способах, когда исполнитель осмысленно выполняет сопоставление и рисовку контуров изменившихся объектов, обобщает или отбрасывает ненужные объекты и детали. При компьютерной обработке операция сопоставления данных выполняется формально, а в результирующем изображении и таблице (матрице) переходов появляются *фиктивные изменения*, что может привести исследователя к неверным выводам.

Появление фиктивных изменений связано с двумя основными причинами. Первая из них - сопоставление при изучении многолетней динамики снимков, зафиксировавших разные сезонные состояния ландшафта. В некоторых случаях, и таких немало, внутригодовые изменения в площади объектов могут превышать долговременные, за десятки лет. Так, к существенным ошибкам при изучении речной сети может привести сопоставление снимков, сделанных в паводок и межень, а при определении границ оледенения - снимков с изображением сезонного снежного покрова. Выявление сезонных изменений географических объектов - необходимое условие получения достоверных данных о многолетних изменениях. Вторая причина появления фиктивных изменений - неизбежные «технические» погрешности в положении границ объектов дешифрирования на разновременных изображениях.

В случае непосредственного сопоставления *растровых изображений*, составляющих как бы многовременный снимок (или результаты его преобразования, классификации), фиктивные изменения возникают как следствие неоднозначности геометрических преобразований. Обеспечить идеальное наложение пикселей по всей сопоставляемой площади снимков нельзя. Погрешность совмещения можно свести к минимуму, если снимки получены одной и той же или аналогичной съемочной системой, а при взаимном координировании в качестве опорных использовались идентичные точки. Точность положения контуров в таком случае зависит от размера пикселя и точности определения пространственных координат опорных точек. Например, при размере пикселя разновременных снимков 30 м погрешность их сопоставления без учета геометрического согласования составит 45 м, погрешность геометрического согласования - не меньше одного пикселя, т. е. изменения в площади даже в идеальном случае можно определить не точнее 1 га. Выявление фиктивных изменений, выражающихся чаще в изменении площади объектов, при непосредственном сопоставлении растровых изображений затруднительно или даже невозможно.

При сопоставлении разновременных переходных карт в векторном формате, кроме погрешностей геометрических преобразований исходных аэрокосмических данных, неизбежно возникают погрешности цифрования. Положение отдешифрованных (оцифрованных) контуров в определенной мере субъективно вследствие того, что для многих природных объектов четкие границы нетипичны, им больше свойственны постепенные переходы. При сопоставлении составленных независимо одна от другой карт из-за неоднозначного проведения границ, отбора мелких деталей на каждой из них появляются контуры фиктивных изменений. В отличие от ситуации с растровыми моделями, на изображениях, полученных в результате наложения векторных карт, фиктивные изменения определить значительно легче: их можно обнаружить как на самом изображении, так и при смысловом анализе таблицы переходов. При использовании цифровых методов возможны разные варианты выявления «лишних» контуров: поиск на гистограмме объектов размером меньше предвычисленного, выявление заведомо невозможных изменений и т. д. Избежать фиктивных изменений или, по крайней мере, свести к минимуму их число можно, если увязать между собой сопоставляемые разновременные карты.

Последовательное сопоставление разновременных карт – один из возможных методических приемов. Смысл его заключается в наложении векторного изображения, относящегося к одному из моментов наблюдения, на снимок (растровое изображение), относящийся к следующему моменту. Если границы выделов на двух изображениях совпадают или расходятся не более чем на число пикселей, соответствующее точности исходных данных, положение векторной границы не изменяется. Если расхождение превышает допуск, проводится новая граница. Аналогичная процедура выполняется и для других сроков наблюдений. Таким образом, не изменившиеся контуры оказываются одинаковыми на всей серии переходных разновременных карт, а несовпадение границ с высокой степенью достоверности свидетельствует о действительном наличии изменений.

6.5 Примеры использования ДДЗ и ГИС-технологий для целей мониторинга в разных типах экосистем

Изменение растительного покрова является центральной задачей при изучении и картографировании биоразнообразия, экологическом мониторинге, оценке воздействия хозяйственной деятельности на природно-растительные комплексы ООПТ. Об-

наружение изменений по данным ДЗЗ основано на различии значений яркости соответствующих пикселей разновременных изображений (Кравцов, 2008).

При изучении изменений, происходящих на местности, используют снимки, полученные в разное время. Предварительно следует привести снимки к геометрически единому виду (т. е. трансформировать и представить в единой системе координат), выполнить радиометрическую коррекцию, взаимную калибровку снимков по значениям яркости неизменившихся участков. Имеется много способов обработки разновременных снимков, среди них к основным относятся:

интерактивное редактирование – выделения областей и классов изменений поверхности Земли путем визуальной интерпретации;

вычитание разновременных снимков – вычитание из матрицы значений яркости пикселей разновременных изображений;

получение многовременных индексов – отношений значений спектральной яркости идентичных пикселей разновременных снимков;

цветовой синтез разновременных снимков – предполагает совмещение разновременных снимков в сочетании RGB (в случаях, когда меняются не границы распространения, а спектральные характеристики объектов, такой синтез позволяет выделить участки с разным характером изменений);

постклассификационное сравнение – основано на независимой классификации (с обучением или без) каждого из разновременных изображений с последующим сравнением классов соответствующих пикселей или кластеров;

классификация объектов по разновременным снимкам проводится по совмещенному изображению, включающему спектральные зоны снимков за разные даты, с использованием алгоритмов контролируемой или неконтролируемой классификацией.

Рассмотрим подробнее применение некоторых методических приемов в практике мониторинга ООПТ.

6.5.1 Лесные и торфяные пожары

Пожары достаточно легко идентифицируются (как визуально, так и использованием автоматизированных средства). При оценке площадей пожаров в лесном фонде особенно сложными являются мониторинг последствий торфяных пожаров вследствие их труднодоступности. С использованием материалов спутниковой съемки достаточно оперативно можно получить как контур прошедшего пожара, так и легко с использованием стандартного модуля ГИС рассчитать площадь и увязать с материалами лесоустройства.

При дешифрировании по космическим снимкам последствий пожаров основным признаком распознавания служат темный цвет изображения, своеобразные формы пожарищ и изрезанный периметр границ выгоревших площадей (рисунки 6.27, 6.28).

По этим признакам свежие пожарища в первый год опознают с вероятностью, превышающей 0,9, но уже через 2–3 года под воздействием осадков и в результате лесовозобновления или зарастания травянистой растительностью вероятность их правильного опознавания снижается до 0,5 (Методические рекомендации..., 2010), а в последующие годы (7–10 лет) на снимках практически не опознаются как визуально (рисунок 6.29), так и с использованием автоматизированных методов дешифрирования (рисунок 6.29 а, б). Однако наземные исследования показывают, что послепожарное восстановление природной растительности еще не произошло (рисунок 6.29 б, в).

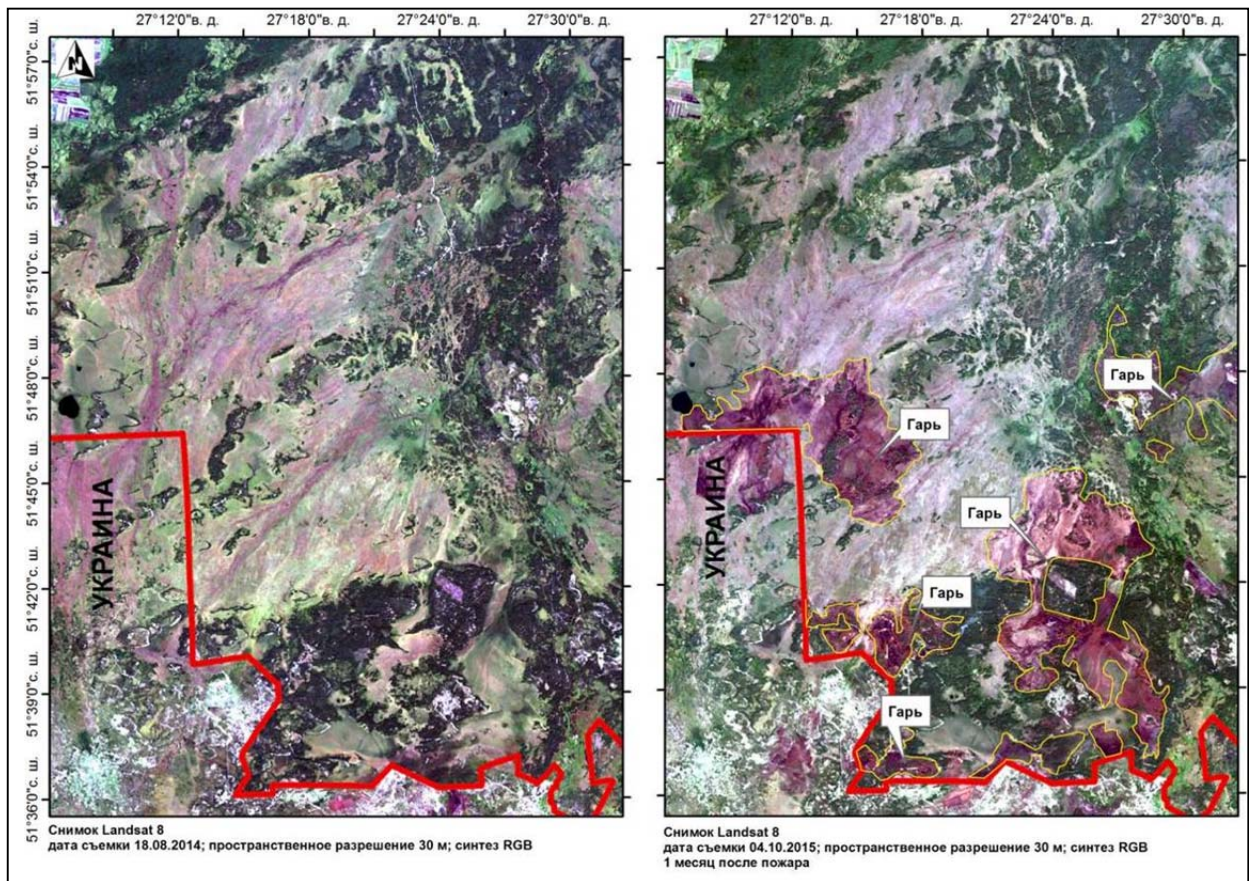


Рисунок 6.27 – Пример визуального определения гарей на космическом снимке (территория республиканского заказника «Ольманские болота»)

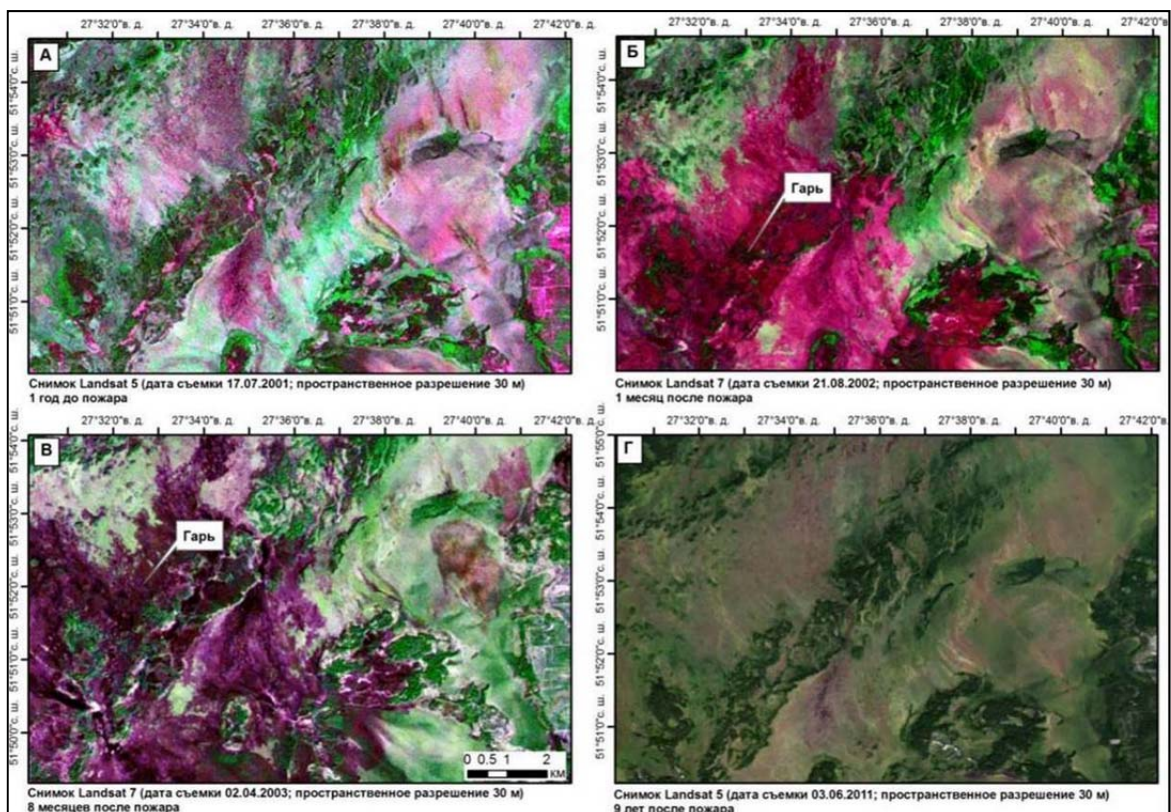


Рисунок 6.28 – Пример визуального изменения фотоизображения территории пройденной пожаром (территория республиканского заказника «Старый Жаден»)

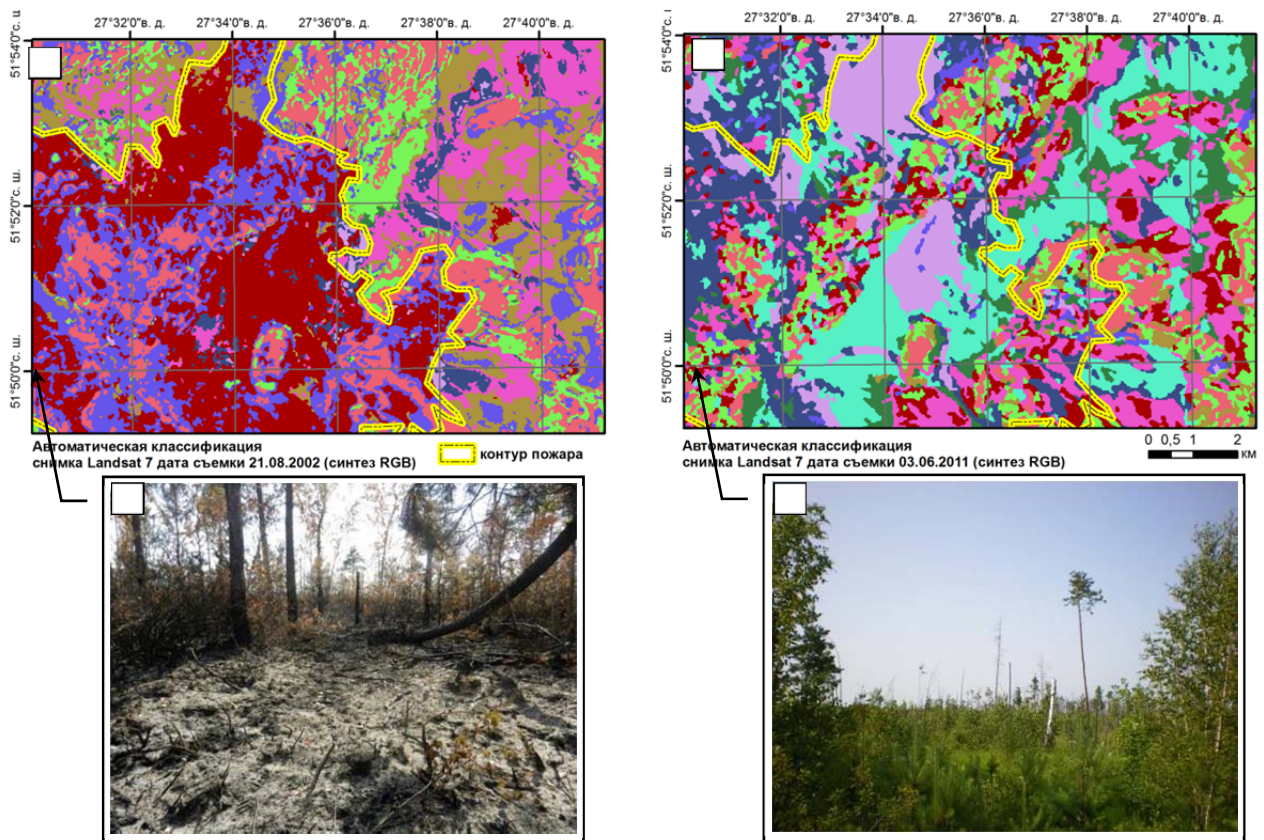


Рисунок 6.29 – Постклассификационное сравнение (неконтролируемая классификация) спутниковых снимков Landsat территории пройденной пожаром спустя 1 месяца (А) и 9 лет (Б), а также результаты наземных обследований территории в эти периоды (В, Г) (территория республиканского заказника «Старый Жаден»)

Использование архива космических снимков территории существенно облегчает процедуру распознавания участков пожарищ (рисунок 6.30). Ниже приводится пример динамики торфяных пожаров в северо-западной части Беларуси (национальный парк «Браславские озера», заказники «Ельня», «Болото Мох», «Жада») за период 1975–2015 гг. (рисунок 6.31). Для этих целей нами использована база архивных космоснимков программы Landsat. Участки свежих гарей определяли на спутниковом снимке визуально (по темно-фиолетовой окраске; синтез RGB).

Вместе с тем, несмотря на кажущуюся простоту, процедура определения гарей часто бывает затруднительной. В рассматриваемом примере год пожара корректировали аналитическим путем сопоставления с метеорологическими данными, архивными материалами полевых обследований и другими признаками (конфигурация пожара на снимках предыдущих и последующих лет, дата съемки и т.д.).

После перенесения на базовую карту мониторинга географических координат пожаров и контуров выгоревших участков уточняется площадь гарей. По сезонному времени лесных пожаров и форме горящей площади определяется вид пожара. Например, в лесном покрове летние выгоревшие площади в отличие от весенних и осенних, пройденные устойчивым низовым пожаром, отличаются округлой конфигурацией. После пожаров верхового типа пожарища имеют сильно вытянутую по направлению ветра эллипсовидную форму.

Пример автоматизированного мониторинга лесных и торфяных пожаров приведем на примере территории республиканского заказника «Ольманские болота» – одного из крупнейших в Европе природный комплекс (ЛБК).

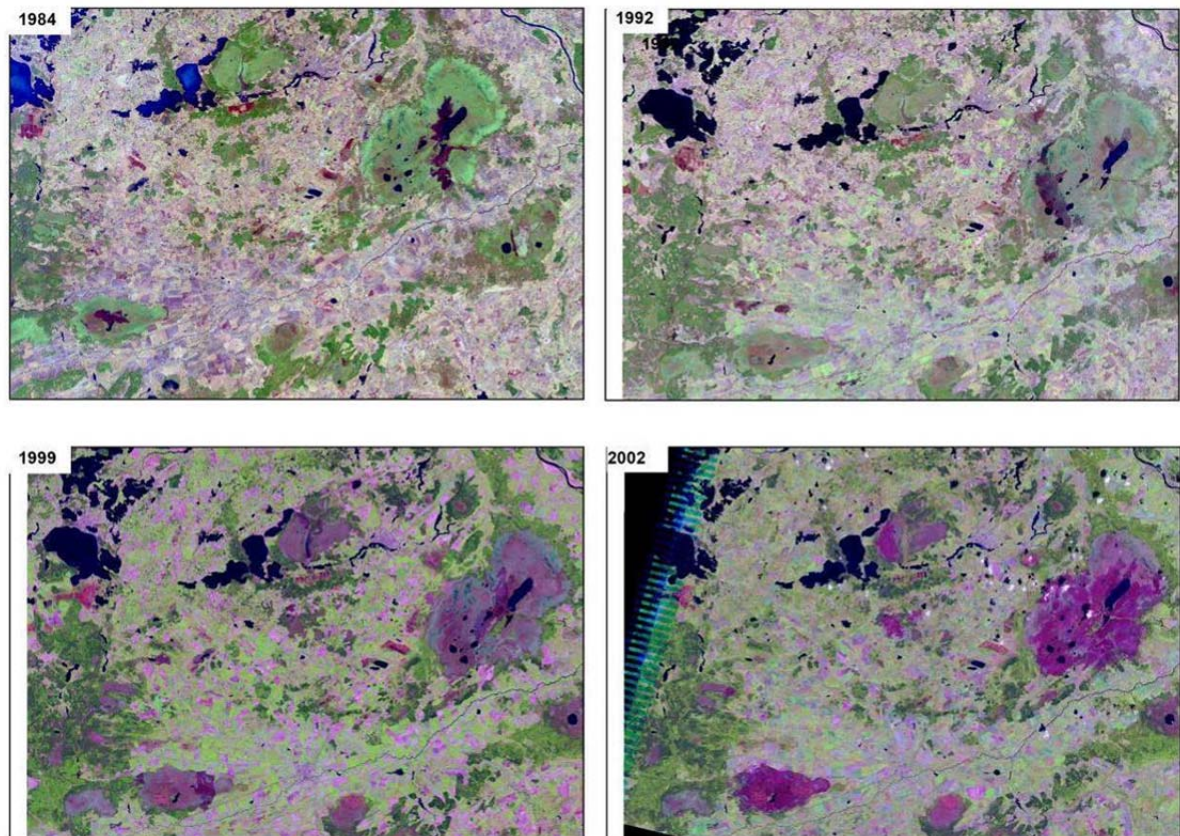


Рисунок 6.30 – Пример использования архивных материалов спутниковой съемки Landsat для ретроспективной оценки площадей торфяных пожаров

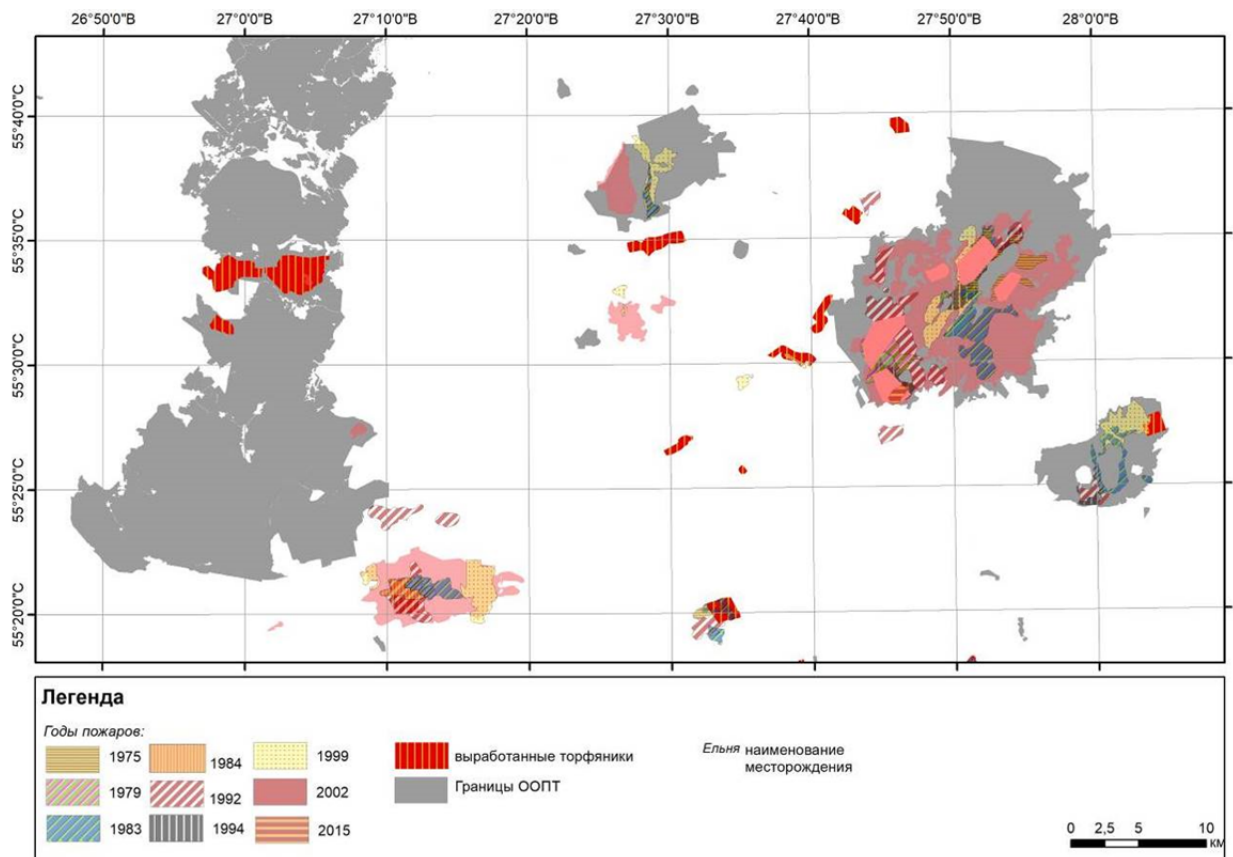


Рисунок 6.31 – Реконструкция истории пожаров на особо охраняемых природных территориях за анализируемый период (1975–2014 гг.)

Исследования проводились с использованием данных дистанционного зондирования Земли, собранных для территории тестового полигона за период 1985–2018 гг. Анализ послепожарных изменений проводился с использованием платформы облачных вычислений Google Earth Engine (GEE). Для реконструкции истории пожаров нами были использованы архивные данные из коллекций Landsat 5 SR, Landsat 7 SR и Landsat 8 SR, имеющих высокое пространственное разрешение – 30 м, и включающих помимо видимых (red, green, blue), так же ближний и средний инфракрасные каналы (NIR, SWIR), необходимые для расчета вегетационных индексов.

Исходный набор данных состоял из 827 сцен за период апрель–ноябрь 1984–2018 гг. Для каждой сцены, помимо спектральных характеристик, был рассчитан индекс: NDVI, NBR, BAI (таблица 6.7) и сформирована маска облачности.

Таблица 6.7 – Характеристика расчетных спектральных индексов

Спектральный индекс	Описание	Формула
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	Показатель количества фотосинтетически активной биомассы	$(\text{NIR}-\text{Red})/(\text{NIR}+\text{Red})$
NBR (Normalized Burn Ratio)	Выделяет выгоревшую землю, усиливает “угольный” сигнал на интервале NIR-SWIR	$(\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR})$
BAI (Burn Area Index)	Выделяет выгоревшую землю, усиливает “угольный” сигнал на интервале Red-NIR	$((0.1-\text{Red})^2 + (0.06-\text{NIR})^2)^{-1}$

Общая идея алгоритма выявления гарей заключалась в создании теоретической модели сезонной динамики спектральных индексов и сравнении теоретических и фактических значений. Моделью служила гармоническая функция вида

$$\text{Ind} = a_1 + a_2 * \cos(\text{year} * 2\pi) + a_3 * \sin(\text{year} * 2\pi)$$

где a_1 , a_2 , a_3 – коэффициенты модели; year – текущая дата, десятичный год

Данные для корректировки модели предварительно фильтровались – исключалось 10% экстремальных значений (фильтрация выбросов) и нормировались на 95 и 5 перцентиль для NBR и BAI соответственно (фильтрация тренда).

В результате для каждого пикселя был получен массив коэффициентов, описывающих сезонную динамику индексов (рисунок 6.32).

Так же была построена сезонная модель динамики стандартных отклонений (того же вида) для каждого индекса и эмпирически подобраны пороги отсека экстремальных значений для каждого индекса, равные трем стандартным отклонениям.

Для каждой сцены, в пределах маски валидных значений, рассчитывалась теоретическая сцена, которая сравнивалась с фактической. На следующем этапе создавалась маска гарей, при условии синхронной динамики индексов BAI и NBR пиксель устанавливался в значение 1 – «гарь», или 0 – «не гарь» (отсутствие повреждения пожарами).

Далее создавались погодичные композиты, включающие 2 канала: «score» – количество зафиксированных регистраций гари, и «day» – наиболее ранний день регистрации гари в пределах года. После этого выполнялась пространственная фильтрация шумов в 2 этапа: а) сглаживание маски видимости медианным фильтром, для устранения случайного шума; б) интерактивное редактирование, позволяющее оператору, на основании визуального анализа исходных космоснимков редактировать погодичные композиты (рисунок 6.33).

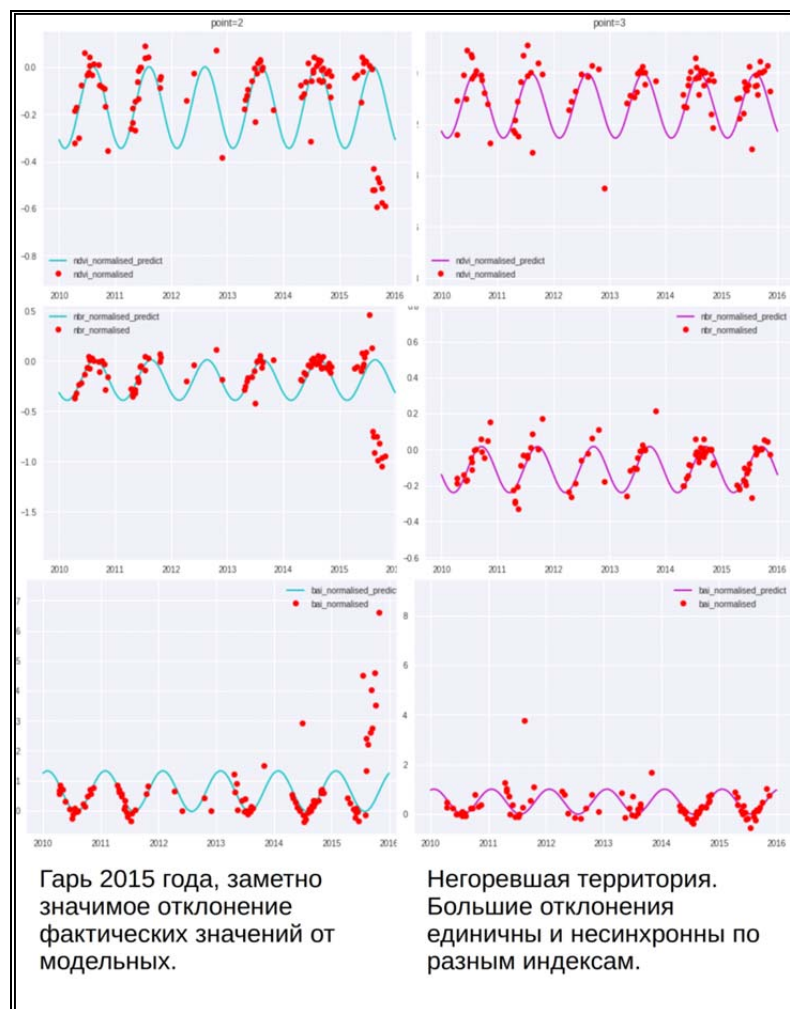


Рисунок 6.32 – Верификация модели сезонной динамики спектральных индексов и сравнении теоретических и фактических значений

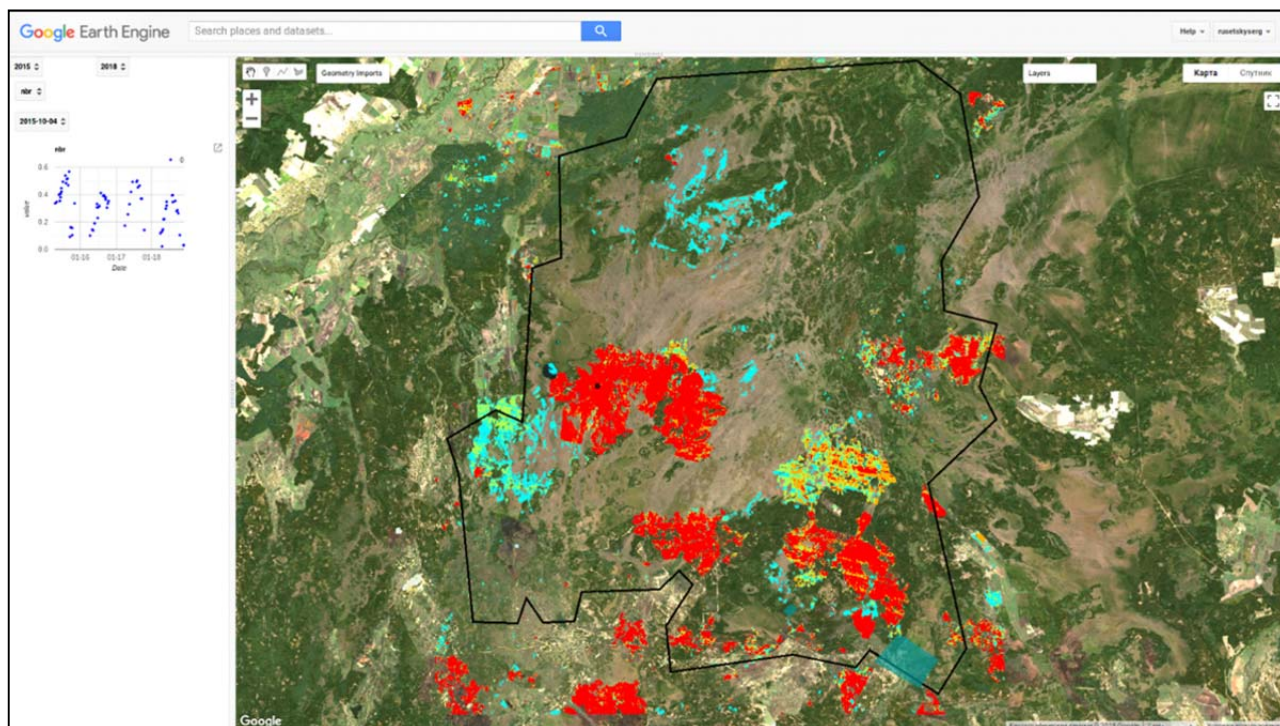


Рисунок 6.33 – Интерактивное редактирование погодичных композитов с выявленными гарями с использованием платформы Google Earth Engine

Финальная стадия обработки заключалась в исключении следов прошлогодних пожаров, для чего от каждой годичной сцены была вычтена сцена прошлого года.

На основании итоговой коллекции формировались результирующие изображения (погодичный каталог пожаров (рисунки 6.34, 6.35), частота пожаров, давность пожара) и статистики (общая площадь, распределения классов природной пожарной устойчивости растительности, показателей дорожной сети, соотношения пожаров и другие). С использованием стандартных модулей ГИС рассчитывались площади пожаров по годам (рисунок 6.36) и периодам (рисунок 6.37).

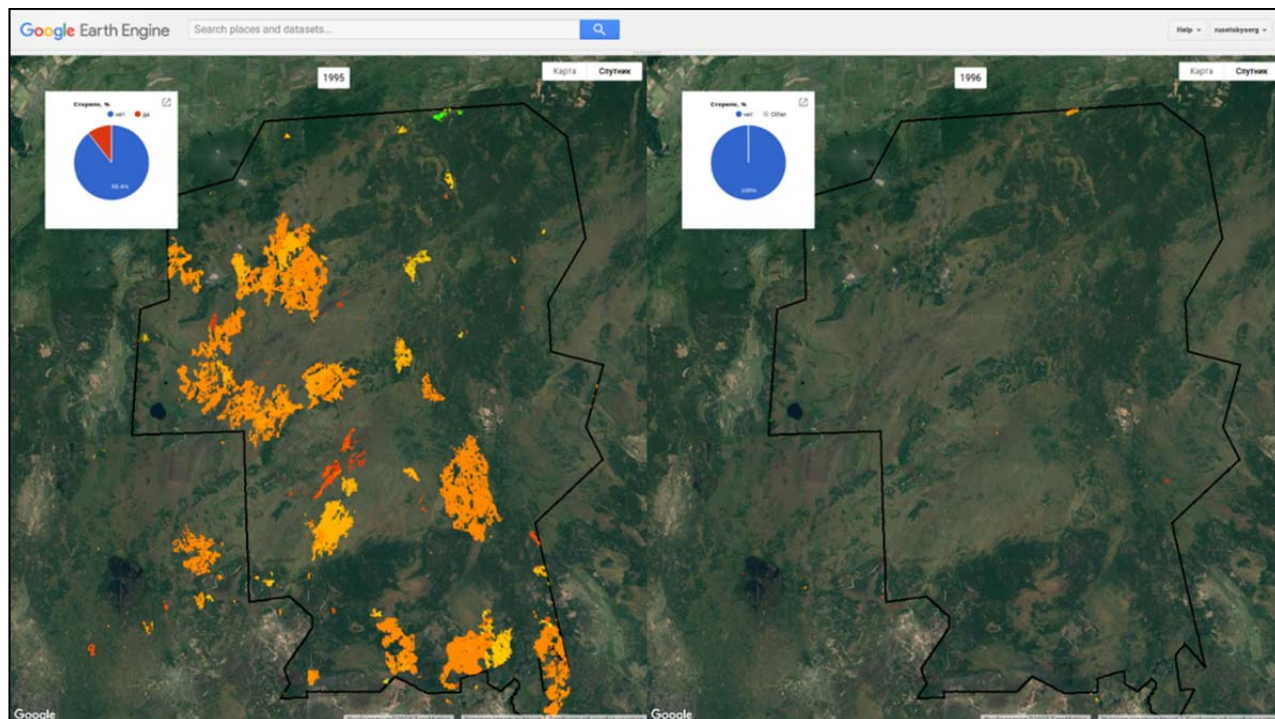


Рисунок 6.34 – Пожары на территории ЛБК «Ольманские болота» в 1995 г. (10969,1 га) и 1996 г. (46,9 га)

Результаты исследований обобщим в виде следующих выводов.

1. На территории ЛБК «Ольманские болота» наиболее интенсивные пожары проходили в 1995 г. (10,7 тыс. га), 2002 г. (12,4 тыс. га), 2015 г. (13,4 тыс. га).

2. Основные участки локализации гарей размещены в южном, западном и восточном секторах лесоболотного комплекса «Ольманские болота», где концентрируются участки низкой (1-2 классы) и средней (3 класс) природной устойчивости растительности к пожарам. Природные барьеры (растительности 4 и 5 классов пожарной устойчивости) ограничивает распространение пожаров в северной и центральной частях ЛБК.

3. В годовом цикле пожары наблюдаются в период, начиная с третьей декады марта и до конца первой декады декабря, с пиком площадного развития в первой половине сентября. По-видимому, это связано, во-первых, с наиболее низкими уровнями стояния болотных вод (меженный период: август–октябрь), а во-вторых, с массовым посещением болот людьми в период сбора клюквы (конец августа–октябрь).

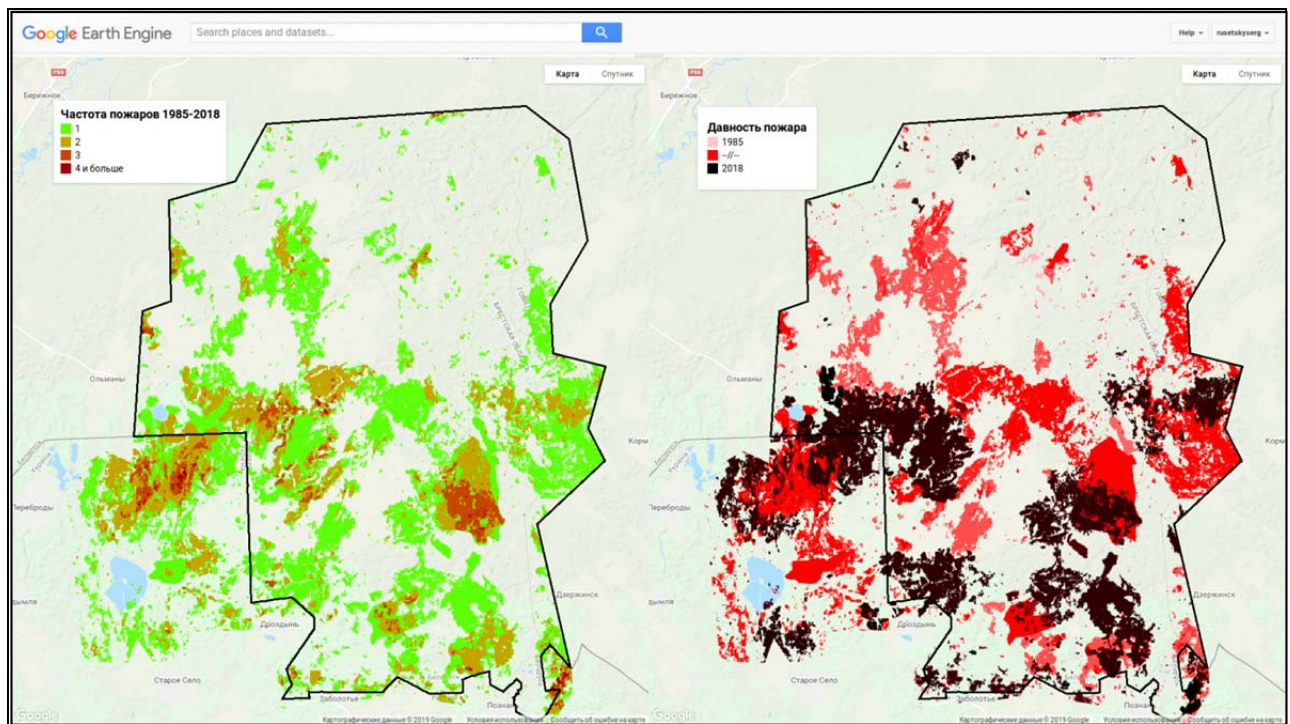


Рисунок 6.35 – История пожаров (за период 1985-2018 гг.)
на территории ЛБК «Ольманские болота»

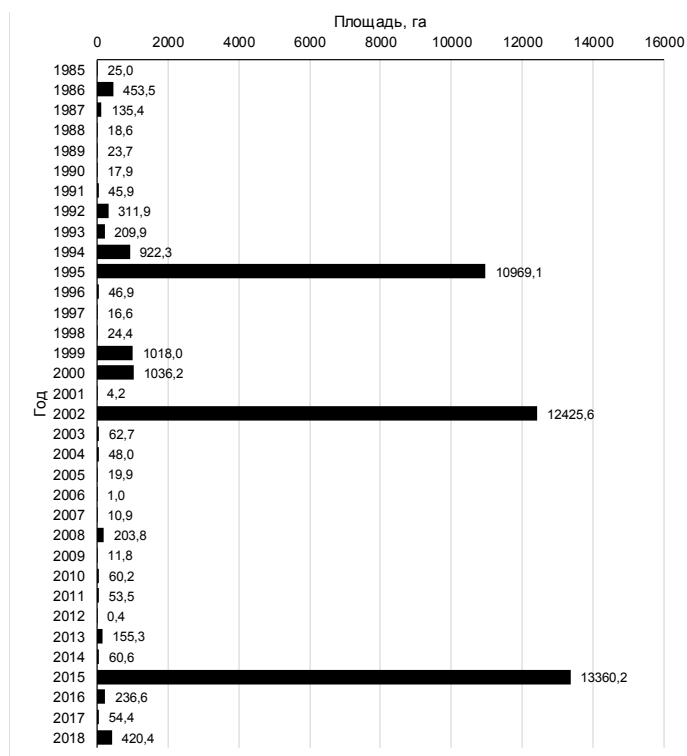


Рисунок 6.36 – Динамика площадей пожаров в
пределах лесоболотного комплекса
«Ольманские болота»

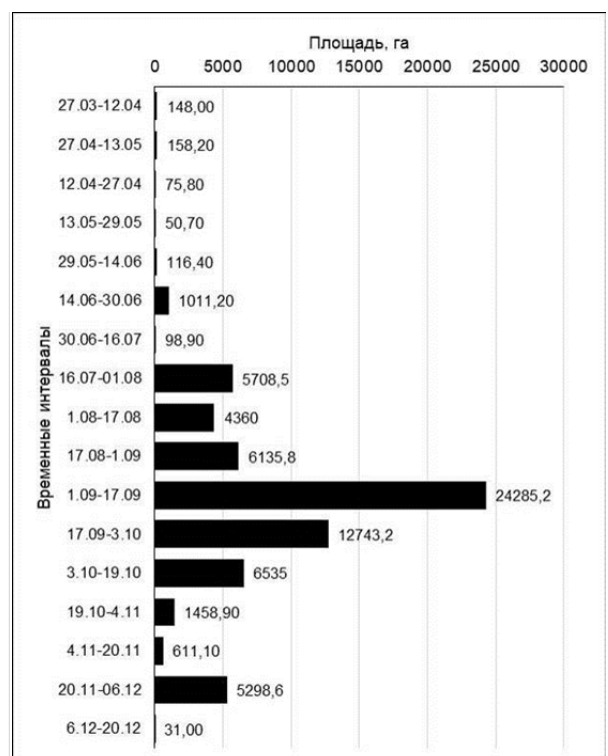


Рисунок 6.37 – Распределение площадей, по-
врежденных пожарами по временным пери-
одам (суммарно за 1985-2018 гг.)

6.5.2 Неконтролируемые палы (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах)

Процедура детектирования по космическим снимкам неконтролируемых палов (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах) существенно не отличается от дешифрирования лесных и торфяных пожаров (см. раздел 6.5.1). Однако следует учитывать, что свежие пожарища на лугах и болотах в течении 3–4 месяцев после пожара вследствие активного зарастания травянистой растительностью практически не опознаются ни визуально, ни с использованием автоматизированных методов дешифрирования (рисунок 6.38). В связи с чем снимки при проведении мониторинга необходимо подбирать с наименьшим интервалом от момента прохождения пожара.

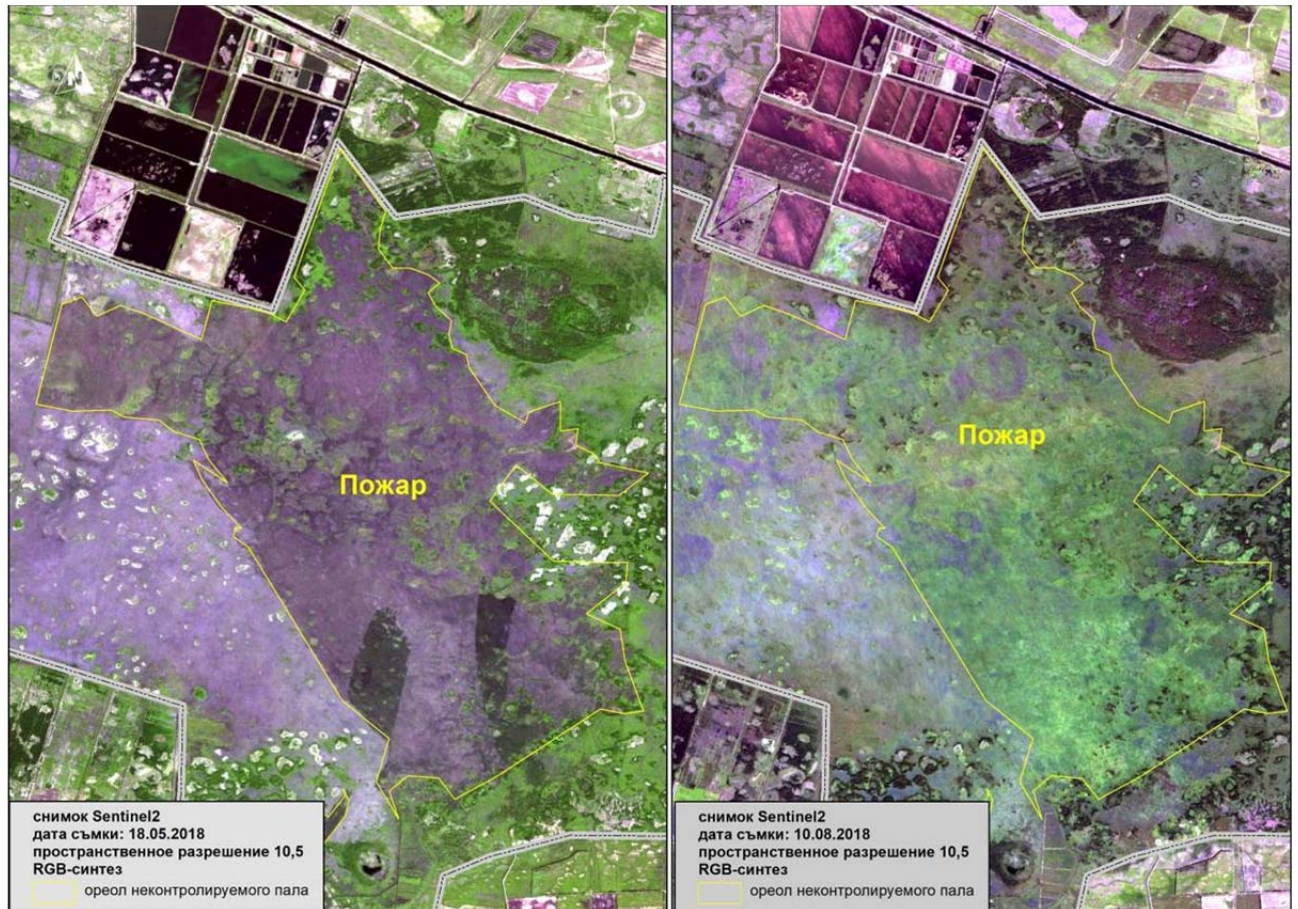
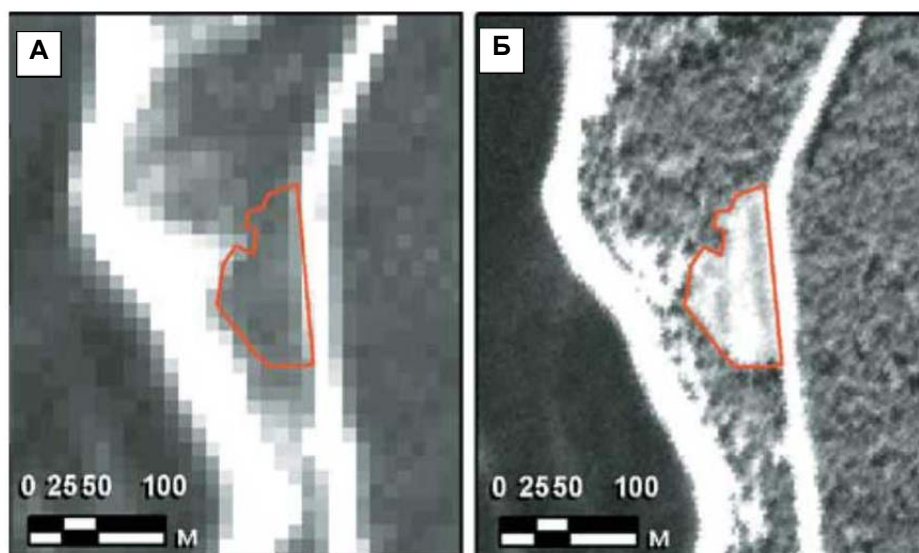


Рисунок 6.38 – Неконтролируемые палы на разновременных космических снимках (территория республиканского заказника «Званец»)

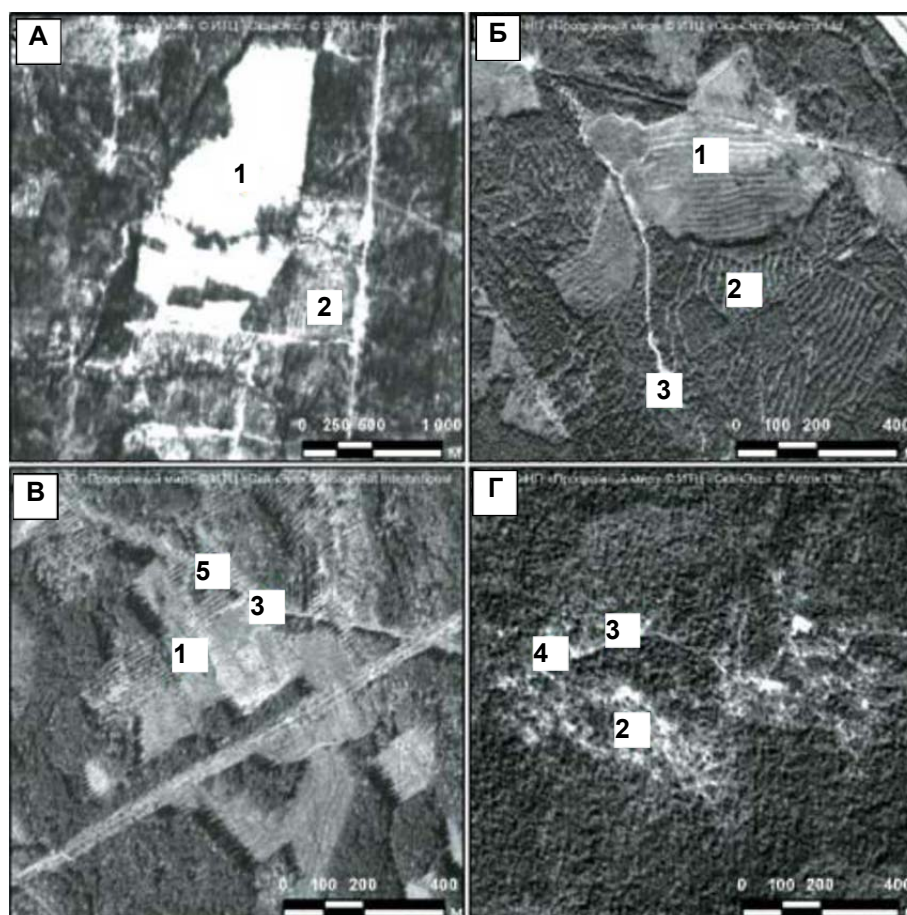
6.5.3 Рубки леса

Выявление новых лесосек проводится путём сравнения свежих данных космической съёмки со снимками годичной (и более) давности (рисунки 6.39-6.41). Лесосеки на снимках выглядят как объекты повышенной яркости на фоне более тёмного нетронутого леса. Основное отличие лесосек от похожих объектов – пожаров и ветровалов – состоит в наличии связанной инфраструктуры (лесовозные дороги, погрузочные площадки, магистральные и пасечные волоки).



А) снимок SPOT 2 MONO, февраль 2007 г., пространственное разрешение 10 м (Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009); Б) снимок IRS-P5 PAN, май 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м (Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009)

Рисунок 6.39 – Пример выявления рубок леса



Условные обозначения: 1 — сплошные рубки, 2 — выборочные рубки, 3 — лесные дороги, 4 — погрузочные площадки, 5 — посадки лесных культур.

А) Сплошные и выборочные рубки. Снимок SPOT 2 MONO, март 2008 г., разрешение 10 м;

Б) сплошные и выборочные рубки. Снимок IRS-P5 PAN, май 2008 г., разрешение 2,5 м;

В) сплошные рубки, посадки лесных культур. Снимок EROS-B, апрель 2008 г., разрешение 0,7 м;

Г) выборочные рубки. Снимок IRS-P5 PAN, апрель 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м.

Рисунок 6.40 – Примеры сплошных и выборочных рубок на снимках различного пространственного разрешения (по данным Зенкевич, 2009)

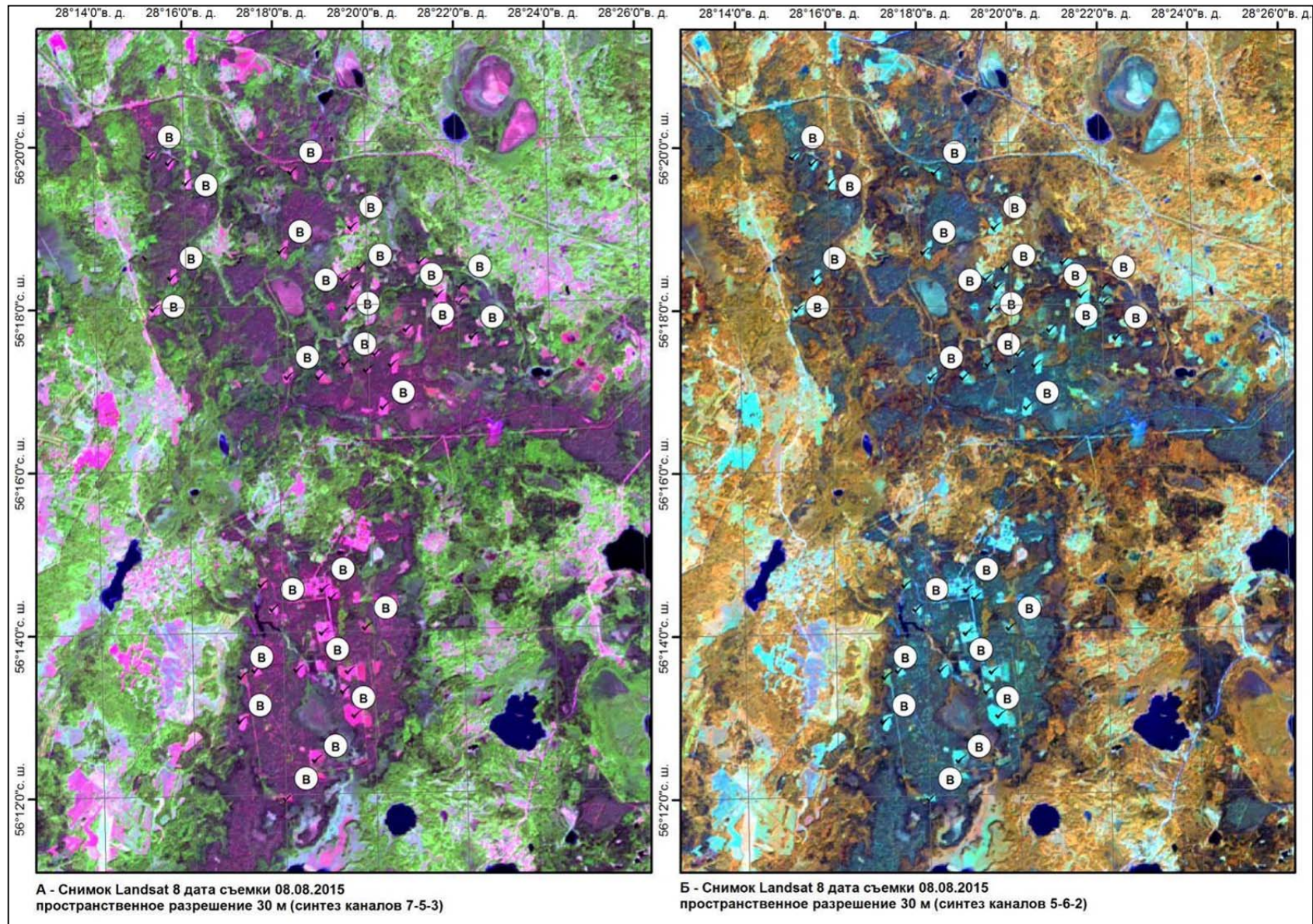


Рисунок 6.41 – Варианты синтеза цветных изображений многозонального космического снимка Landsat 8 для визуального определения сплошных рубок

Основным признаком, по которому лесосеки разделяются на классы выборочных и сплошных рубок, выступает текстура. Если для сплошных вырубок характерна практически полная её однородность, то более выраженная текстура выборочных рубок обусловлена наличием волоков, дорог, погрузочных площадок, «окон» в пологе в сочетании с нетронутой частью насаждений. Чем выше пространственное разрешение, тем лучше различимы элементы инфраструктуры внутри лесосеки, в первую очередь волокни (технологические коридоры). Так, на снимках SPOT (разрешение 10 м) различимы лишь самые наезженные волокни, тогда как на более детальных данных IRS-P5 (разрешение 2,5 м) и EROS B (разрешение 0,7 м) видны не только большинство волоков, но и кроны отдельных деревьев (см. рисунок 6.41).

Оценка площади по спектрально-изобразительным изображениям с пространственным разрешением 1–10 м дают систематическую погрешность не более 5%. Применение снимков с КА Ikonos дают результаты, сравнимые с результатами, полученными при использовании аэрофотоснимков масштаба 1:10000 (таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Точность определения параметров рубок по материалам космосъемки

Космический аппарат	Разрешение снимка, м	Систематическая ошибка %	Стандартное отклонение, %
ICONOS	0,8	1,2	7
SPOT	2	3	11
IRS	6	4,2	14
Landsat	14,25 (pan)	4,9	18

Другими важными отличительными признаками для разделения выборочных и сплошных рубок выступают яркость и форма объектов. Сплошные рубки обычно имеют правильную прямоугольную форму. Исключение могут составлять санитарные рубки, например, после пожара. Яркость сплошных свежих рубок, как правило, велика за счёт большого процента открытой почвы.

При использовании снимков более низкого пространственного разрешения возможности визуального дешифрирования ограничены и позволяют распознать преимущественно сплошные рубки. При этом дешифрирование целесообразно проводить с применением яркостных преобразований (синтез цветного изображения (рисунок 6.42), расчетов вегетационных индексов (рисунок 6.43), в сочетании с методами анализа разновременных изображений.

При выборочных рубках форма лесосек может сильно варьировать, особенно в случае рубок ухода или незаконных самовольных рубок. При промышленной заготовке древесины форма лесосеки обычно более правильная. Яркость выборочных рубок варьирует в широких пределах и зависит от ряда факторов: сезона съёмки, выраженности рельефа, освещённости склона, на котором расположена рубка, давности и интенсивности рубки, доли темнохвойных и мягколиственных пород в составе древостоя, наличия и сомкнутости второго яруса и подлеска, а также степени их повреждения при рубке. Надо отметить, что возможность достоверно выявлять выборочные рубки, в том числе и на местности с выраженным рельефом, позволяет проводить мониторинг нарушений в защитных лесах различных категорий.

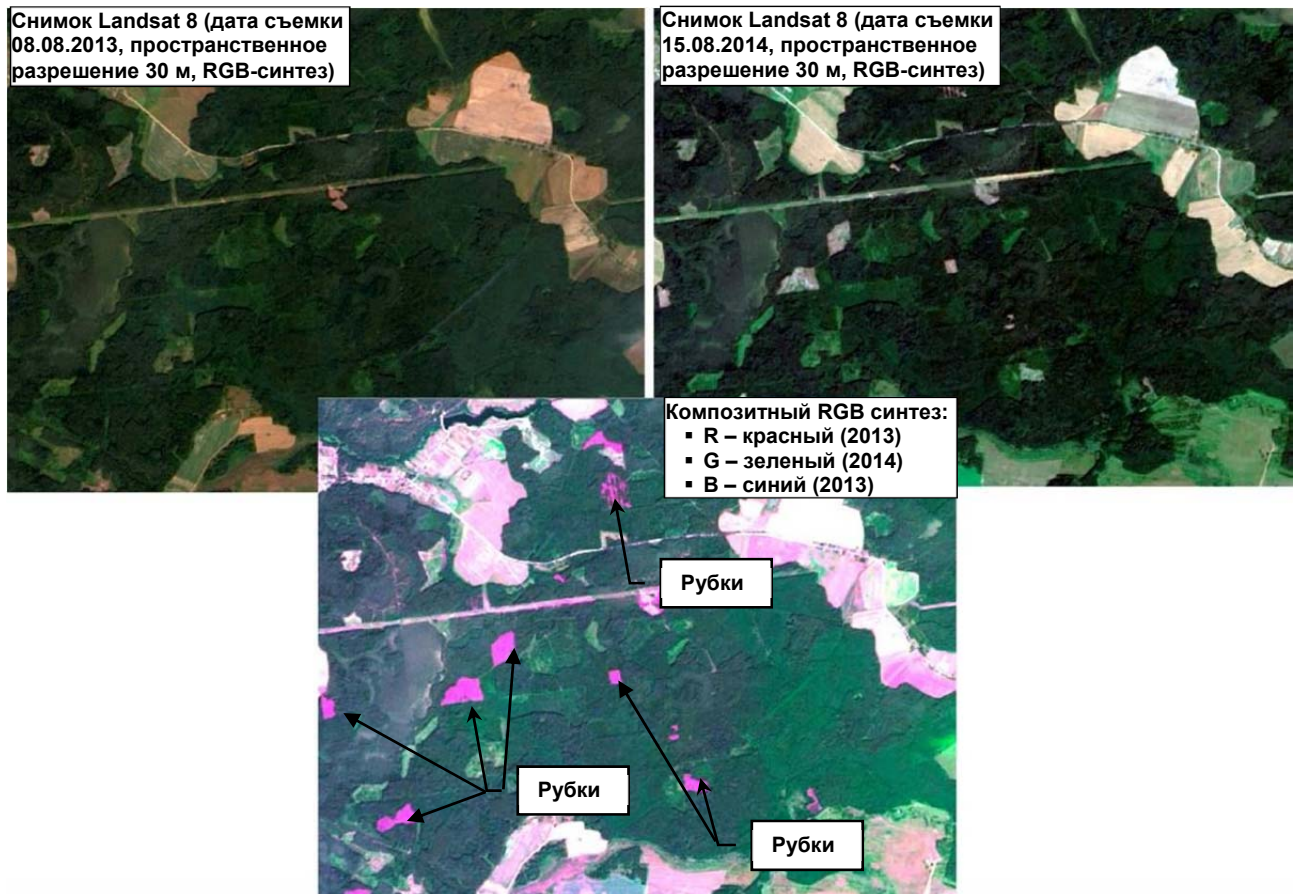
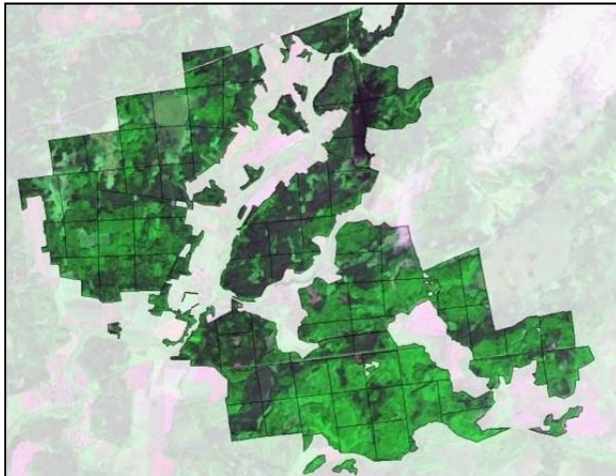


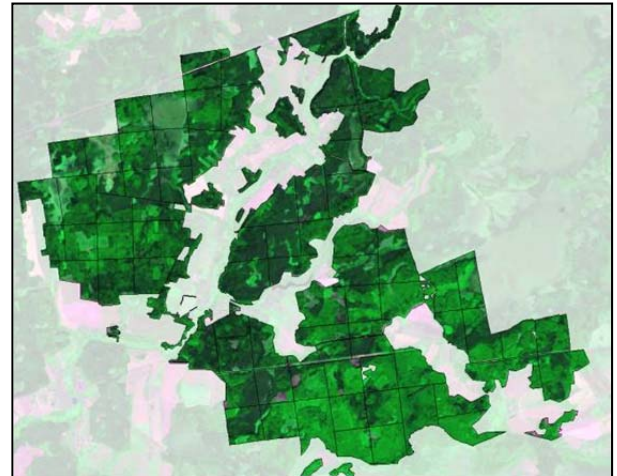
Рисунок 6.42 – Пример обнаружения сплошных рубок с использованием цветового синтеза разновременных снимков

Также для оценки интенсивность рубок можно использовать данные Global Forest Change – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (<http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>). Авторами был разработан оригинальный алгоритм (рисунок 6.44) обработки снимков и создания временных серий изображений, который позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и увеличение. Для анализа использовались снимки Landsat, полученные из глобального архива и выбранные только в пределах вегетационного сезона. Модель для нормализации значений спектральной яркости основывалась на разнице между спектральной яркостью данных Landsat и многолетних средних значений спектральной яркости по данным MODIS. Полученные данные использовались для создания попиксельных временных серий наблюдений, которые были трансформированы в наборы «метрик», использованные в дальнейшем для картографирования динамики лесного покрова.

Данные легко увязываются с материалами лесоустройства и позволяют создавать разнообразные тематические карты, оценивающие динамику лесного растительного покрова территории (рисунки 6.45, 6.46).

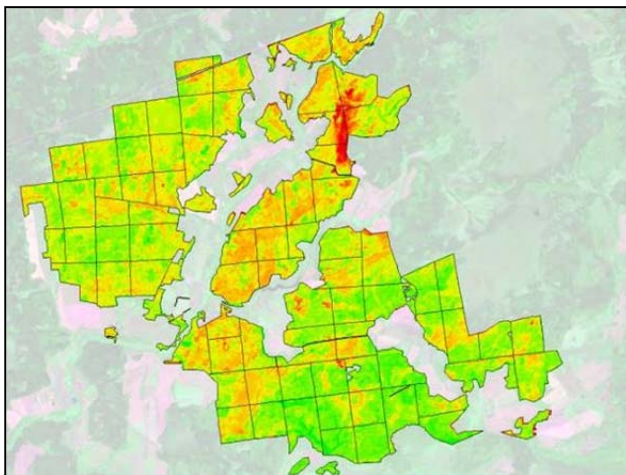


июль 2013

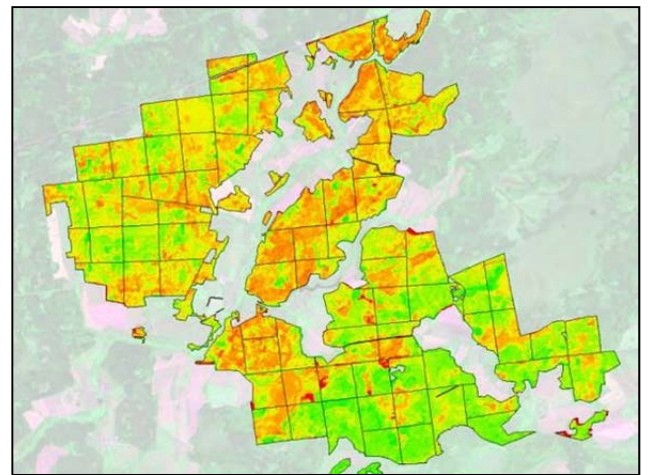


июль 2014

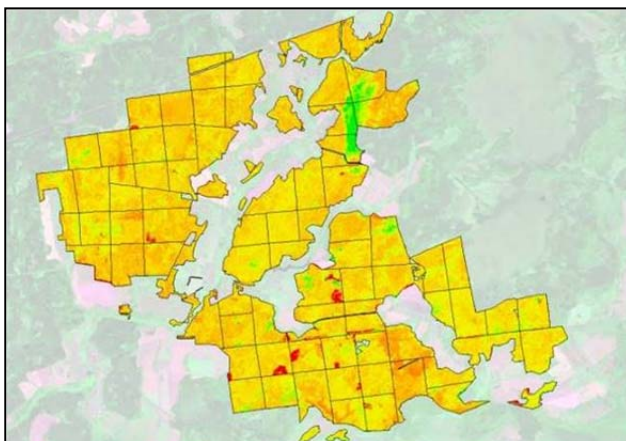
А – подбор разновременной космической съемки (синтезированный снимок Landsat 8, синтез RGB) и увязка с материалами лесоустройства



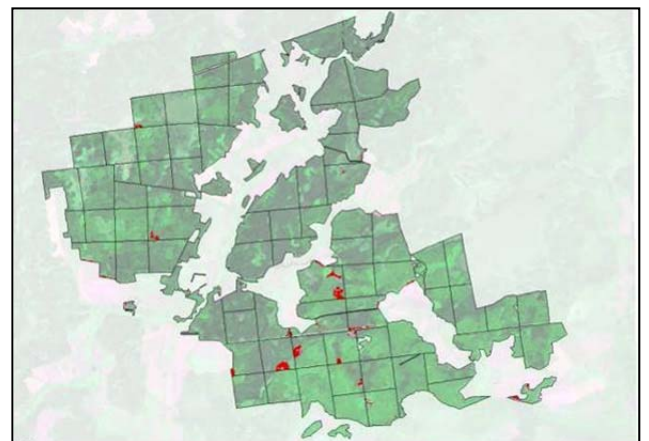
min max



Б – Расчет нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI)



В – Расчет разницы NDVI 2014/2013 гг.



Г – идентификация вырубок
(выделены красным фоном)

(вы-

Рисунок 6.43 – Примеры выделения сплошных рубок с использованием метода разности вегетационных индексов

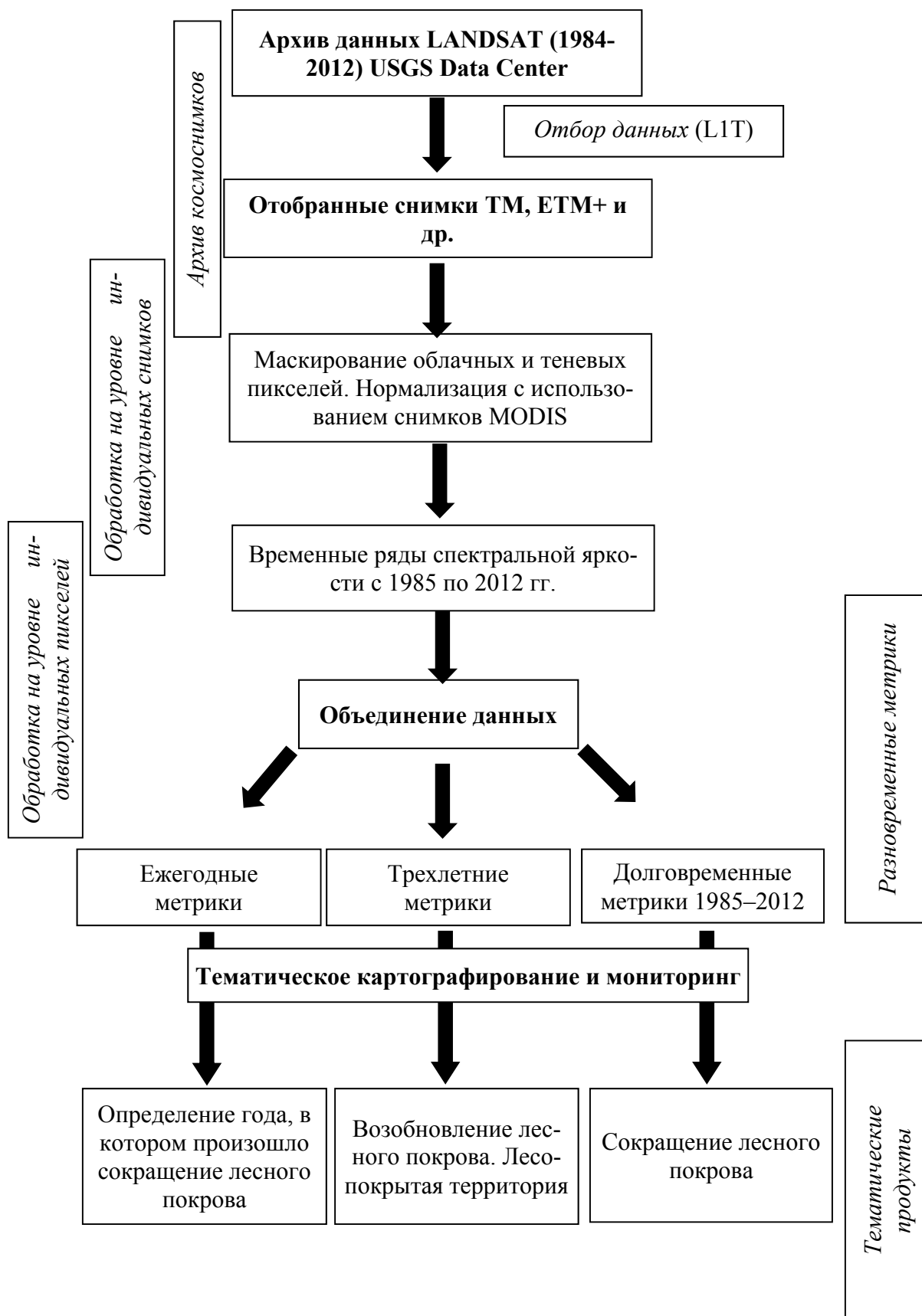


Рисунок 6.44 – Алгоритм обработки архива космических снимков Landsat для оценки динамики лесного растительного покрова

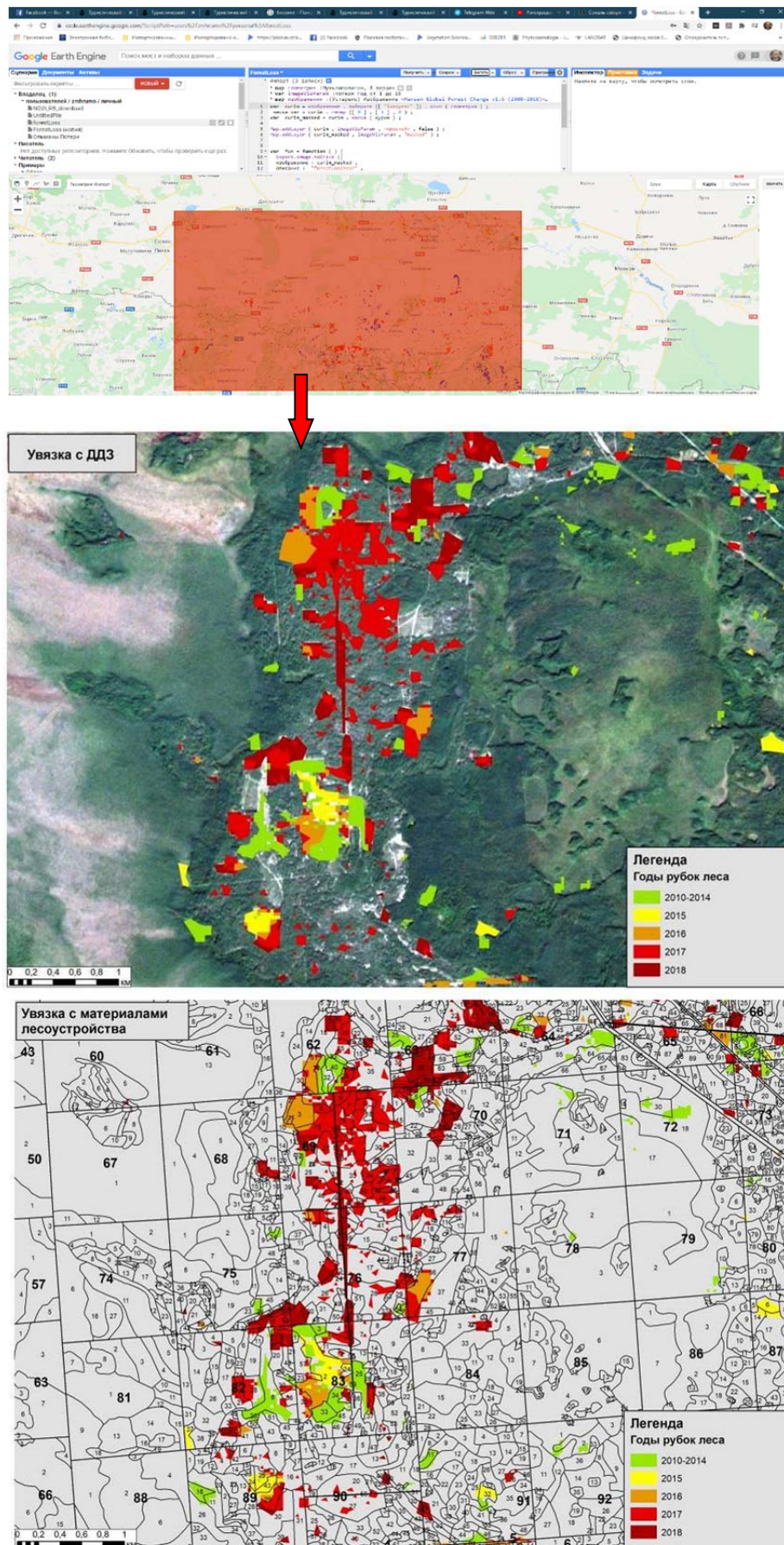


Рисунок 6.45 – Увязка материалов проекта Global Forest Change с материалами лесоустройства и данными дистанционного зондирования (источник: <https://code.earthengine.google.com>)

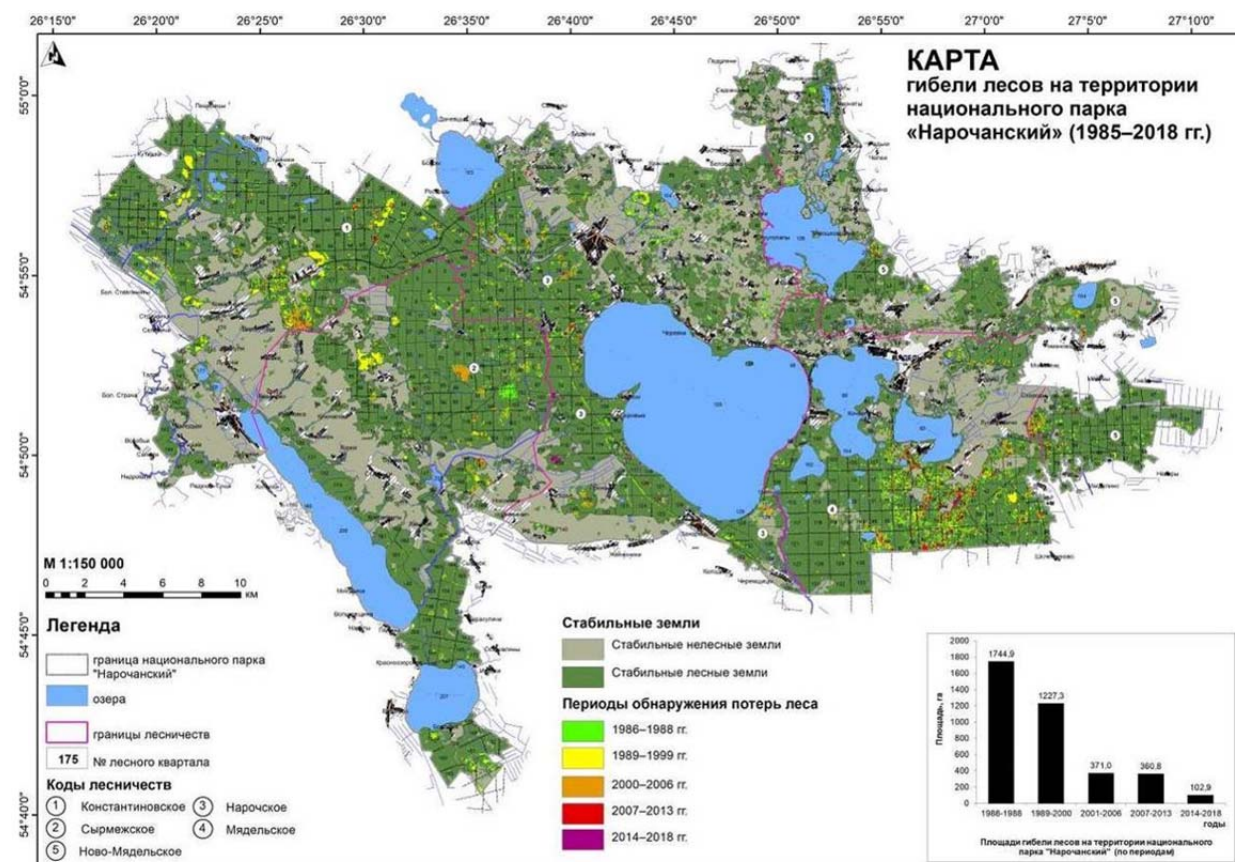
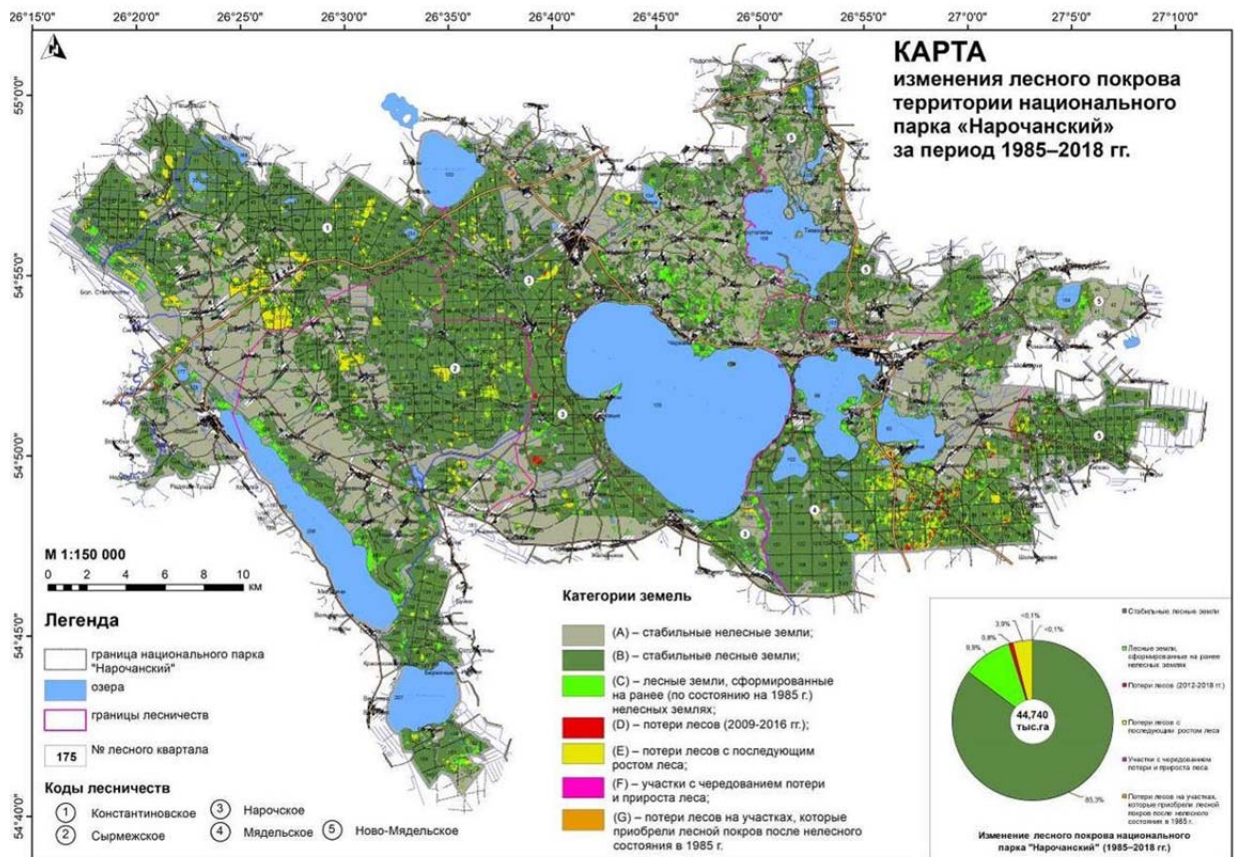


Рисунок 6.46 – Использование данных Global Forest Watch 2.0 для составления тематических карт динамики лесного растительного покрова национального парка «Нарочанский» за период 1985–2018 гг.

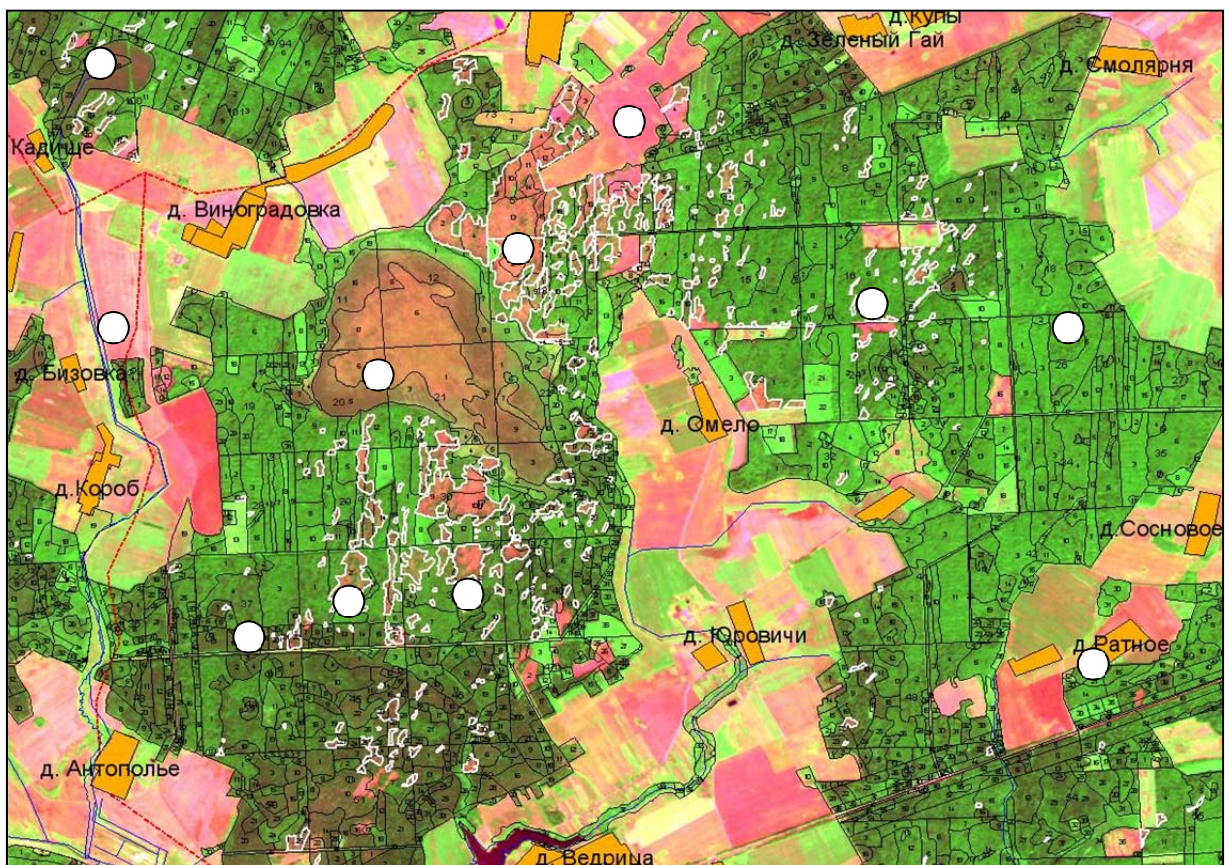
6.5.4 Воздействие аномальных природных явлений, лесопатологический мониторинг

При проведении дистанционного лесопатологического слежения на локальном уровне в первую очередь получают пространственную картину распределения и оценку площади погибших насаждений в результате вредного воздействия биотических и абиотических факторов среды (Жирин, 2004; Жирин, Лебедева, 2006; Шаталов, 2006).

Массовая гибель лесных насаждений часто бывает связана с воздействием шквалистых или ураганных ветров. При их обследовании наиболее точно ущерб от воздействия ураганных ветров может быть определен при дешифрировании аэрофото- или космических снимков высокого разрешения.

Свежие погибшие насаждения довольно хорошо определяются при дешифрировании аэрофотоснимков или космических снимков высокого разрешения. Например, на синтезированном космоснимке ALOS AVNIR (рисунок 6.47) изображены буреломные участки через 1,5 месяца после урагана. За этот период листва поваленных и сломанных деревьев изменила окраску, и красноватый цвет изображения хорошо отличается от не пострадавших насаждений.

Массовая гибель лесных насаждений часто бывает связана с воздействием шквалистых или ураганных ветров. При их обследовании наиболее точно ущерб от воздействия ураганных ветров может быть определен при дешифрировании аэрофото- или космических снимков высокого разрешения.



Коды объектов: 1 – ветровалы; 2 – лесные неповрежденные земли;
3 – верховые болота; 4 – сельскохозяйственные земли

Рисунок 6.47 – Изображение участков ветровала на синтезированном космическом снимке (Червенский район, материалы космической съемки ALOS AVNIR дата съемки 19.07.2009)

На рисунке 6.48 показаны результаты автоматизированной классификации участков лесов с целью определения площадей пострадавших лесов от массового размножения насекомых-вредителей, ущерба в виде потерь древесины и обновления лесных карт. Измеряемые параметры: степень дефолиации древостоев, оценка нанесенного ущерба, размеры поврежденных территорий.

На рисунке 6.49 представлен фрагмент авиаснимка с изображением погибших лесов, пострадавших при массовом размножении рыжего соснового пилильщика в национальном парке «Нарочанский».

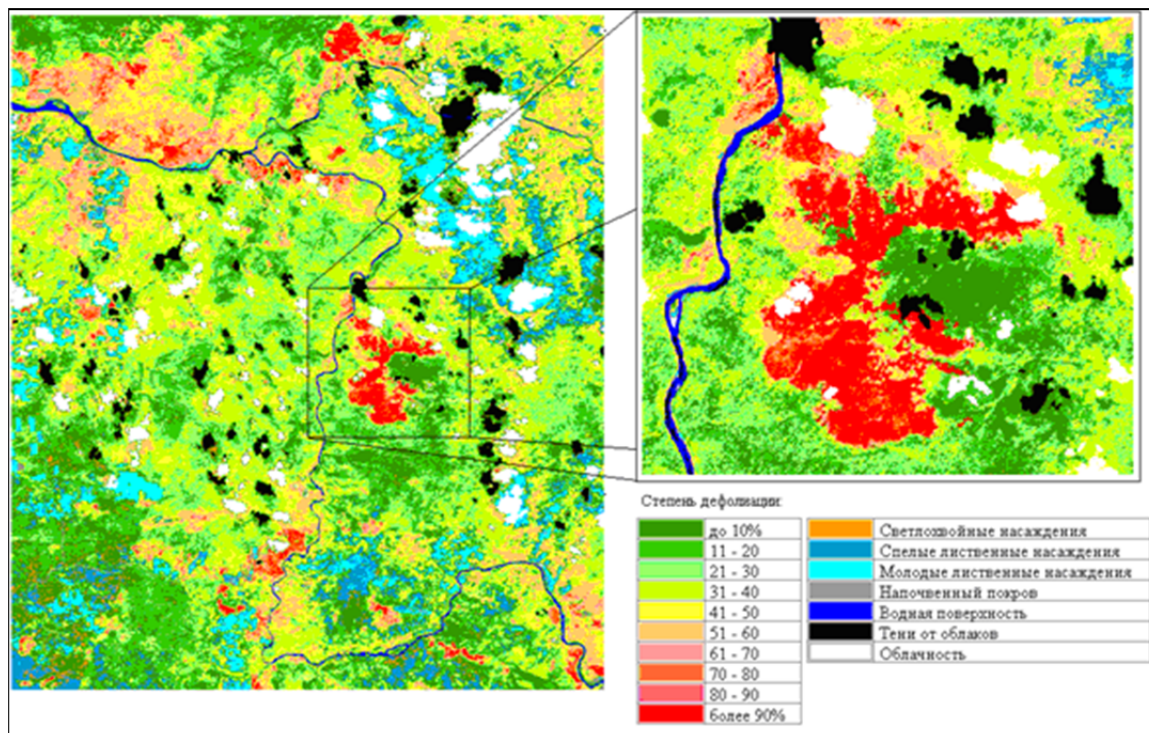


Рисунок 6.48 – Автоматизированная классификация спутниковых снимков с целью определения площадей пострадавших лесов от массового размножения насекомых вредителей



Рисунок 6.49 – Фотоизображение погибших лесов при массовом размножении рыжего соснового пилильщика в национальном парке «Нарочанский»

Также достаточно хорошо выделяются погибшие насаждения в результате экзогенного воздействия катастрофического характера: подтопление, экстремально высокие или низкие температуры, короткие по продолжительности воздействия поллютантов высокой концентрации, инвазии энто- и эпифитотии фитовредителей (рисунок 6.50).

Также для предварительной оценки интенсивности повреждения лесов можно использовать данные Global Forest Change – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (см. раздел 6.5.3).

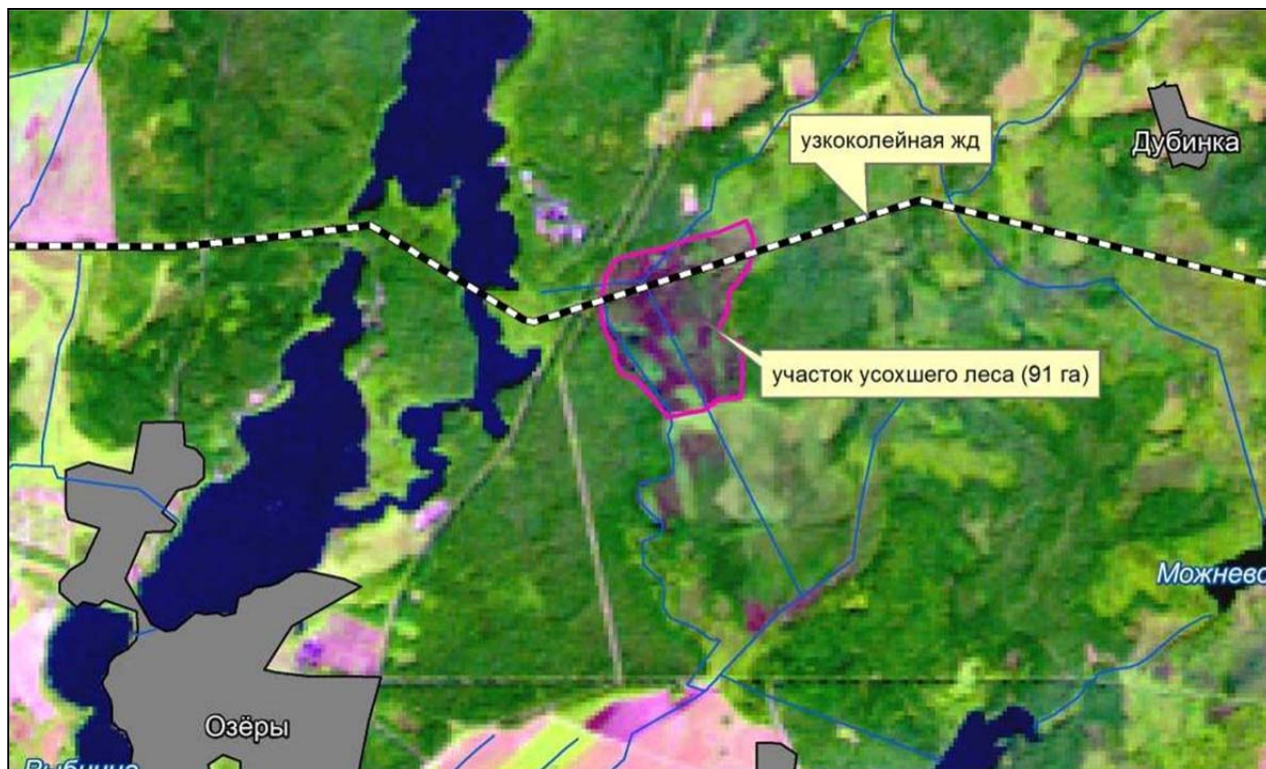


Рисунок 6.50 – Пример выявления погибших насаждений вследствие нарушения функционирования узкоколейной железной дороги (территория республиканского заказника «Озёры», Гродненская область, материалы космической съемки Landsat 7, дата съемки 14.06.2012)

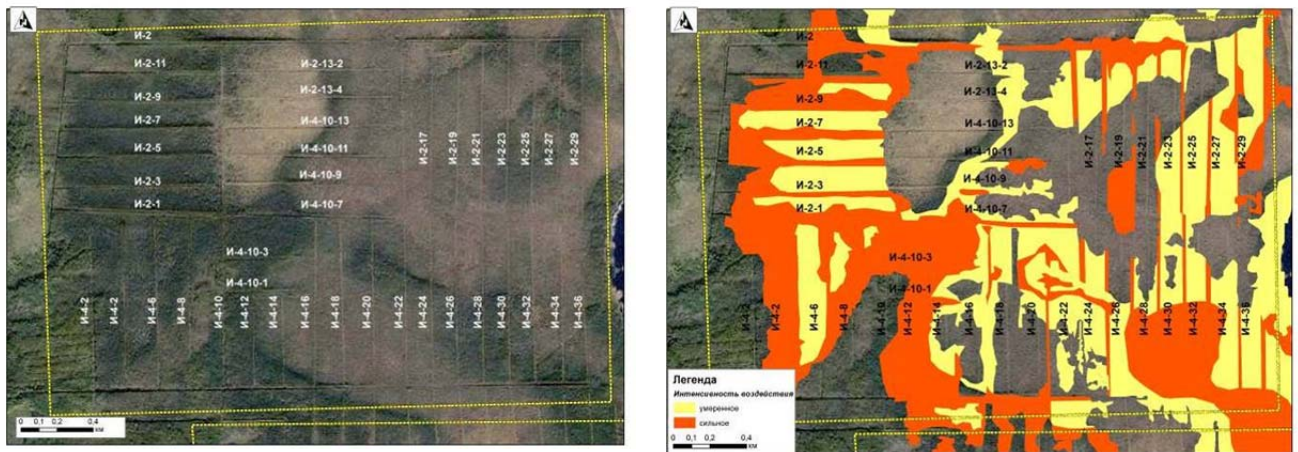
6.5.5 Гидротехническая мелиорация

Влияние гидротехнической мелиорации достаточно хорошо прослеживается на облесенных болота. Выделение зон влияния возможна, методами визуального и автоматизированного дешифрирования.

При *визуальном дешифрировании* основными признаками на космоснимках являются: а) выраженная сеть каналов; б) тон снимка (RGB-синтез) темно-коричневый или темно-зеленый (при различных яркостных преобразованиях) по сравнению с прилегающими территориями болота (рисунок 6.51а).

Также перспективными являются методы неконтролируемой (рисунок 6.51б) и контролируемой автоматизированной классификации синтезированного мультиспектрального изображения (рисунок 6.52).

Вместе с тем, следует признать, что визуальное дешифрирование не в полной мере позволяет оценить масштабы влияния гидротехнической мелиорации. Поэтому для более детальной оценки нами разработаны более чувствительные методы скрининга влияния осушения на природные экосистемы.



А – космический снимок зоны влияния мелиорации

Б – автоматизированная (неконтролируемая) классификация участков, подверженных мелиорации

Рисунок 6.51 – Дешифрирование зоны влияния гидротехнической мелиорации на территории ООПТ (республиканский заказник «Жада»)

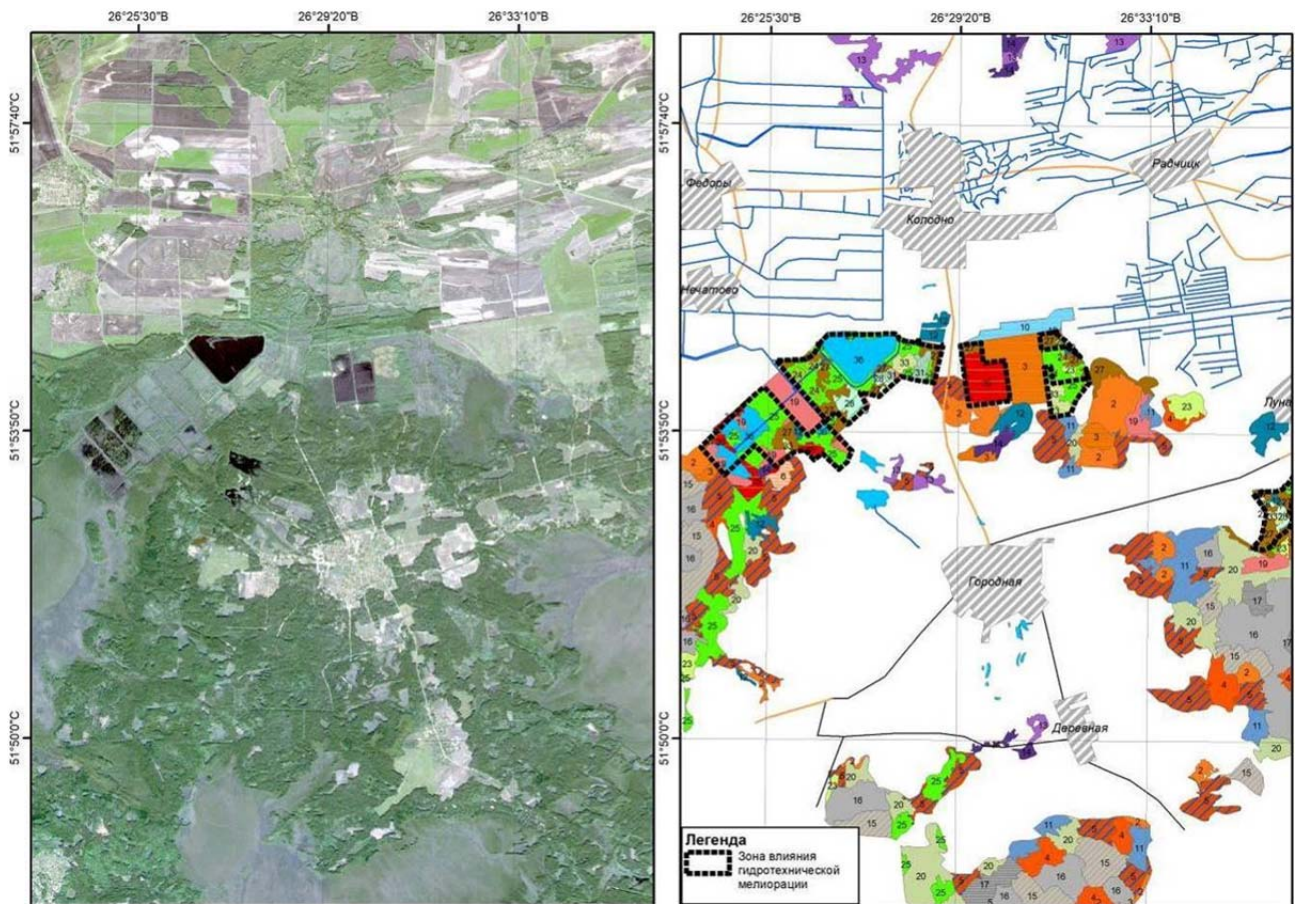


Рисунок 6.52 – Проведение автоматической контролируемой классификации нарушенных торфяников с определением зоны влияния гидротехнической мелиорации

Оценка изменений проводилась с использованием данных разновременной спутниковой съемки (метод: получение многовременных индексов). При этом в качестве индикатора возможных смен нами использовался нормализованный разностной индекс растительности (NDVI).

В своих теоретических предположениях мы исходили из-то, что многолетний тренд увеличения (уменьшения) NDVI маркирует «аномальные» зоны с тенденцией

увеличения (уменьшения) продуктивности растительных сообществ. Данная тенденция для болот может быть напрямую связана с трансформацией гидрологического режима природного комплекса.

В качестве индикаторного показателя динамики использовалось относительное изменение медианы для выборки значений NDVI (июль-август) за период 2014-2018 гг. к таковому за 1984-1988 гг. Достоверность различий между выборками оценивалась с использованием U-критерия Манна-Уитни. Исходными данными служили сцены за соответствующие периоды из коллекций Landsat 5 SR и Landsat 8 SR, получение и обработка которых выполнялась с использованием платформы облачных вычислений Google Earth Engine (рисунок 6.53).

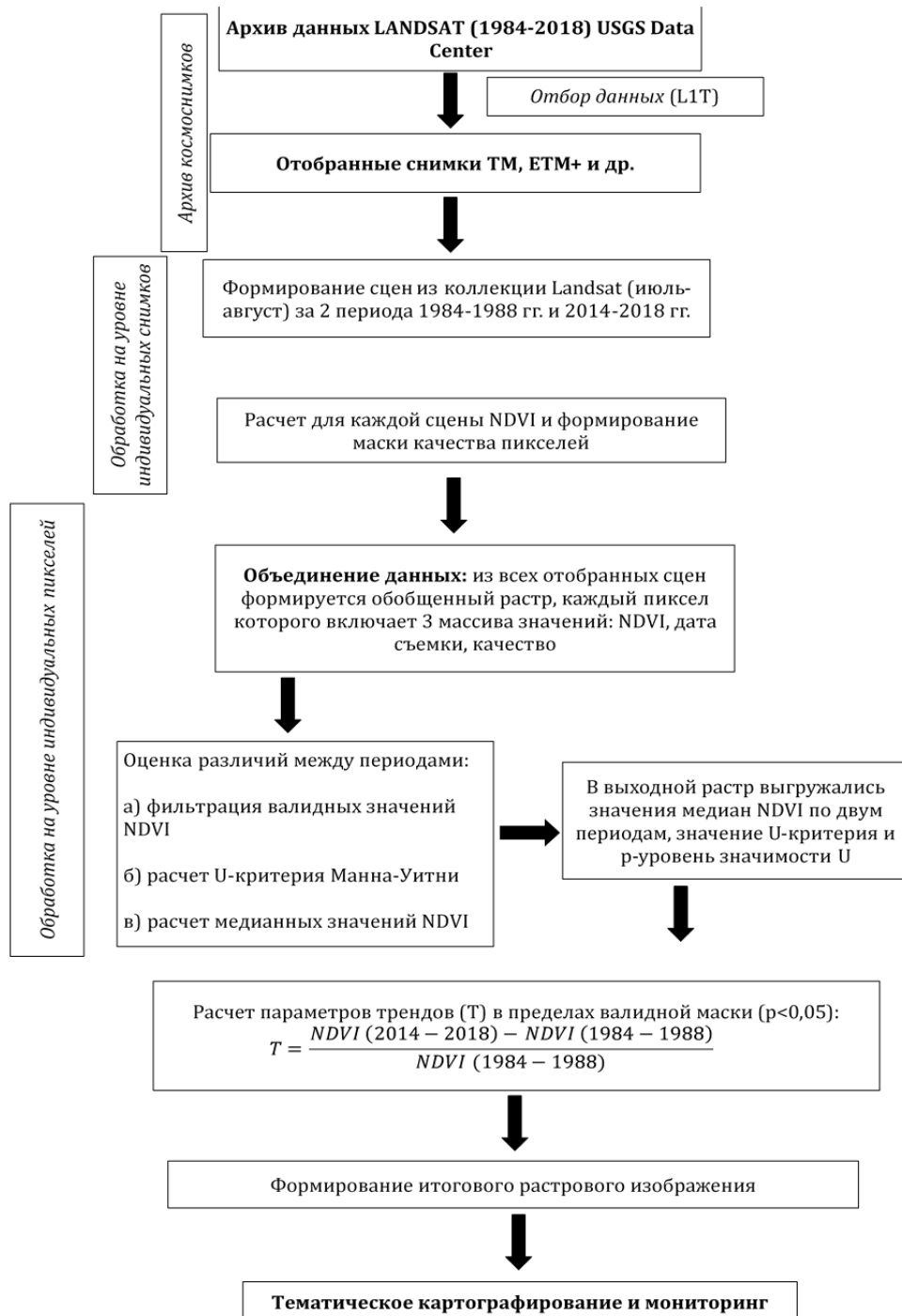


Рисунок 6.53 – Алгоритм обработки архива космических снимков Landsat для оценки влияния гидротехнической мелиорации на природные экосистемы

На основе анализа результатов исследования выделялись проблемные участки с изменением NDVI за 34-летний период 50–180% (рисунок 6.54, проблемные участки отмечены красным и оранжевыми цветами).

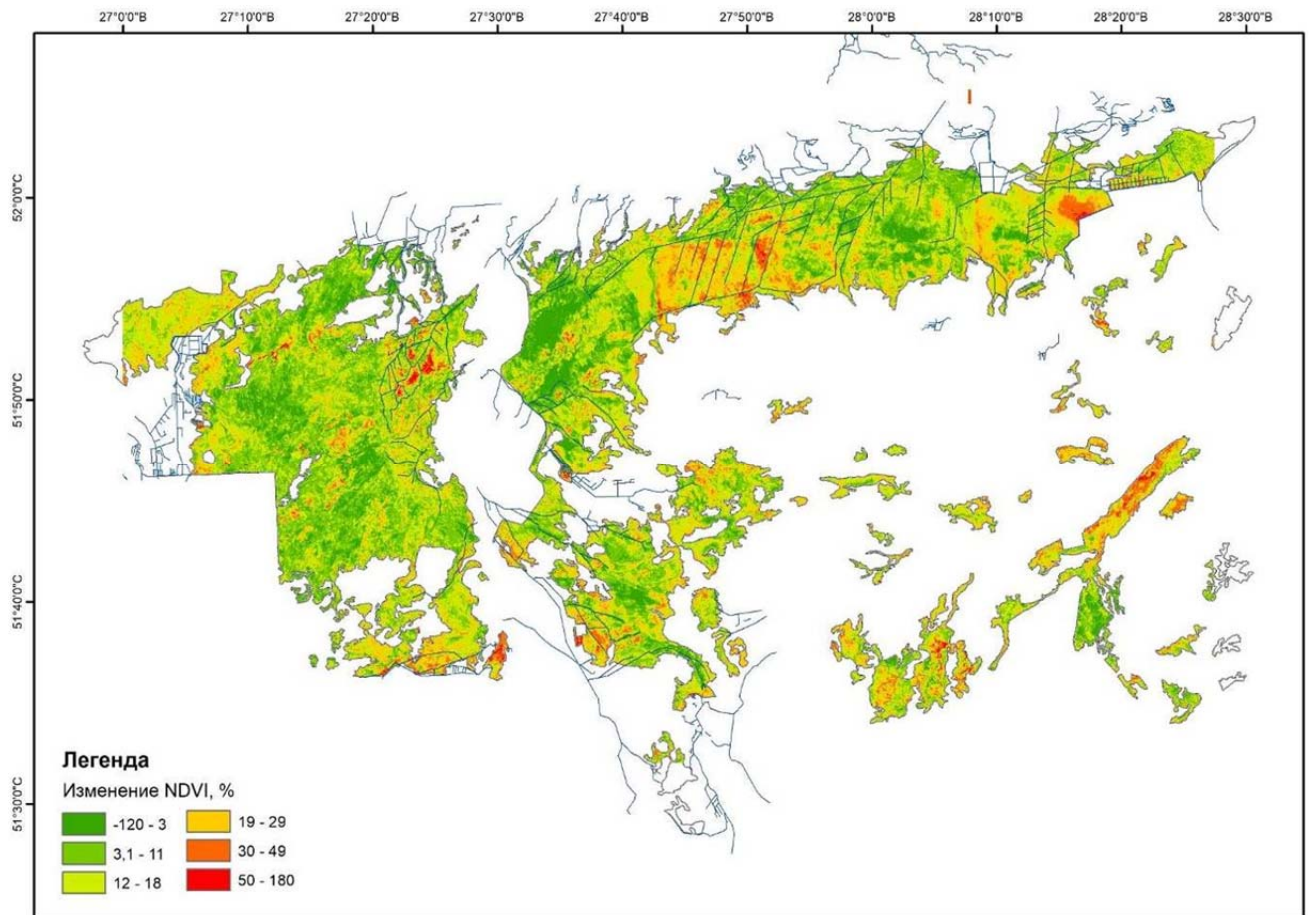


Рисунок 6.54 – Тренд изменения значения вегетационного индекса NDVI за 34 летний период (1984-2018 гг.)

Определение современных зон влияния мелиоративных каналов по данным дистанционного зондирования. В качестве исходных данных использованы:

- векторный или растровый слой линейной сети (гидромелиоративная сеть),
- растр-индикатор (NDVI (медиана) по данным Sentinel-2 за период 15.05.2017-15.09.2017 (рисунок 6.55)).

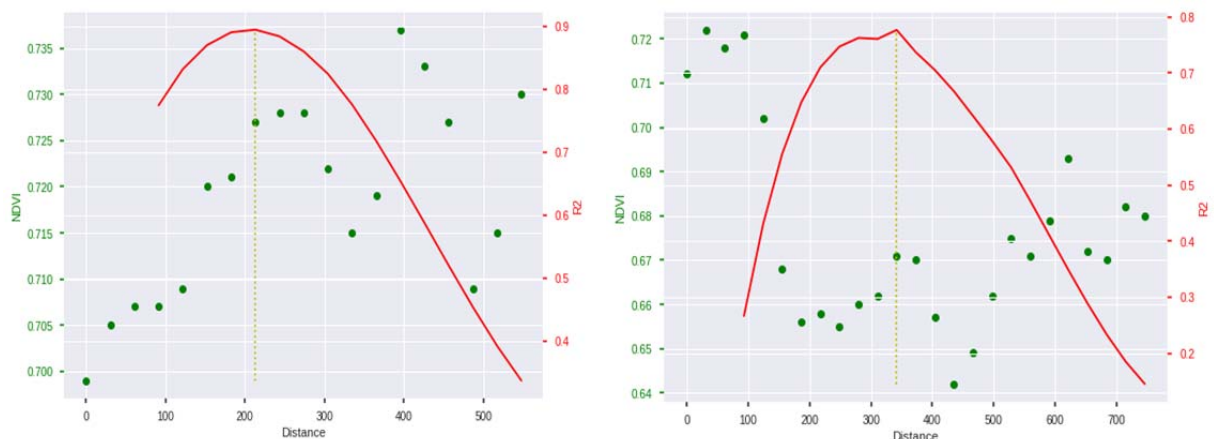


Рисунок 6.55– Изменение значения NDVI с расстоянием от мелиоративных каналов

Работа состояла из следующих этапов:

1. Генерируется растр расстояний до объектов линейной сети, значения которого соответствуют кратчайшему расстоянию до ближайшей валидной точки сети.

2. Для каждой точки линейного объекта определяются азимуты (по двум направлениям), указывающие направление перпендикуляров к данной точке.

3. Для каждого азимута производится выборка пар значений ДИСТАНЦИЯ – ИНДИКАТОР в пределах контура прямоугольника, длинной стороной ориентированного по азимуту, и опирающегося на текущую точку серединой короткой стороны. В нашем случае длина равна 300 м, ширина – 30 м (3 пикселя исходного изображения).

4. Выборка всех пар значений упорядочивается по возрастанию значения ДИСТАНЦИЯ и начиная с некоторого n (9 в нашем случае) до N , равного размеру выборки с шагом i ($=3$), формируются подвыборки пар значений, у которых $ДИСТАНЦИЯ \leq ДИСТАНЦИЯ_n$, для каждой из которых рассчитываются параметры линейной аппроксимации.

5. Для сглаживания шумов ряд значений $R2$ сглаживался фильтром Савицкого-Голея. ДИСТАНЦИЯ, для которой $R2$ оказывается максимальным, принимается как определяющая зону влияния (предварительно).

6. Выборки пар для каждой точки по обоим азимутам объединяются и для этой объединенной выборки так же рассчитывается линейное приближение.

7. Для тех точек, для которых выполняется условие

$$\neg (R2_{азимут1} > 0.7 \wedge R2_{азимут2} > 0.7 \wedge R2_{общий} > 0.7)$$

для каждого азимута с $R2 > 0.7$ строится луч длиной, определенной на шаге 5 со значениями, равными k (угол наклона линии регрессии).

На основе расчётов построена карта современных зон влияния мелиоративных каналов (рисунок 6.56), в которой длина луча интерпретируется как дальность зоны влияния, а значение как изменение показателя на единицу длины.

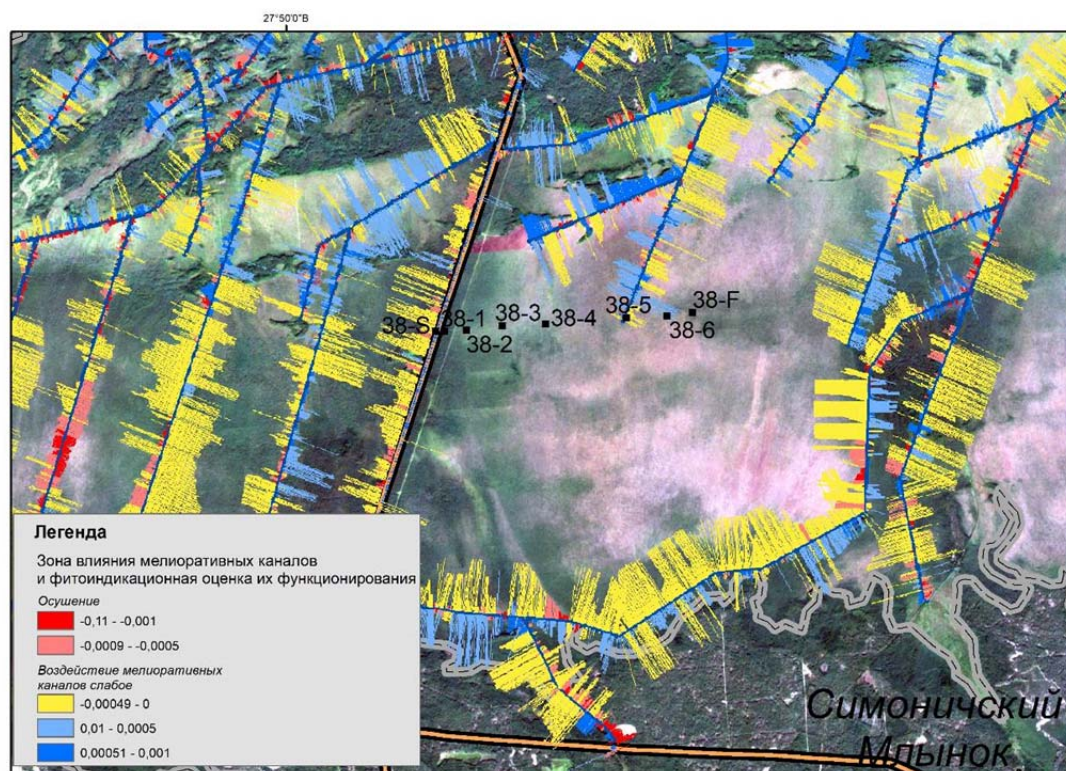


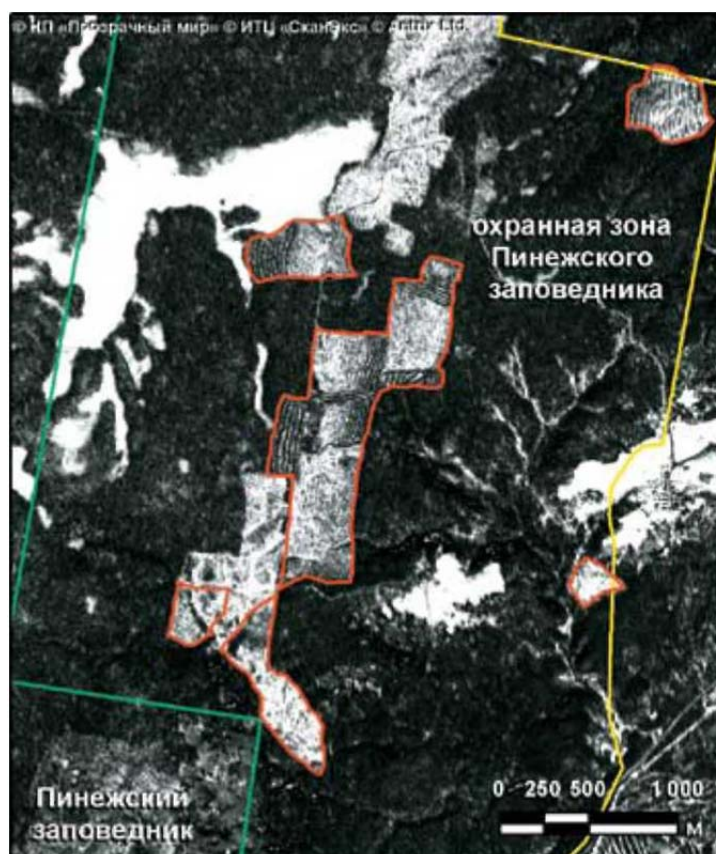
Рисунок 6.56 – Фитоиндикационная оценка функционирования мелиоративных каналов (национальный парк «Припятский», 2018 г.)

6.5.6 Изменение землепользования, нецелевое использование земель

С учетом того, что данная проблематика достаточно богата сюжетами для дистанционного мониторинга алгоритм решения принимаются в каждом конкретном случае. Рассмотрим некоторые примеры применения средств ДДЗ.

Нарушения правового режима ООПТ. Примером данного типа нарушений является: а) проведение сплошных рубок на участках где они запрещены в пределах охранных зон заповедников, национальных парков, заказников; б) гибель насаждений в результате нарушений хозяйственного использования земель (рисунок 6.57).

Кроме этого, анализ сопоставление карт плановых и фактически выполненных хозяйственных и природоохранных мероприятий на территории ООПТ позволяет составить карты и сводные ведомости нарушений хозяйственной и природоохранной деятельности.



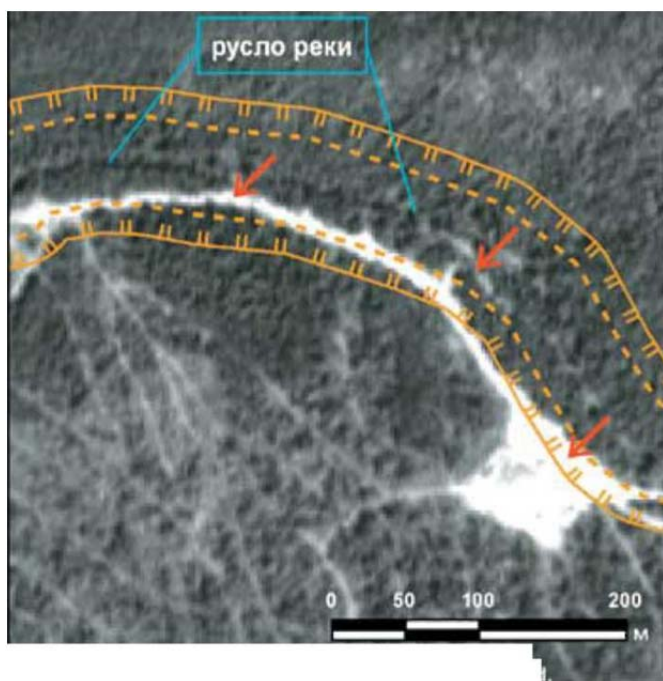
Снимок IRS-P5 PAN, апрель 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м (по данным Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009)

Рисунок 6.57 – Пример выявления сплошной вырубке на территории охранной зоны Пинежского заповедника (Архангельская область Российская Федерация)

Нарушения правового режима водоохранных зон и особо защитных участков леса (берегозащитных полос). Мониторинг проведения рубок в водоохранных зонах и особо защитных участках леса (берегозащитных полос) актуальная проблема. В пределах водоохранных зон водотоков запрещается проведение сплошных рубок, а в пределах берегозащитных полос – движение трелёвочных тракторов. Высокоточные снимки с пространственным разрешением 2,5 м и выше позволяют выявить данный тип нарушений, т.к. на столь детальных снимках хорошо просматриваются русла ручьёв и небольших рек. Это позволяет (с помощью ГИС) построить вдоль русел буферные водоохранные зоны и берегозащитные полосы заданной ширины и, соответственно, выявить факты рубок в водоохранной зоне (рисунок 6.58).

Превышение предельно допустимых параметров лесосек. По данным космической съёмки высокого разрешения можно надёжно определять такие нарушения правил заготовки древесины, как превышение предельно допустимой площади, ширины лесосеки и нарушение сроков примыкания лесосек (рисунок 6.59).

Применение в качестве основы для мониторинга различных типов космической съёмки обладает рядом особенностей. Данные SPOT имеют относительно большой размер сцены (60х60 км), но выявлять по ним можно лишь явные и грубые нарушения, в первую очередь допущенные при проведении сплошных рубок: наличие рубки вне отвода, сплошные рубки в защитных лесах, сплошные рубки в пределах водоохранных зон крупных рек. При этом пространственное разрешение снимков находится на границе допустимого для выявления.



Снимок IRS-P5 PAN, июнь 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м. Стрелками показаны нарушения: лесная дорога и волок находятся в пределах берегозащитной полосы, погрузочная площадка находится в пределах водоохранной зоны

Рисунок 6.58 – Выявление нарушений водоохранного режима реки при проведении выборочных рубок (по данным Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009)



Площадь лесосек, помеченных стрелками, превышает предельно допустимую на 10 га и более. Снимок SPOT-2 MONO, сентябрь 2008 г., пространственное разрешение 10 м (по данным по данным Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009)

Рисунок 6.59 – Превышение предельно допустимой площади лесосек (по данным Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009)

Дистанционный мониторинг незаконных рубок. Борьба с незаконными рубками на сегодняшний день не является одной из важнейших задач, однако, наличие в арсенале методов оперативной ревизии лесного фонда страны, является надежным инструментом профилактики подобных нарушений законодательства.

Схема выполнения работ включает 5 этапов: 1) подготовительные работы (создание (анализ) базы данных лесосек); 2) обработка космических снимков; 3) дешифрирование материалов космической съёмки и анализ разрешительных документов (измерение площадей лесосек, выявление нарушений, формирование ведомости нарушений, расчет ориентировочной суммы вреда в денежном эквиваленте); 4) про-

ведение выборочной полевой проверки; 5) составление итоговой карты и ведомости нарушений лесного законодательства

Подготовительные работы включают обработку разрешительных документов: проектов освоения лесов, лесных деклараций, лесорубочных билетов, абрисов лесосек.

Информация, содержащаяся в разрешительных документах, является основной базы данных мониторинга, для создания которой осуществлялись: сканирование; привязка планшетов и абрисов лесосек; добавление атрибутивной информации о лесосеках.

Дешифровочные работы осуществляются визуально-интерактивным или автоматизированными методами. В процессе анализа проводилось измерение площадей лесосек, выявление нарушений, формирование ведомости нарушений, расчет ориентировочной суммы вреда в денежном эквиваленте. Незаконно вырубленные лесосеки формируются в отдельный векторный слой.

Выборочная полевая проверка проводится с применением GPS и в количестве не менее 3% от числа лесосек с выявленными нарушениями лесного законодательства.

Материалы анализа также достаточно легко увязываются с другими объектами (размещение особо охраняемых природных территорий, редкие и типичные биотопы, водоохранные зоны и т.д.) (рисунок 6.60). Причем использование архивной съемки позволяет оценить результаты хозяйственной деятельности в ретроспективной форме.



Рисунок 6.60 – Пример увязки данных о рубках леса с границами трансграничных особо охраняемых природных территорий

Заращение болот. В течении последних десятилетий в результате нарушения гидрологического режима, изменения характера землепользования (прежде всего

прекращение сенокосения), а также естественных природных процессов на территории болот произошла существенная трансформация структуры земельного фонда (рисунк 6.61).

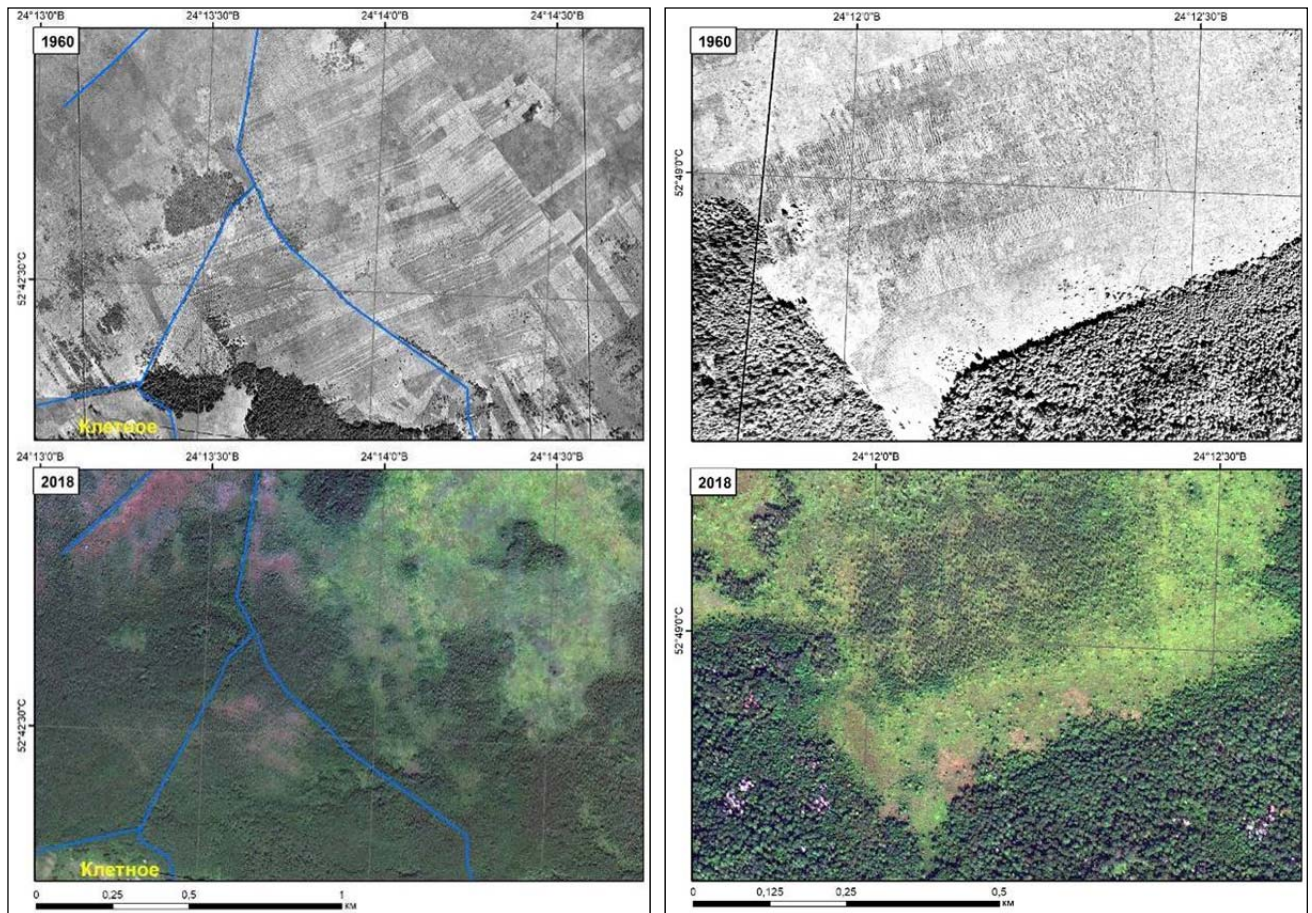
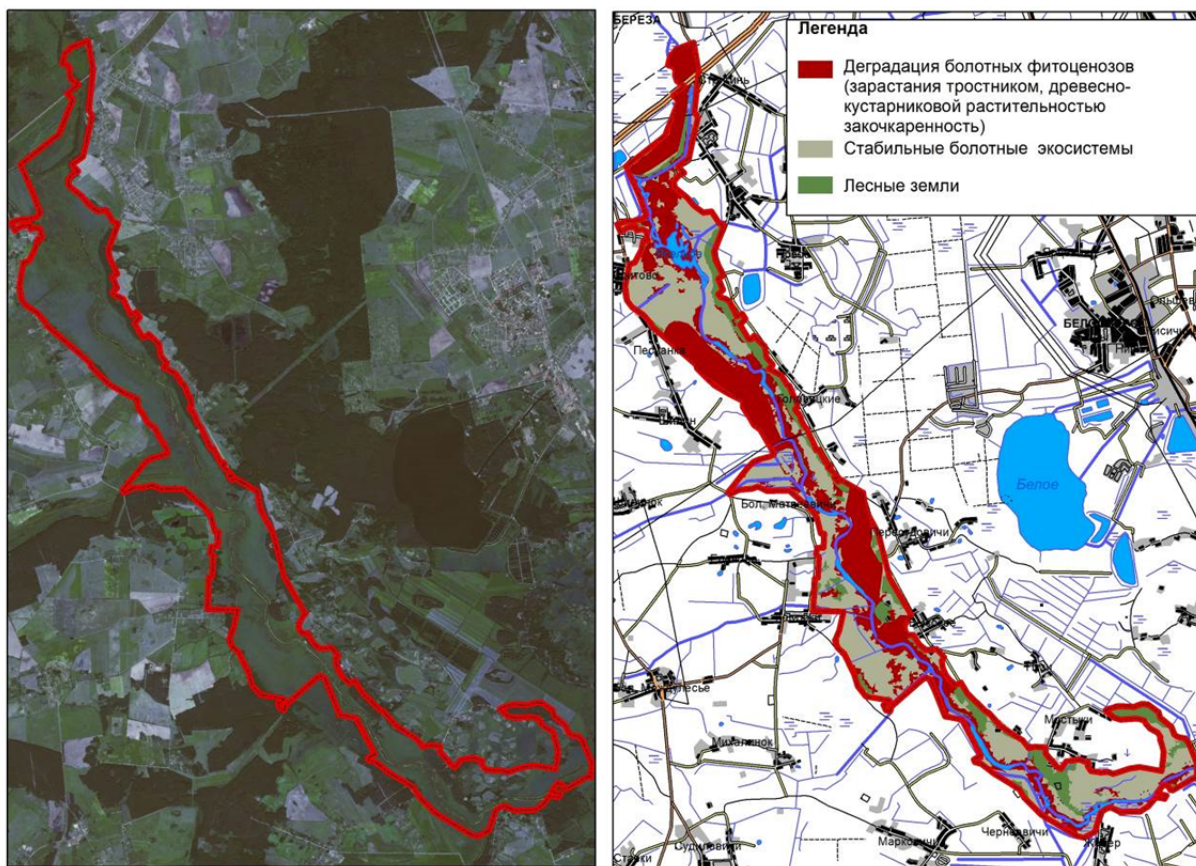


Рисунок 6.61 – Трансформация земель Рамсарской территории «Болото Дикое» в результате зарастания древесно-кустарниковой растительностью участков открытых травяных болот (1960-2018 гг.)

Зарастание болот детектируется методами визуального (рисунок 6.62) и автоматизированного дешифрирования.

Объекты хозяйственной деятельности (карьеры, свалки мусора) выявляются путем сопоставления разновременных снимков среднего и высокого разрешения (рисунок 6.63).

Динамика земель. На основе подходов к созданию временных серий изображений возможно картографическое отображение динамики растительного покрова (экосистем) особо охраняемых природных территорий (рисунки 6.64, 6.65).



А – республиканский заказник «Споровский»



Б – республиканский заказник «Званец»

Рисунок 6.62 – Проведение автоматической контролируемой классификации нарушенных болот с определением зоны

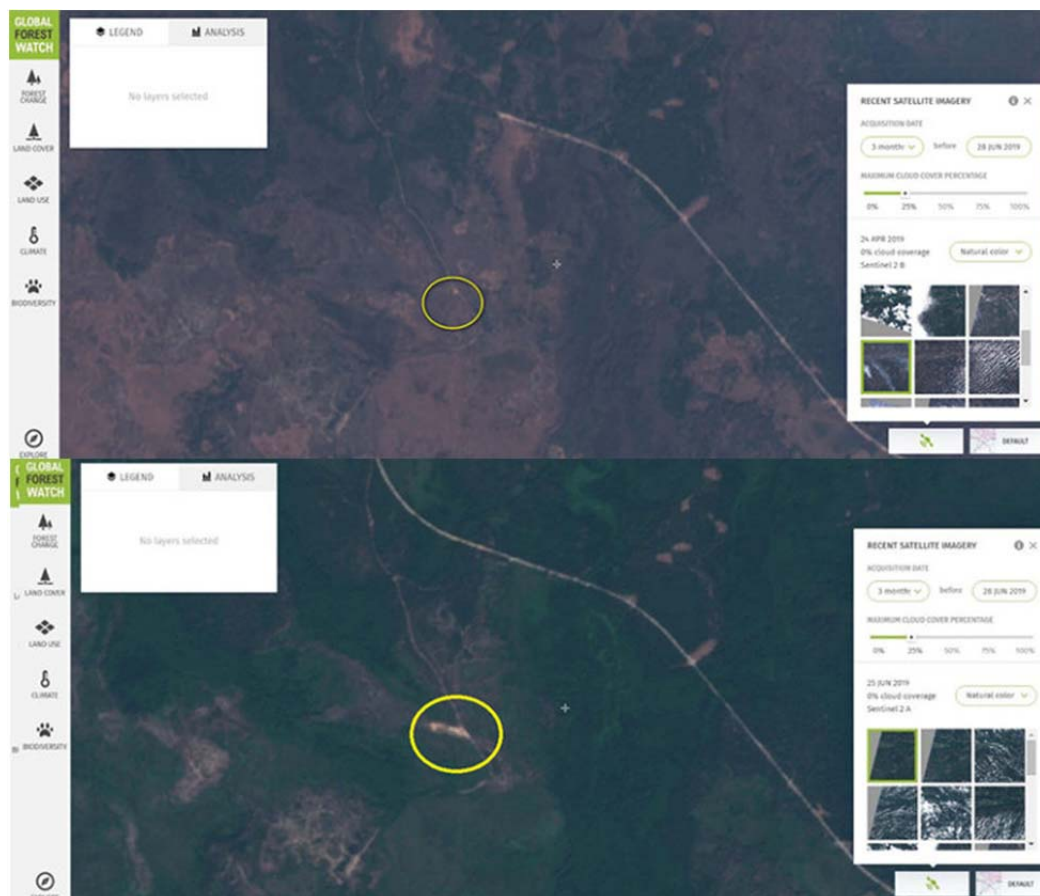


Рисунок 6.63 – Выявление карьера на территории республиканского заказника «Ольманские болота» путем визуального сопоставления снимков Sentinel-2, сделанных в апреле и июне 2019 г. (<https://www.globalforestwatch.org/map>)

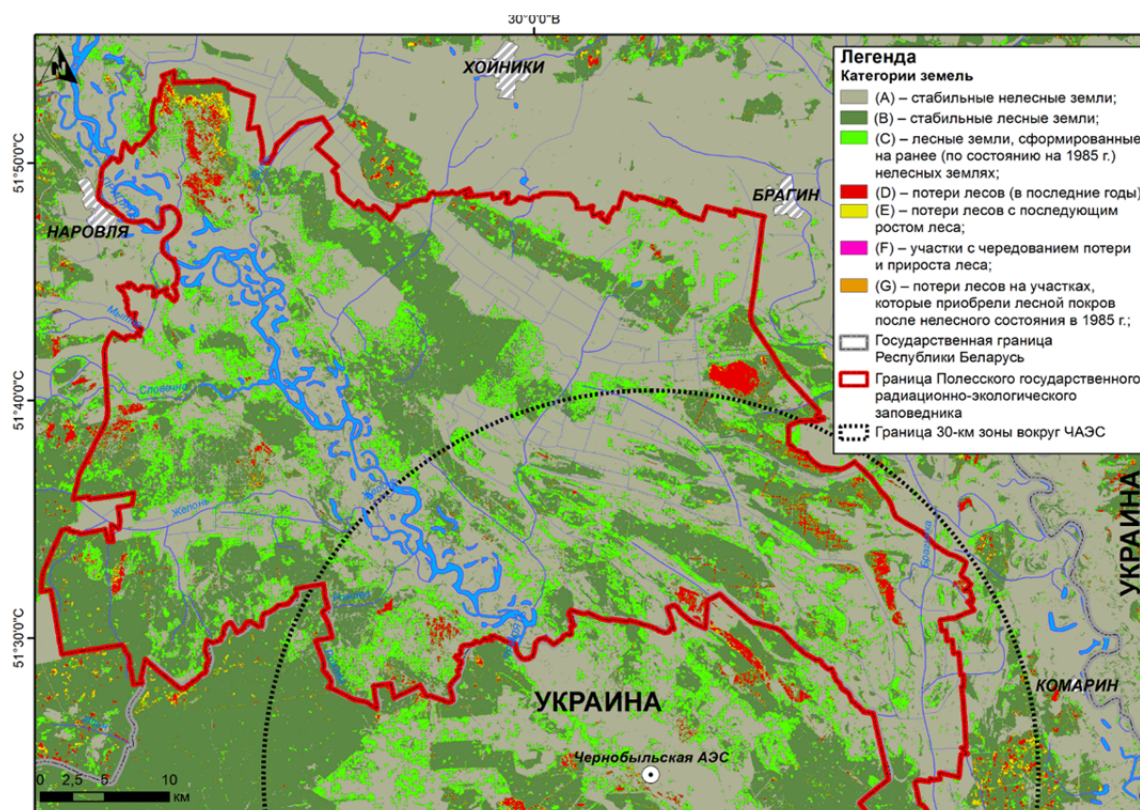


Рисунок 6.64 – Изменение лесного покрова Полесского радиационно-экологического заповедника за период 1985-2012 гг.

Рисунок 6.65 – Карта динамики растительного покрова национального парка «Беловежская пуща»

6.5.7 Биологическое загрязнение

При дистанционном мониторинге биологического разнообразия наиболее актуальной является учет распространения инвазивных видов в природных экосистемах. В настоящее время применение аэрокосмоснимков в практике инвазий все еще находится на экспериментальной стадии, однако ожидается, что это направление будет быстро расширяться. Удачный опыт применения есть для ограниченного количества инвазивных видов (борщевик Сосновского, золотарника канадского, эхиноцистиса лопастного). Такие работы возможны прежде всего с применением высокодетальных съемок (с разрешением <2 м), поскольку применение космической съемки среднего разрешения (2–10 м) для этих целей резко ограничено (рисунок 6.66).

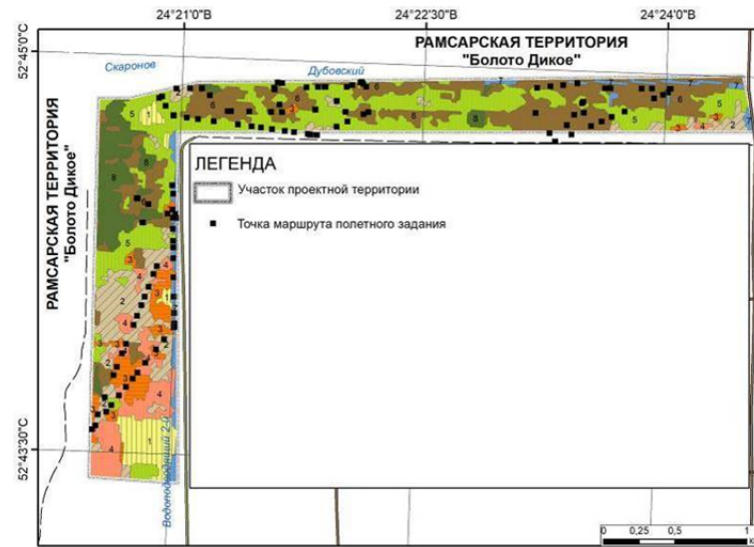


Рисунок 6.66 – Информативные возможности применения аэрокосмических снимков для мониторинга распространения эхиноцистиса лопастного

Схема выполнения работ включает 5 этапов (рисунок 6.67): 1) определение потенциальных мест распространения инвазивных видов растений (бывшие сельскохозяйственные земли, селитебные территории, пустыри, нарушенные торфяники, закусаренные прибрежные полосы рек); 2) составление полетного задания для БПЛА или приобретение со сверхвысоким пространственным разрешением; 3) полевая съемка (с использование БПЛА) и наземное обследование в сроки цветения (таблица 6.9); 4) обработка материалов съемки БПЛА (построение полигональной поверхности); 5) составление итоговой карты распространения инвазивного вида.

Таблица 6.9 – Сроки цветения инвазивных видов растений

Растение	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Борщевик Сосновского						+	+					
Золотарник канадский							+	+	+			
Эхиноцистис лопастной							+	+	+			



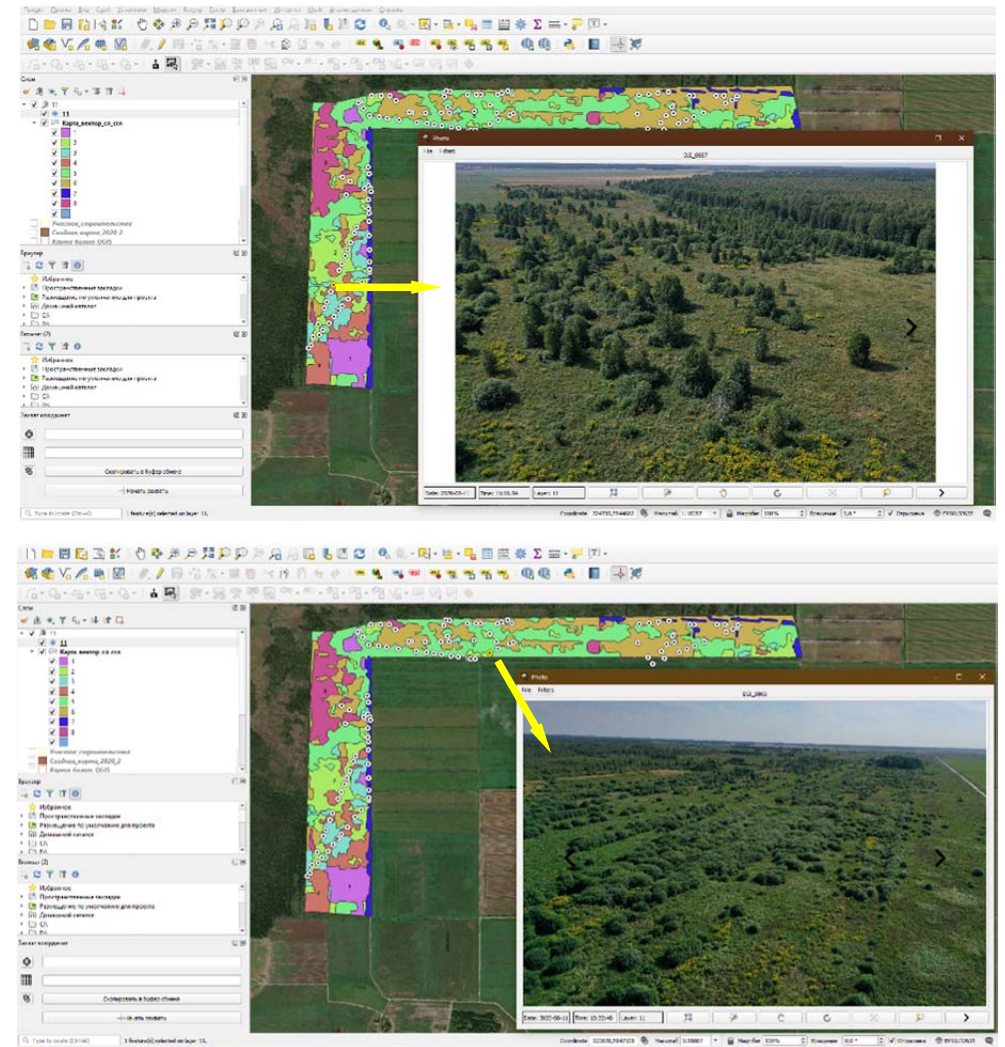
Типы растительных сообществ

Сухотальные луга

- Сенные луга (*Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis*, *Poa pratensis*), иногда с подсевом *Raphanus sativus* var. *oleifera*
- Дачающие (*Urtica dioica*, *Anthriscus sylvestris*, *Carduus crispus*, *Bidens tripartita*) участки разнотравно-злаковых лугов (*Elytrigia repens*, *Phleum pratense*, *Holcus lanatus*, *Alopecurus pratensis*, *F. rubra*, *Agrostis tenuis*, *A. stolonifera*, *Galium mollugo*, *Linaria vulgaris*, *Achillea millefolium*, *Potentilla anserina*), зарастающие древесно-кустарниковой растительностью (*Betula pendula*, *Salix cinerea*, *Malus sylvestris*)
- Зарастающие *Solidago canadensis* (10-25%) бывшие сеннокошечные участки разнотравно-злаковых лугов (*Elytrigia repens*, *Poa pratensis*, *Agrostis tenuis*, *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus*, *Phalaroides arundinacea*, *Galium mollugo*, *Linaria vulgaris*, *Angelica sylvestris*, *Juncus effusus*) лугов с редкой (15-30%) древесно-кустарниковой растительностью
- Густые (60-80%) заросли *Solidago canadensis*, монодоминантные, либо вместе с *Artemisia vulgaris*, *Carduus crispus*, в сочетании с древесно-кустарниковой растительностью (*Betula pendula*, *Salix cinerea*, *Malus sylvestris*)
- Понижения, занятые *Phalaroides arundinacea*, *Calamagrostis canescens*, *Deschampsia cespitosa*, нередко с участком *Carduus crispus*, *Urtica dioica*, *Anthriscus sylvestris*, *Galeopsis tetrahyx* иногда с *Salix cinerea*
- Канавы, каналы, по руслу активно зарастающие *Glyceria maxima*, *Typha latifolia*, *Phragmites australis* по откосам *Phalaroides arundinacea*, *Bromus inermis* с *Urtica dioica*, *Cirsium arvense* и *Carduus crispus*, иногда с *Salix cinerea*

Кустарники, мелколесья, леса

- Кустарники (*Salix cinerea*) и лиственное (*Betula pendula*, *Salix cinerea*) в сочетании с оосово-вейниково-болотнотравным мелколесьем (*Carex cinerea*, *Calamagrostis canescens*, *Urtica dioica*, *Lycopus europaeus*, *Lysimachia vulgaris*, *Juncus conglomeratus*)
- Лиственные (*Betula pendula*, *B. pubescens*, *Salix cinerea*, *Populus tremula*) болотно-травяные (*Bidens* spp., *Thelypteris palustris*, *Phalaroides arundinacea*, *Urtica dioica*, *Lycopus europaeus*, *Lysimachia vulgaris*) леса



А – определение полетного задания БПЛА

А – обработка материалов съемки БПЛА

Рисунок 6.67 – Этапы мониторинга распространения инвазивных видов с использованием беспилотного летального аппарата

6.5.8 Рекреация

Оценка воздействия рекреации на природные экосистемы (негативные последствия: механические повреждения деревьев и кустарников, выжигание напочвенного покрова на пикниковых полянах, замусоривание, пожары и т.д.) на основе исключительной данных дистанционного зондирования ограничена.

В настоящее время перспективен комплексный подход, где материалы аэрокосмической съемки используются для определения концентрации мест отдыха, проектирования маршрута исследований. Для целей исследования целесообразно использовать аэрофотосъемку (рисунок 6.68) либо высокодетальные (0,3–0,5 м) спутниковые данные. В наземных исследованиях снимается комплекс показателей и составляются итоговые карты (рисунок 6.69) рекреационной дигрессии экосистем ООПТ (Растительность и биотопы ..., 2017).

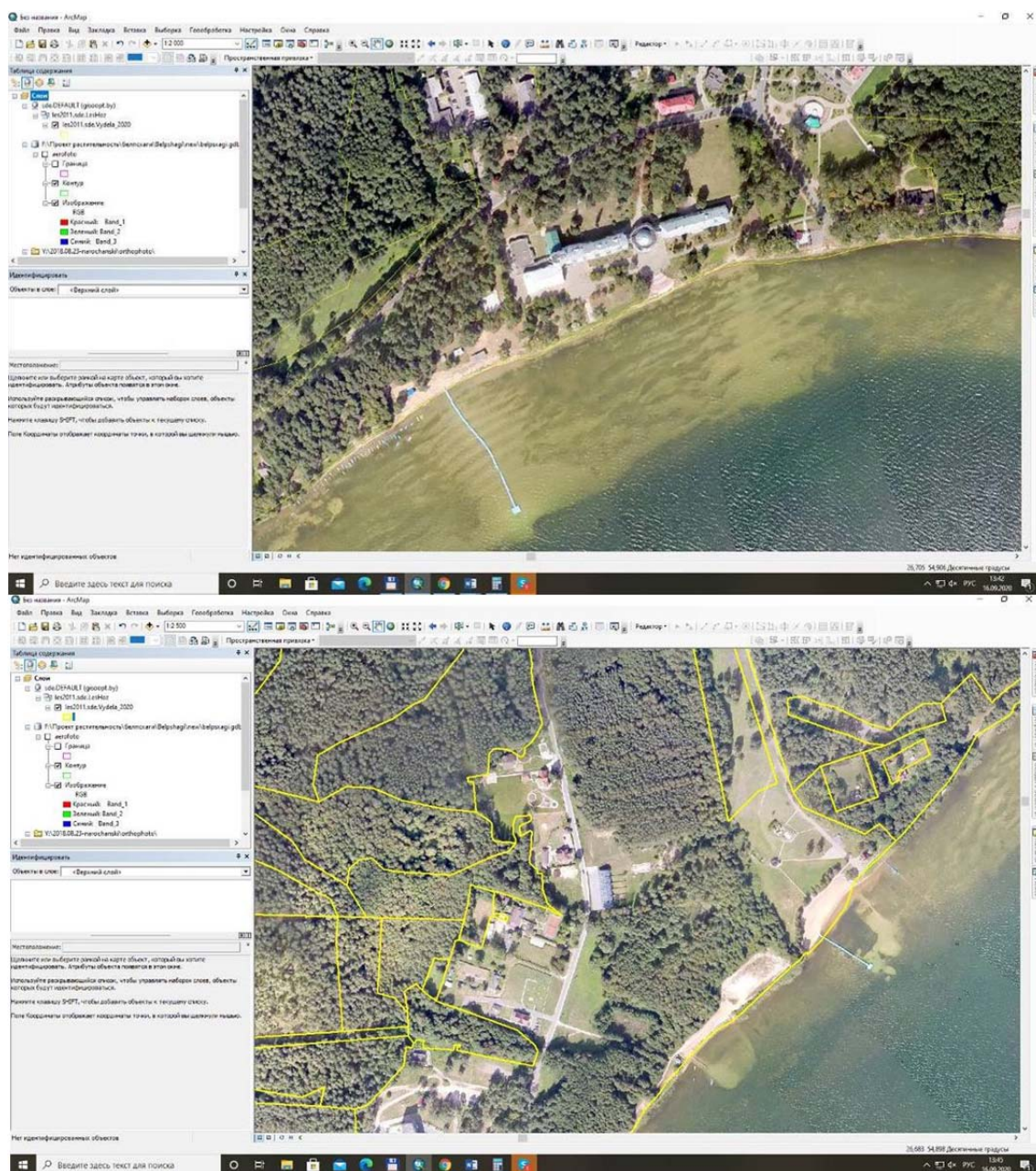


Рисунок 6.68 – Анализ фотоизображения (снимок БПЛА) и проектирование маршрутов исследований влияния рекреационной нагрузки на экосистемы

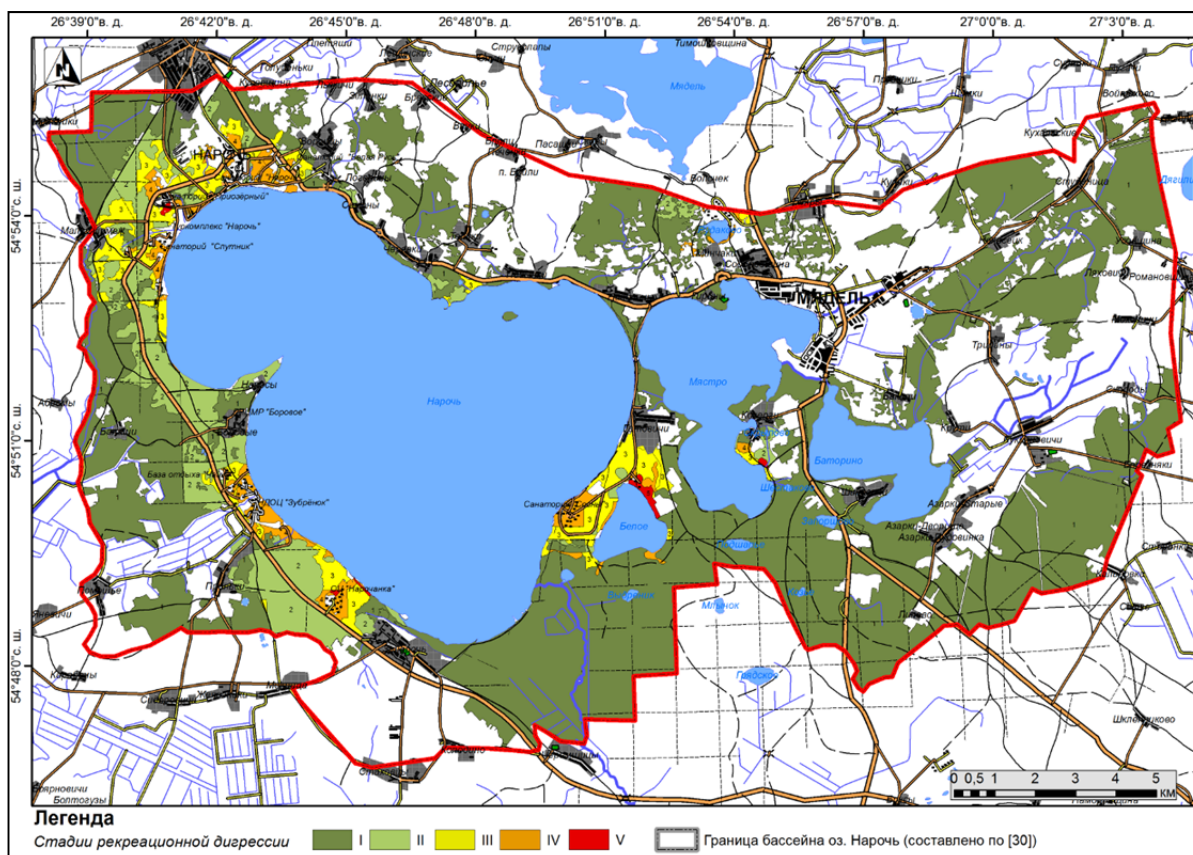
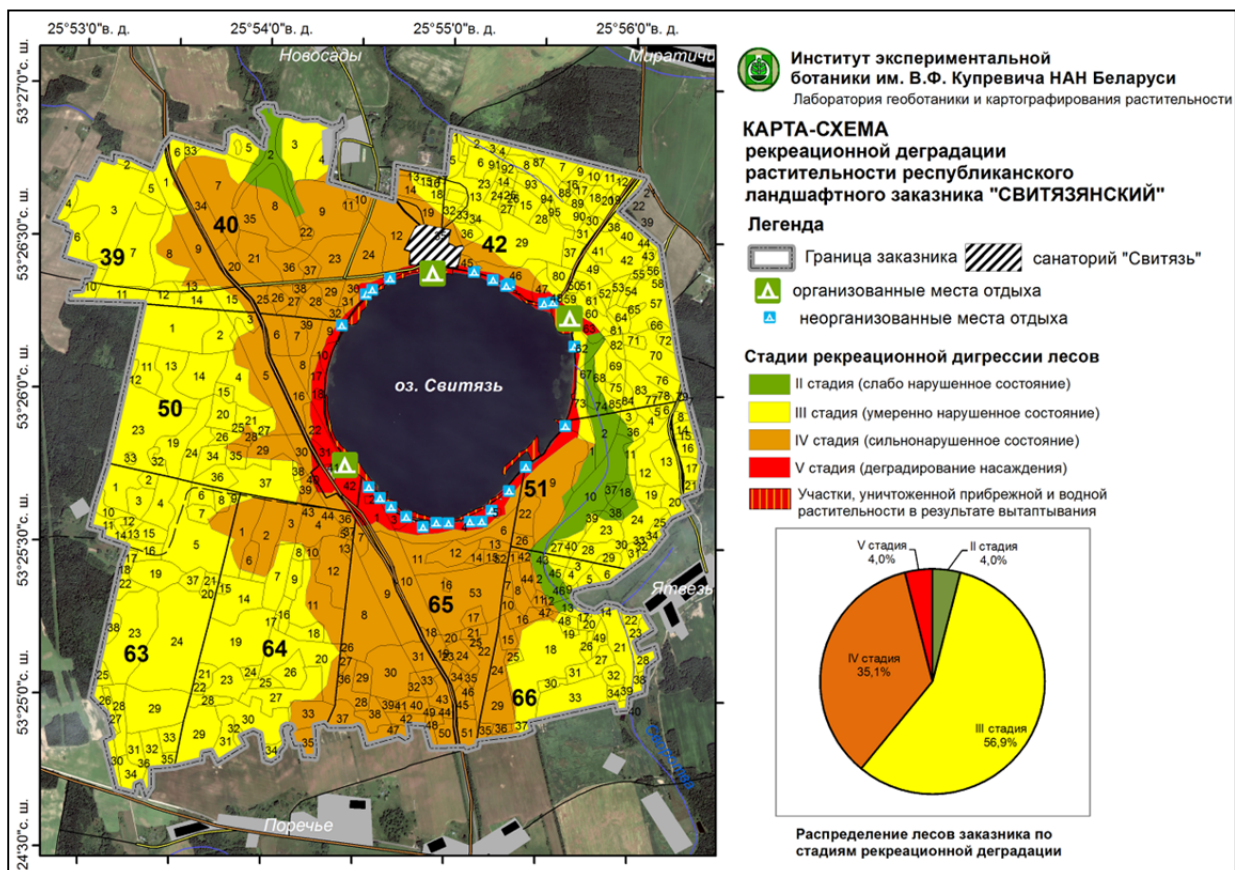


Рисунок 6.69 – Карты-схемы рекреационной дигрессии экосистем особо охраняемых природных территорий

6.5.9 Использование природных ресурсов

На современном этапе оценка чрезмерного пользования природными ресурсами (повреждение ягодных кустарничков, подсочка лиственных, превышение норм заготовки и т.д.) на основе данных аэрокосмического мониторинга невозможна.

Материалы ДЗЗ могут быть использованы прежде всего для определения приоритетных мест заготовки растительных ресурсов и проектирования маршрута мониторинговых исследований. Это возможно путем: а) визуального дешифрирования аэрофото- или космоснимка исследуемой территории; б) создания специализированной ресурсной карты на основе базовой карты мониторинга. Для составления ресурсоведческих карт необходим фактический материал по продуктивности и приуроченности ресурсных участков к определенным местообитаниям. В нашем примере (рисунок 6.70) при создании подобных тематических карт использована карта растительности республиканского заказника «Ольманские болота». Методика картирования запасов растительных ресурсов состояла из 3 этапов:

1. Выбор объекта картирования.
2. Интерпретация показателей базовой карты мониторинга (карта растительности, экосистем, биотопов) в плане оценки ресурсной значимости: Анализ ресурсоведческих, экологических и фитоценотических параметров позволил объединить ягодные сообщества растительности в несколько групп, характеризующихся близкими показателями урожайности, трофности среды, уровня грунтовых вод и эколого-фитоценотическими особенностями доминантов и эдификаторов.
3. Построение карты урожайности (запасов) и проектирование маршрута мониторинга.

6.5.10 Оценка ущерба от действия антропогенных и естественных факторов

Нередко в практике мониторинга возникают конфликтные ситуации при расчете денежного ущерба после нарушения природоохранного законодательства. С использованием стандартных функций, реализованных в большинстве существующих ГИС, данных дистанционного зондирования нами разработаны ряд оригинальных методик определения негативного воздействия антропогенных и естественных факторов и масштабов экономического ущерба для природной среды (рисунки 6.71, 6.72). При этом следует отметить, что применение архивных материалов ДЗЗ, лесо- землеустройства позволяет с высокой степенью детальности реконструировать состояния объектов растительного мира до начала хозяйственного воздействия, что значительно повышает объективность оценки и соответственно определение размера ущерба.

6.5.11 Мониторинг аквальных экосистем

Мониторинг аквальных экосистем мелководной акватории с применением космических снимков, материалов полевых обследований и методов картографирования на основе ГИС проводился на озерах национального парка «Нарочанский». Методика выполнения работ по созданию серии карт опиралась на совместные полевые работы с сотрудниками национального парка в течение нескольких сезонов. Серия включает пять карт (рельеф дна, степень проточности, подводные грунты, водная растительность и аквальные ландшафты) в базовом масштабе 1:100 000. Обработка снимков и создание карт осуществлялись средствами программного пакета ArcGIS (рисунок 6.73). Были использованы космические снимки – Landsat 8, RapidEye, БКА, Sentinel2, Kaz-EOSat.

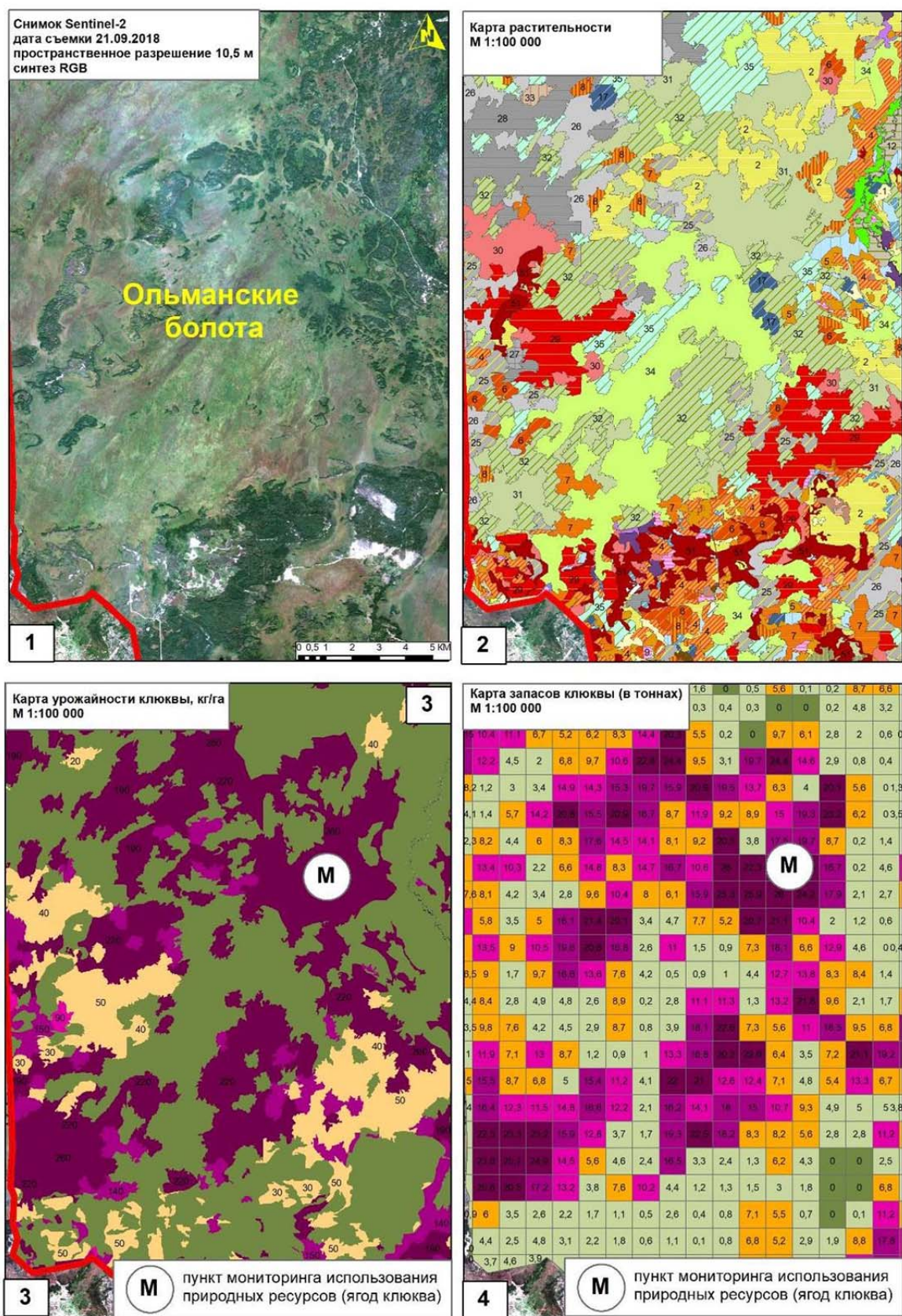
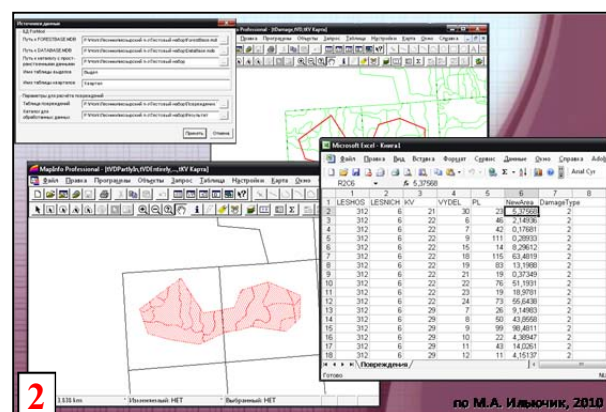
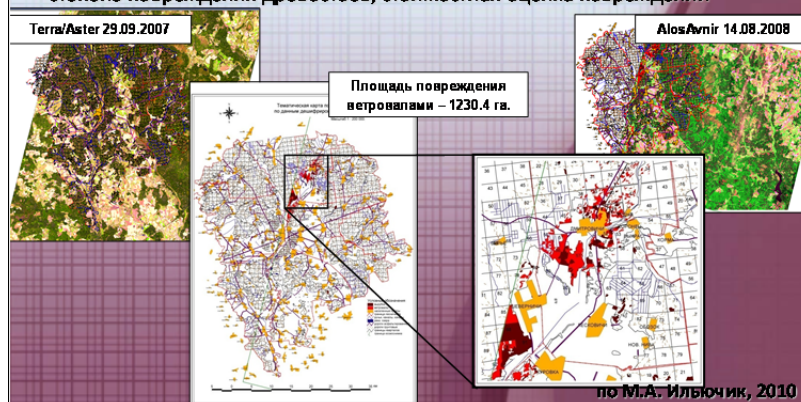


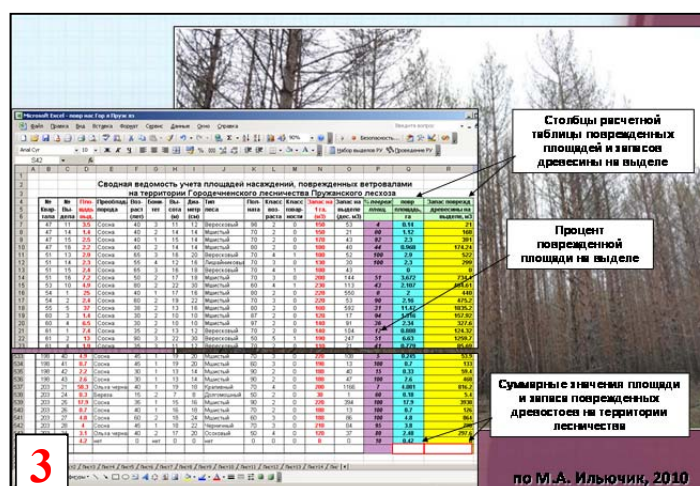
Рисунок 6.70 – Этапы проектирования маршрута мониторинга использования природных ресурсов (ягод клюквы) на основе данных дистанционного зондирования

- **Цель:** Картирование ветровалов, оценка степени повреждений насаждений
- **Технология:**
 - а) сопряженная обработка спутниковых изображений, данных леоинвентаризации и материалов космической съемки;
 - в) формирование карт поврежденности ветровалов
- **Измеряемые параметры:** размеры поврежденных ветровалов участков, степень повреждения древостоев, стоимостная оценка повреждений



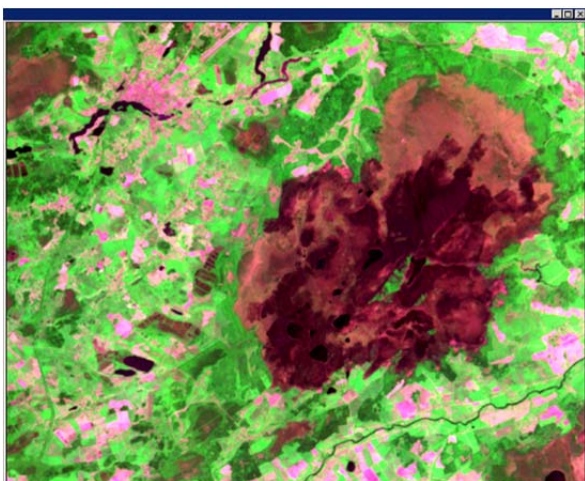
Определение границ участков лесного фонда, поврежденных в результате ураганных ветров (по материалам космической съемки ALOS AVNIR)

Разработка программного модуля ресурсной оценки поврежденных насаждений на базе MapInfo

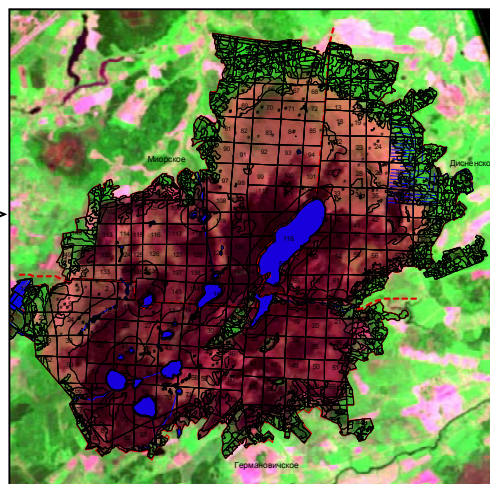


Расчет площадей и запасов поврежденных древостоев

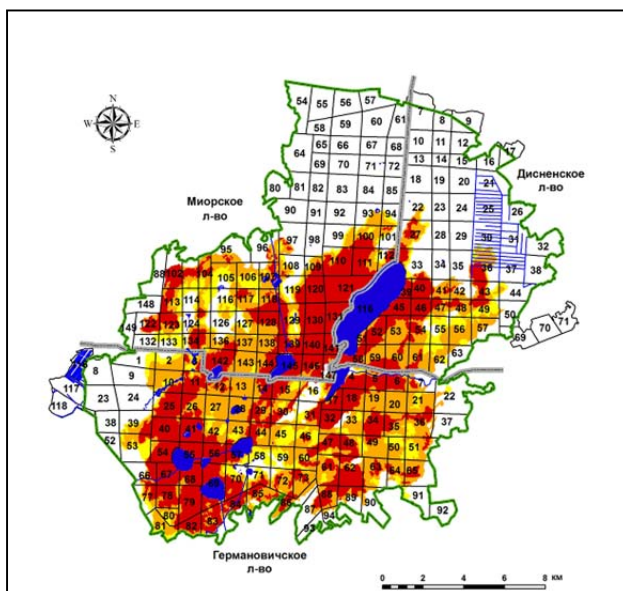
Рисунок 6.71 – Технология стоимостной оценки ветровалов
(территория Червенского лесхоза, дата съемки 19.07.2009 г., Ильючик, 2010)



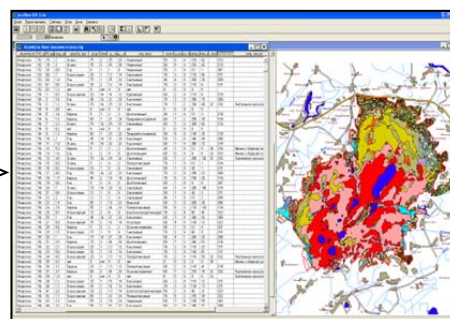
Подбор материалов космической съемки исследуемой территории



Увязка космической съемки с картографическими данными лесоустройства



Цифровая карта степени повреждения пожарами – как основа для оценки эколого-экономических последствий пожара



Увязка с отдельными векторными слоями лесоустройства с приведением их к общему масштабу в единой географической системе координат

Показатель	Характеристика повреждения		
	Единица измерения	Значение	Удельная доля от показателя в доп. период, %
Площадь поврежденных пожаром участков, в т. ч.:	га	13145.0	52.0
• I степень (умеренно поврежденные)	—	1818.6	7.2
• II степень (сильно поврежденные)	—	5268.7	20.8
• III степень (очень сильно поврежденные)	—	6058.7	24.0
Площадь погибших насаждений, в т. ч.:	—	2364.0	28.0
• спелых и перестойных	—	525.6	34.8
• высокопродуктивных (I-II классов бонитета)	—	339.8	10.1
Запас древесины в погибших насаждениях, в т. ч.:	тыс. м ³ /га	234.0	21.8
• в спелых и перестойных	—	92.6	45.7
• в высокопродуктивных (I-II классов бонитета)	—	88.6	21.7
Площадь поврежденных высокопродуктивных участков ягодников и лекарственных растений, в т. ч.:	га	1536.7	65.3
• клюквы	—	1308.7	74.6
• черники	—	71.2	34.5
• голубики	—	3.4	18.9
• багульника болотного	—	153.4	41.1
Снижение среднегодового биологического запаса ягод клюквы	т	-252.6	-72.9
Снижение эксплуатационного запаса ягод клюквы	т	-89.0	-71.1
Площадь уничтоженных особо ценных участков, га	га	121.4	9.9

Сводная ведомость масштабов повреждения лесов в результате пожаров

Рисунок 6.72 – Технология стоимостной оценки последствий для территорий лесного фонда, поврежденных пожарами

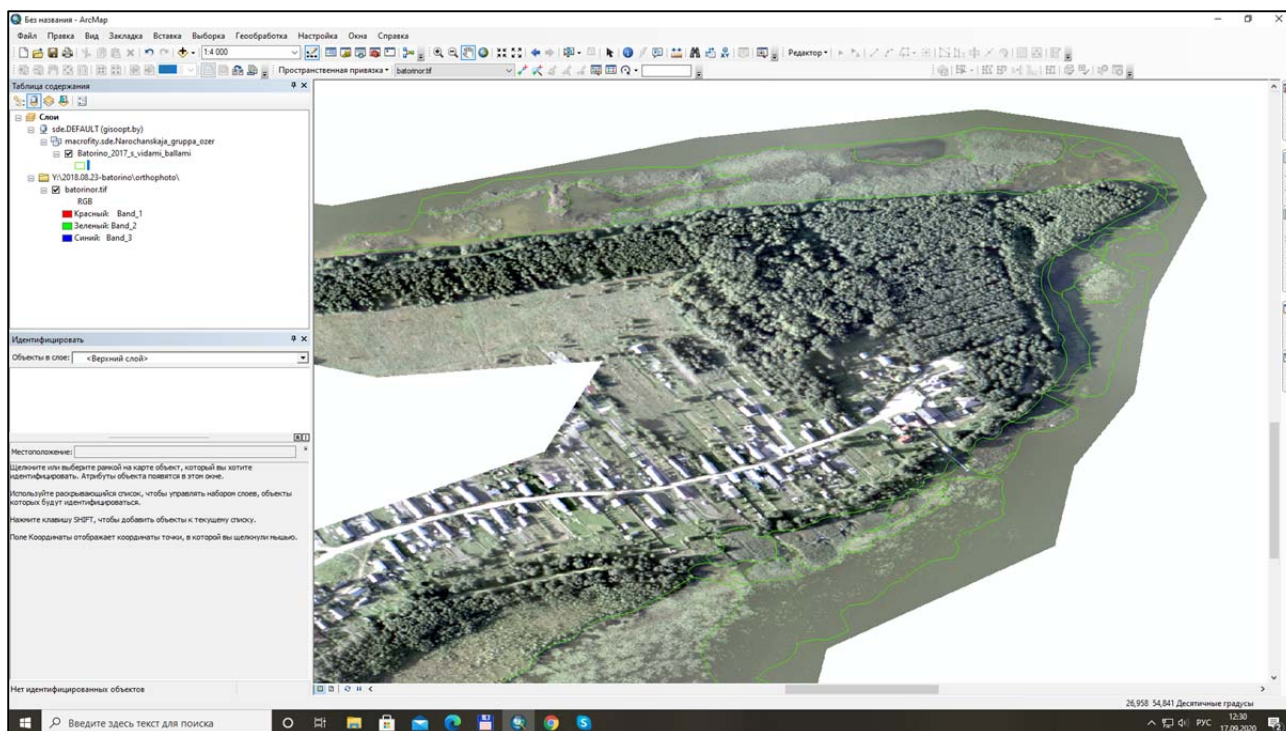


Рисунок 6.73 – Обработка космических снимков средствами программного пакета ArcGIS

Предварительная обработка снимков включала приведение к системе координат, принятой для ранее составленных базовых слоев ГИС заповедника, улучшение пространственного разрешения снимков Landsat «замешиванием» панхроматического канала, а также создание вариантов цветных синтезированных изображений.

При создании карты рельефа дна проводились полевые измерения глубин, определение координат с помощью GPS-приемника, приведение полученных данных к условному нулю и построение изолиний. Изобаты, проведенные через 0,1 м, строились автоматически, но из-за крайне малых уклонов дна пришлось их скорректировать. Для этого изображение изолиний накладывали на разносезонные космические снимки: в период половодья с изображением мутневых выносов и в середине лета с наилучшим изображением растительности.

Основными источниками при картографировании водной растительности служили данные полевых наблюдений (описание видов растительности в точках с определенными координатами) и космические снимки. Методика составления карты включала компьютерную обработку (вычисление вегетационного индекса, классификацию растительных сообществ) и визуальное дешифрирование нескольких вариантов цветных синтезированных изображений (рисунок 6.74). На карте представлено пространственное распределение по акватории основных растительных сообществ.

Еще один объект изучения - направление стоковых течений и степень проточности – имеет особое значение, поскольку течения служат определяющим фактором на акватории. Направления течений распознавались визуально - по изображению мутневых выносов на снимках в оранжево-красном участке спектра. Их изображение может служить индикатором не только направления течения, но и степени проточности акватории, так как с увеличением расходов воды наблюдается практически линейное возрастание мутности волжских вод. Обработка снимков заключалась в квантовании изображений мутневых потоков, суммировании результатов квантования и определении степени проточности.

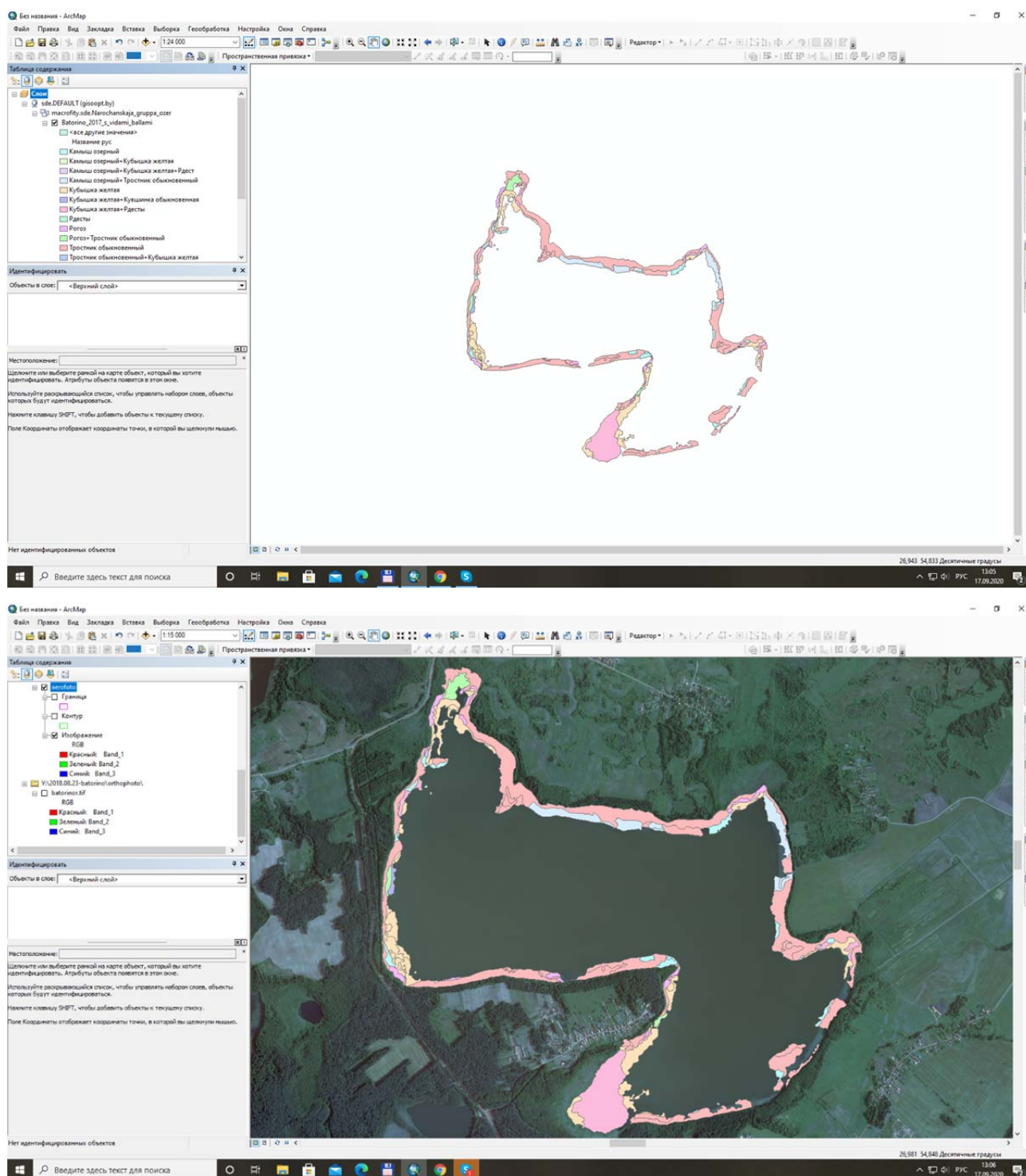


Рисунок 6.74 – Составление карты распределения по акватории основных растительных сообществ

Картографирование подводных грунтов осуществлялось на основе полевого отбора проб и лабораторного анализа гранулометрического состава грунтов. Полевых данных для компьютерной интерполяции было недостаточно (площадь акватории около 60 км²), поэтому для картографирования пространственного распространения грунтов в качестве индикатора использовали растительность. Для этого по предварительно отобраным пробам была выявлена связь между типом грунта и сообществами растительности.

Карта аквальных ландшафтов составлялась в результате применения компьютерных методов совместного анализа всех описанных выше карт.

Эта серия карт может служить основой для проведения мониторинга водных экосистем. На картах зафиксировано распределение водных экосистем на территории, с их помощью можно установить связь между отдельными компонентами экосистем. Космические снимки с пространственным разрешением 15–20 м продолжают оставаться отличным материалом для решения географических задач и картографирования в масштабах 1:50 000–1:100 000. Снимки с разрешением 1–2 м полезны при создании обучающей выборки в дополнение к полевым данным. Для изучения и картографирования подводных объектов важно наличие в съемочной системе канала в участке спектра 0,4–0,5 мкм, более высокое пространственное разрешение не компенсирует отсутствие такого канала.

6.5.12 Оценка состояния экосистем – интегральная характеристика данных наземного и дистанционного мониторинга

Состояние растительного покрова является важным показателем качества природной среды. В оценке экологического состояния растительности учитывается ее двоякая роль в строении и функционировании экосистем: как важнейшего компонента, являющегося средой обитания животных и человека, и как чуткого индикатора природных и антропогенных процессов, происходящих в экосистемах. В зависимости от задач исследования диагностика состояния растительных сообществ, может стать самоцелью или индикационным методом определения состояния других компонентов экосистем.

Оценка современного состояния экосистем ООПТ является заключительным этапом исследований. Проводится через установление степени нарушенности (сохранности) растительного покрова. Степень деградации определялась по критериям отклонения состава и структуры растительных сообществ от естественного их состояния или от выбранного состояния на определенный момент времени.

Для анализа используются данные наземного и дистанционного мониторинга так и натурные показатели разных компонентов фитоценозов, характеризующие существующие и имевшие место в прошлом виды антропогенных воздействий. Среди справочных данных используются региональные схемы динамики растительности, включая сроки прохождения различных стадий, эталонные показатели ненарушенных лесов, региональные шкалы показателей фитоценозов от различных видов воздействия.

В результате специального анализа и картографической оценки на территории водно-болотного угодья выделяются 4 группы экосистем: со слабо-, средне- и сильнонарушенным и уничтоженным растительным покровом. При этом составленная карта отражает два процесса – дигрессию растительности под воздействием антропогенных факторов и демулационные процессы, развивающиеся после этих воздействий (рисунок 6.75).

6.5.13 Мониторинг экосистем с использованием беспилотных летательных аппаратов

1. Мониторинг объектов лесного хозяйства и лесопатологический мониторинг с помощью беспилотников. Использование беспилотных летательных аппаратов для регулярного мониторинга лесных угодий позволяет получать свежие данные в максимально короткие сроки. При этом существенно снижаются затраты по сравне-

нию с применением для этих целей дорогостоящей пилотируемой авиации или применение космических спутников.

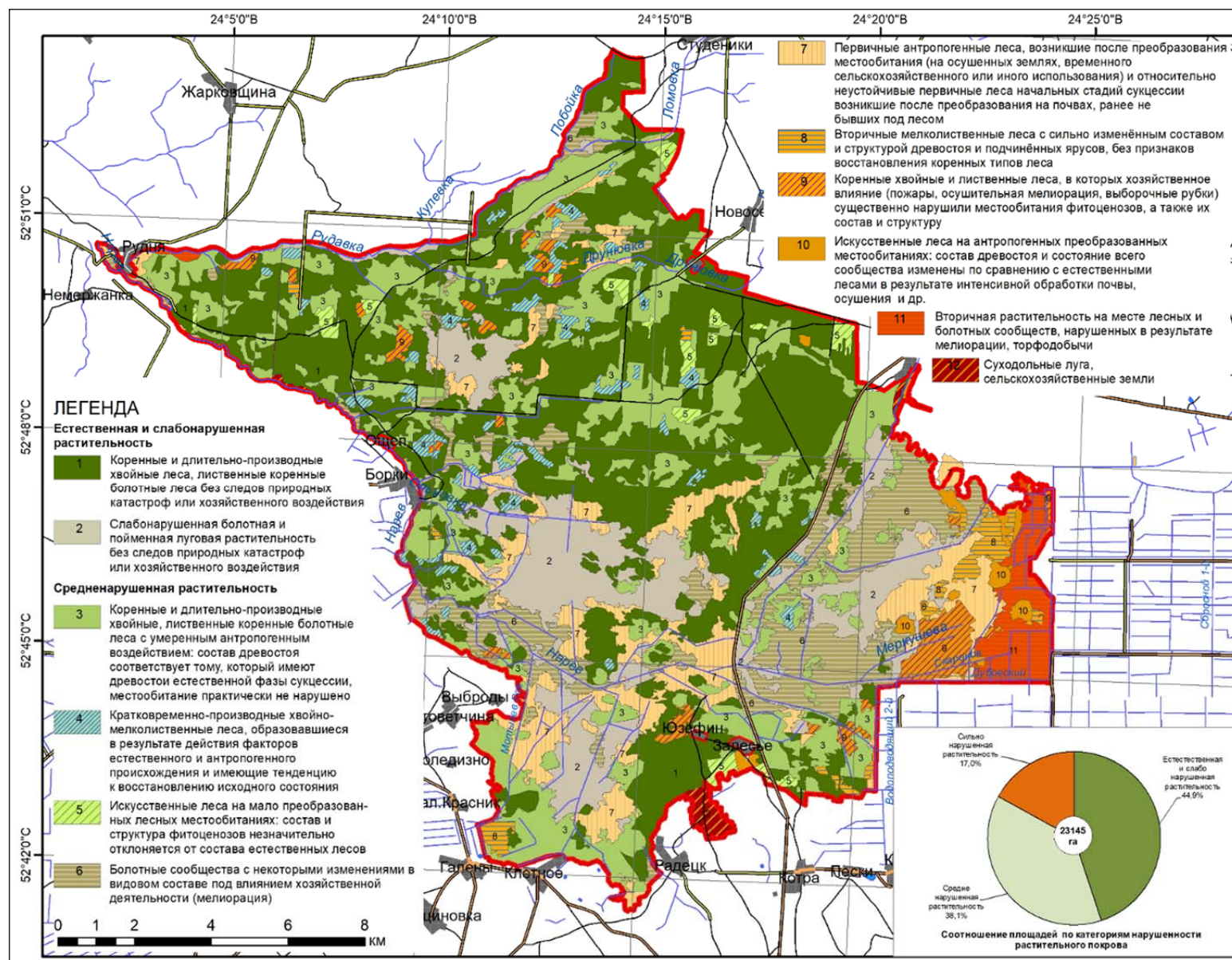
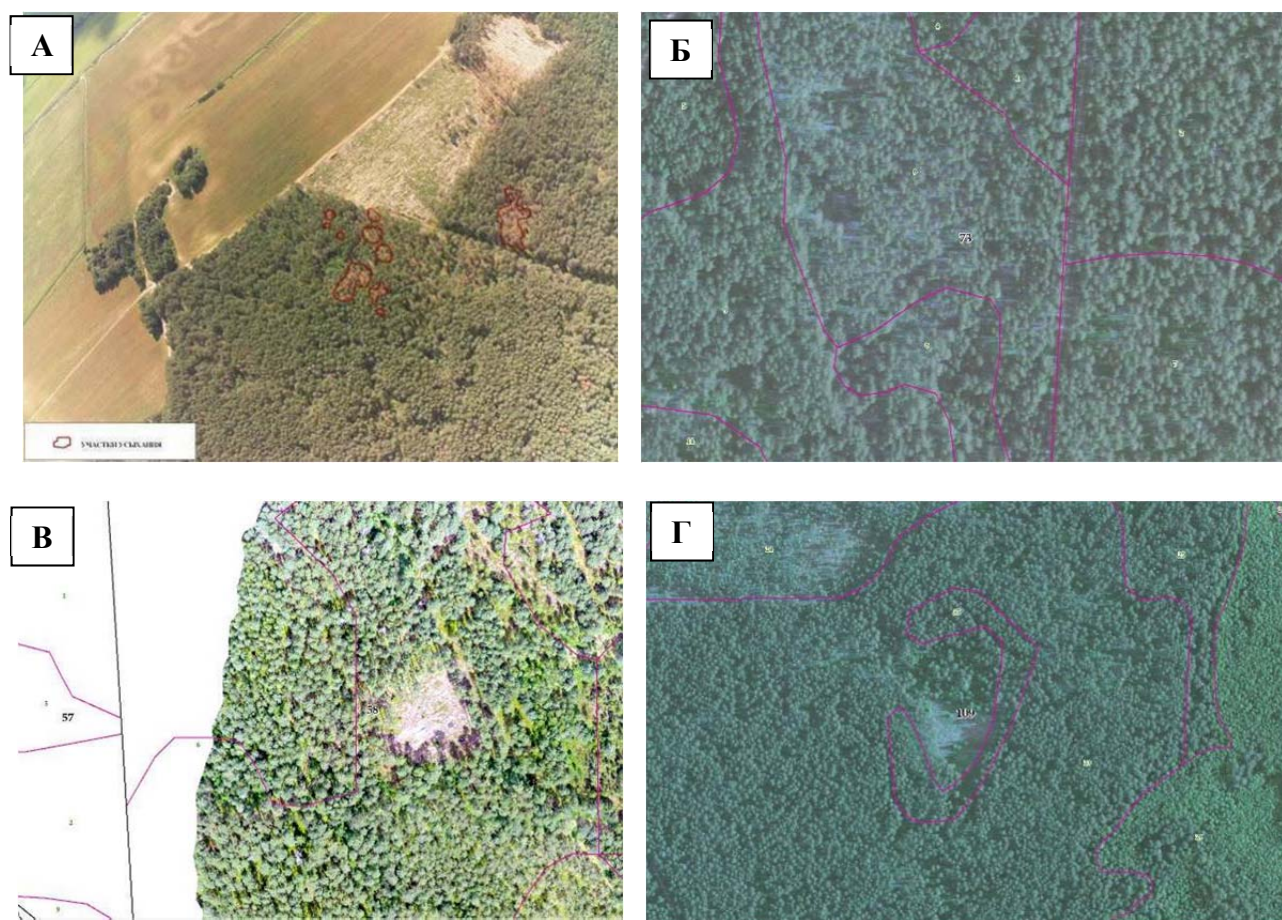


Рисунок 6.75 – Карта нарушенности растительного покрова Рамсарской территории «Болото Дикое»

Беспилотная аэрофотосъемка способствует довольно точно оценивать запасы древостоев, выделять труднодоступные и непродуктивные лесные насаждения. Съемка лесных объектов в инфракрасном диапазоне помогает определять состав насаждений по породам и определять очаги распространения болезней леса и насекомых – вредителей леса. Данные видимого диапазона обеспечивают контроль всех видов рубок, мониторинг вырубленных площадей и размещение лесной инфраструктуры (рисунки 6.76, 6.77). Все это обеспечивает содержание лесных угодий в хорошем состоянии и помогает рационально вести лесное хозяйство.

Ожидаемый результат применения БПЛА при мониторинге лесных объектов: это заблаговременное выявление районов с отрицательными лесопатологическими тенденциями, снижение производимых затрат на проведение мониторинга состояния лесов, предотвращение возможного ущерба за счет своевременности реализации лесозащитных мероприятий.

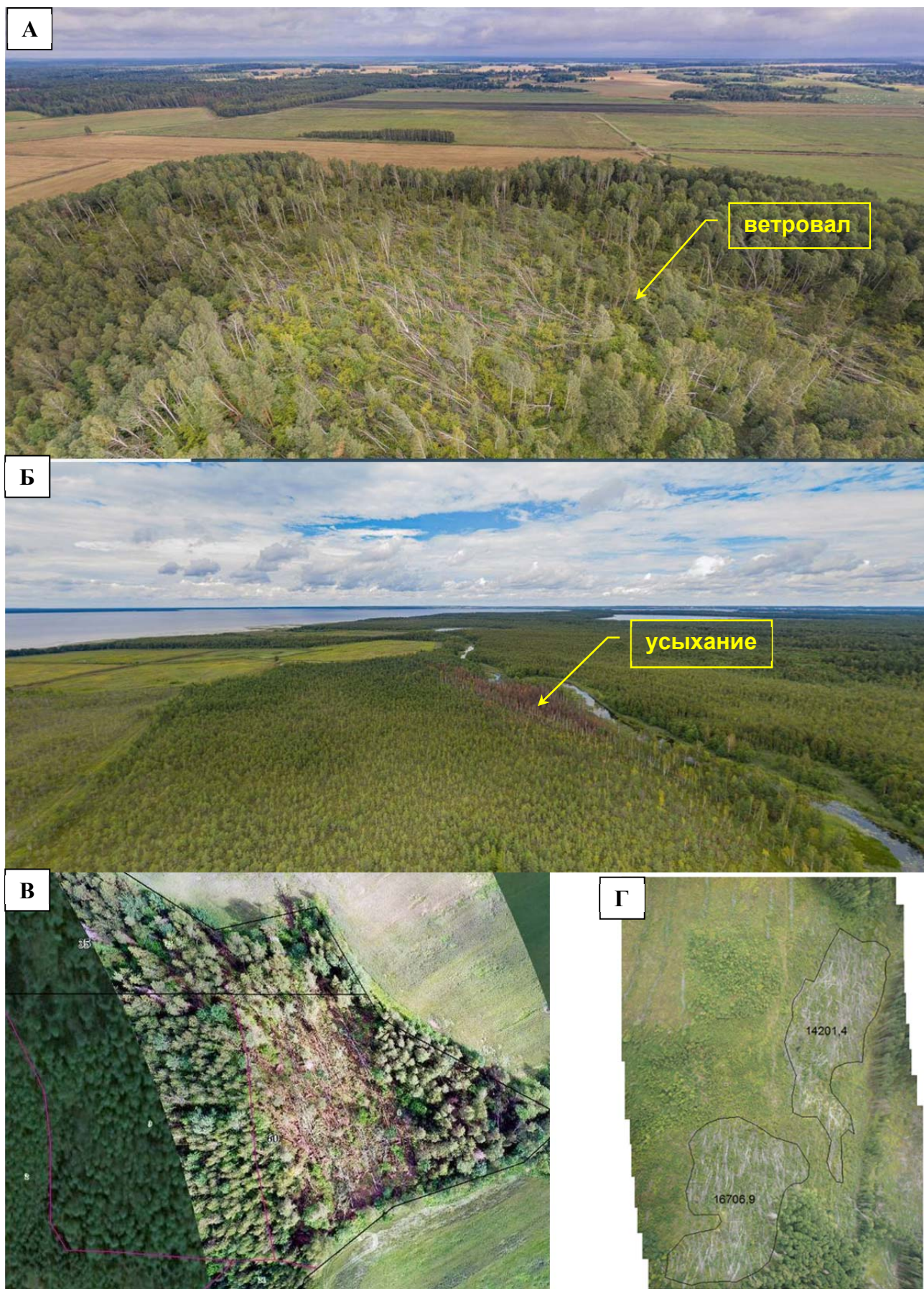


А – усыхание лесов; Б – проходная рубка; В, Г – сплошная рубка

Рисунок 6.76 – Мониторинг лесов национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА

2. Противодействие проведению незаконной хозяйственной деятельности на ООПТ.

Беспилотные летательные аппараты могут применяться для поиска мест незаконной рубки лесных массивов с целью пресечения лесонарушений. Накопленный на сегодняшний день опыт показывает эффективность применения БПЛА малого и среднего классов при обнаружении незаконных рубок.



А, Б – формирование ортофотоплана для оперативного скрининга угроз; В – увязка снимка с повреждением лесов с материалами лесоустройства; Г – оценка площадей ветровалов (м²)

Рисунок 6.77 – Мониторинг ветровалов и усыхания в лесах национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА

С помощью беспилотников реализуется возможность поиска лесных участков с производимой незаконной деятельностью, выявление мест нахождения производственных сил нелегальных лесорубов, сбора информационных данных и наведения на эти участки оперативных групп для пресечения незаконных действий.

Такой подход к существующей проблеме позволяет расширить контролируемые районы, выявлять маршруты движения техники и объемы транспортировки незаконно добытой лесопроductии, места хранения оборудования и заготовленной древесины.

Ожидаемый результат: повышение раскрываемости экономических преступлений, организация действенной системы по охране особо ценных участков лесного фонда от незаконных вырубок.

3. Применение БПЛА для мониторинга пожарной обстановки и при борьбе с лесными и торфяными пожарами.

При применении БПЛА в борьбе с лесными пожарами необходимо решить следующие технологические задачи: обеспечение непрерывного мониторинга распространения лесных пожаров, в том числе крупных, при сильном задымлении; передача всей информации в штабы тушения лесных пожаров на большом удалении (рисунок 6.78), ретрансляция связи, передача данных информации между командами пожаротушения и штабом для повышения качества управления силами тушения пожаров.

Эти задачи могут решаться БПЛА малого и среднего классов. При дальности передачи информации до 150 километров, обеспечения хорошей работы в условиях сложного рельефа данные задачи могут решаться БЛА среднего и большого классов.

Ожидаемые результаты: обеспечение мониторинга пожарной ситуации в кризисной зоне, повышение качества связи на тушении лесных пожаров в труднодоступных и горных районах; снижение уровня угроз населенным пунктам и объектам народного хозяйства за счет своевременности принятия оперативными штабами организационных решений.

При ликвидации небольших пожаров возможна информационная поддержка наземных сил пожаротушения с применением БПЛА микрокласса. При этом решаются поставленные технологические задачи: проведение полетов на малых высотах в ближней зоне на небольшом удалении, возможность проведения старта и посадки БПЛА с любых площадок малых размеров.

Ожидаемый результат: наведение команд пожаротушения на пожары малых площадей или на кромку пожара в условиях сложного рельефа местности, информационная поддержка команд на тушении лесных пожаров, поддержка работ по окарауливанию кромок пожаров при недостатке людей, мониторинг опасных ситуаций на лесных пожарах, повышение эффективности наземного патрулирования.

4. Патрулирование особо охраняемой природной территории.

Накопленный опыт показывает, что применение БПЛА для осуществления патрулирования лесного фонда является одной самых сложных задач. Ограничение радиуса действия дронов по дальности радиоканалов не позволяет использовать летательные аппараты малых классов для патрулирования больших территорий лесных массивов; невысокое качество оптических каналов БЛА малых классов снижает радиус обзора камер до нескольких километров. Решать такие задачи может БЛА с радиусом действия от 50 км до 150 км и специальной целевой нагрузкой, обладающей следующими характеристиками:

1. оптические системы высокого разрешения с высокой дальностью обнаружения, способные обнаруживать лесные пожары небольших размеров;
2. наличие канала обнаружения инфракрасного диапазона;
3. наличие системы передачи данных высокой пропускной способности;

4. ретрансляция сигналов УКВ-связи по всем направлениям; наличие систем автоматического обнаружения и идентификации загораний;

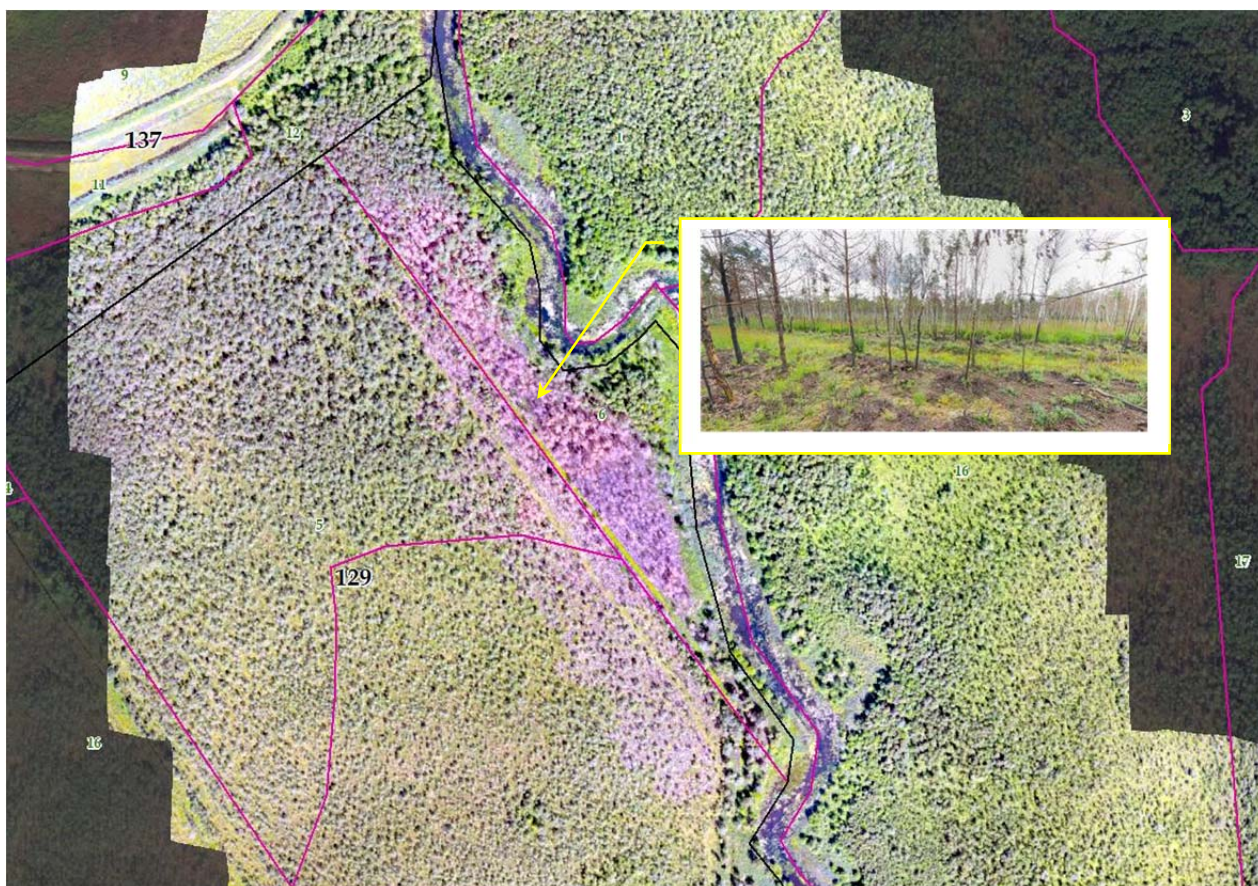


Рисунок 6.78 – Мониторинг пожаров в труднодоступных участках национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА

Ожидаемый результат: существенно снижается себестоимость проведения авиапатрулирования в несколько раз, обеспечивается нормативная регулярность авиапатрулирования, повышаются возможности применения авиации для задач лесного хозяйства.

5. Крупномасштабное (М 1: 1000 – 1:25 000) картографирование.

Применение БПЛА возможно при крупномасштабном картографировании. С помощью БПЛА среднего или большого классов возможно производство плановой аэрофотосъемки крупных территорий. Также БПЛА может выполнять работы по таксации леса: – это определять границы таксационных выделов, оценивать характеристики земельных угодий, оценивать модели роста лесных насаждений. Полученные от беспилотного аппарата данные являются основой статистических методов решения таксационных задач и интерполяции результатов, полученных на пробных площадках.

6. Оценка зарастания болот, лугов, пастбищ.

Регулярный мониторинг нелесопокрытых земель ООПТ позволяет выявить процессы их зарастания древесно-кустарниковой растительностью (рисунок 6.79). Это особенно актуально для труднодоступной местности, а также позволяет выполнять обследование территории в сжатые сроки.

7. Прочие объекты. При съемки БПЛА достаточно легко идентифицируются карьеры, свалки и другие объекты хозяйственной деятельности человека.

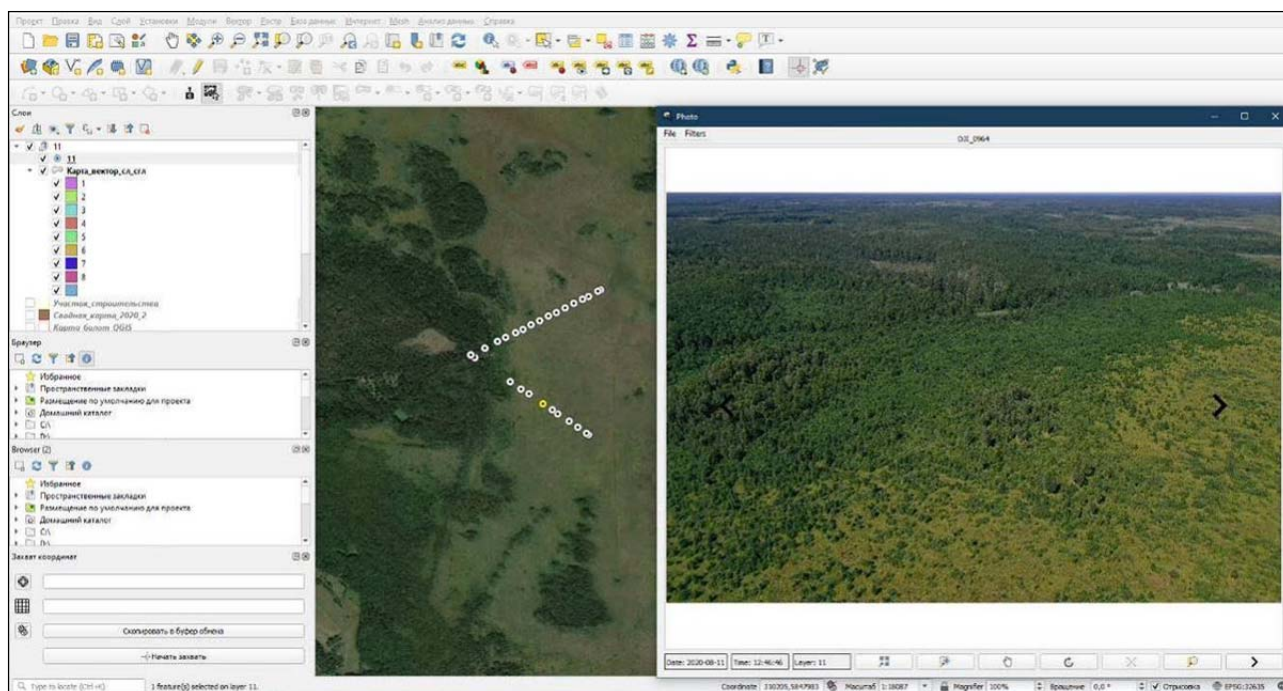


Рисунок 6.79 – Мониторинг зарастания труднодоступных участков низинного болота «Дикое» с использованием БПЛА

6.6 Алгоритм учета угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием методов ДЗЗ

Алгоритм учета угроз экосистемам и биологическому разнообразию ООПТ с использованием методов ДЗЗ состоит из следующих этапов.

1. Создается предварительный перечень угроз экосистемам и биологическому разнообразию исследуемой ООПТ и оценивается информативность их определения с использованием материалов наземного и дистанционного мониторинга (таблица 6.10).

2. Производится подбор данных дистанционного зондирования

В соответствии с решаемыми задачами мониторинга экосистем ООПТ подбираются данные дистанционного зондирования:

– не менее одного спутникового снимка на вегетационный сезон (в максимально близких датах) для каждого года мониторинга;

Таблица 6.10 – Информативность идентификации угроз экосистемам и биологическому разнообразию ООПТ по данным наземного и дистанционного мониторинга

Перечень возможных угроз	Наземные работы	Данные дистанционного зондирования		
		по аэрофото-снимкам	по космическим снимкам с разрешением	
			2-10 м	10-30 м
1	2	3	4	5
– лесные и торфяные пожары	+	+	+	+
– неконтролируемые палы (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах)	+	+	+	+
– рекреация (негативные последствия: механические повреждения деревьев и кустарников, выжигание)	+	+	–	–

ние напочвенного покрова на пикниковых полянах, замусоривание, пожары и т.д.)				
---	--	--	--	--

Окончание таблицы 6.10

1	2	3	4	5
– рубки леса	+	+	+	+
– чрезмерное пользование природными ресурсами (повреждение ягодных кустарничков, подсочка лиственных, превышение норм заготовки и т.д.)	+	–	–	–
– перевыпас	+	+	+	–
– выпас крупных стад животных и устройство летних лагерей скота	+	+	+	–
– размножение фитофагов	+	+	+	+
– болезни	+	+	+	–
– энтомоповреждение	+	+	+	–
– подтопление, затопление	+	+	+	+
– загрязнение техногенное и органическое	+	–	–	–
– загрязнение биологическое (инвазивные виды)	+	+	–	–
– свалки мусора	+	+	+	+
– гидротехническая мелиорация	+	+	+	+
– нарушение почвы техногенное и зоогенное	+	–	–	–
– воздействие аномальных природных явлений (поздневесенние и раннелетние заморозки, засухи, ураганы, затяжные паводки и пр.)	+	+	+	+
– изменение землепользования	+	+	+	+
– нецелевое использование земель	+	+	+	+

			ности призна- ка	ности призна- ка
--	--	--	---------------------	---------------------

- мультиспектральная съемка для синтеза цветных изображений с наличием ближнего инфракрасного канала (БИК, длина 0,7–1,3 мкм) – наиболее информативного при дешифрировании растительного покрова;
- высокое разрешение съемки для уверенного дешифрирования объектов площадью до 1,0 га;
- сплошное покрытие территории безоблачной (малооблачной, т.е. не выше 10%) съемкой;
- приемлемая стоимость данных космической съемки.

Источником информации является Интернет. В настоящее время наиболее развиты веб-сервисы мониторинга экосистем на основе снимков MODIS (<http://terra.nasa.gov>), Landsat (<http://landsat.usgs.gov>, <https://libra.developmentseed.org/>), Sentinel (<https://scihub.copernicus.eu/>), и ASTER (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>). Адреса других каталогов разнообразных типов снимков различного разрешения см. в приложении Е.

Также следует отметить возможность использования веб-инструментов с открытым исходным кодом для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений (см. приложение Ж).

На примере веб-инструментов LandViewer от EOS (<https://eos.com/landviewer>) и EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) рассмотрим этапы подборки спутниковых данных.

Шаг 1. Загрузка границы (*.kml) исследуемой ООПТ (рисунок 6.80).

Шаг 2. Определение области интереса (с буфером) вокруг исследуемой территории (рисунок 6.81). С использованием инструментов панели определяются сенсор, временной интервал спутниковых данных и требования к ДДЗ

Шаг 3. Синтезируются комбинации каналов данных спутниковых сенсоров (рисунок 6.82).

Шаг 4. Загрузка данных дистанционного зондирования с веб-инструмента LandViewer от EOS (рисунок 6.83).

Шаг 5-6. Выбор комбинации каналов.

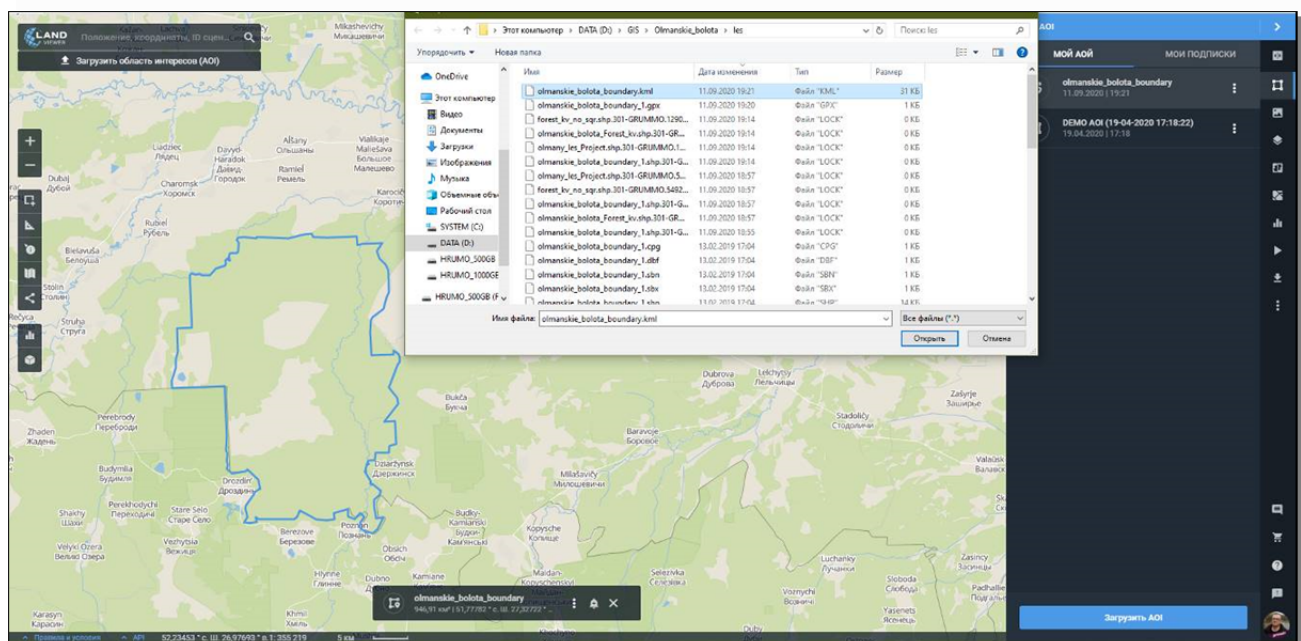


Рисунок 6.80 – Шаг 1. Загрузка границы (*.kml) исследуемой ООПТ

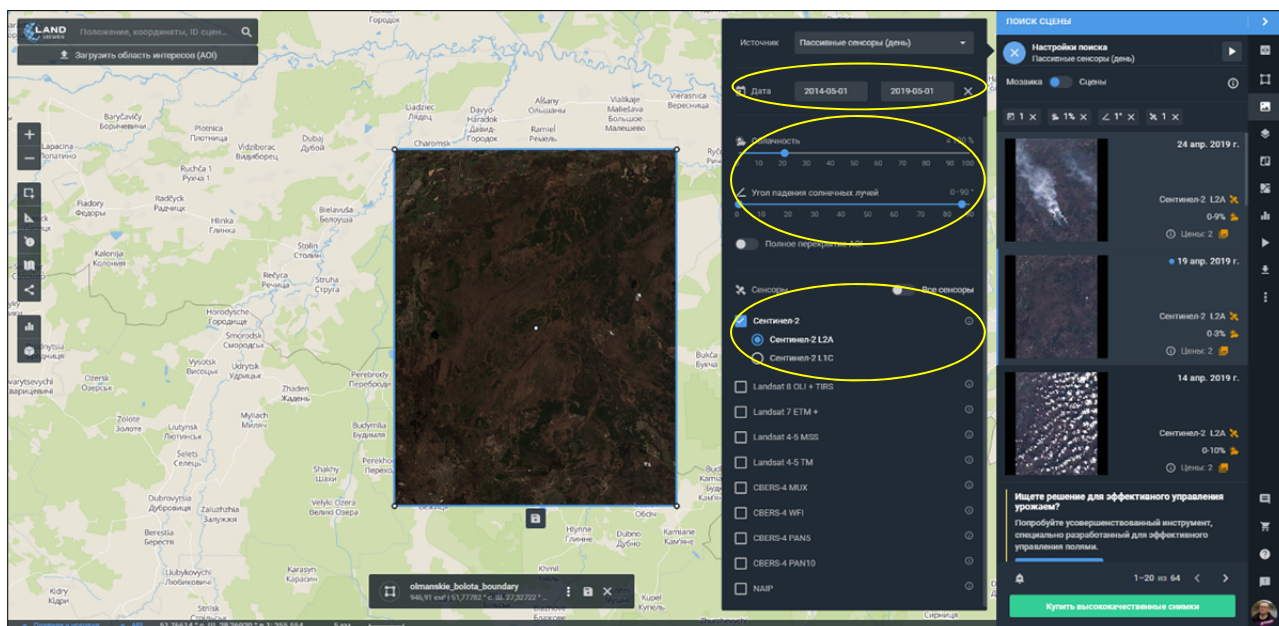


Рисунок 6.81 – Шаг 2. Определение области интереса (с буфером) вокруг исследуемой территории. С использованием инструментов панели определяются сенсор, временной интервал спутниковых данных и требования к ДДЗ

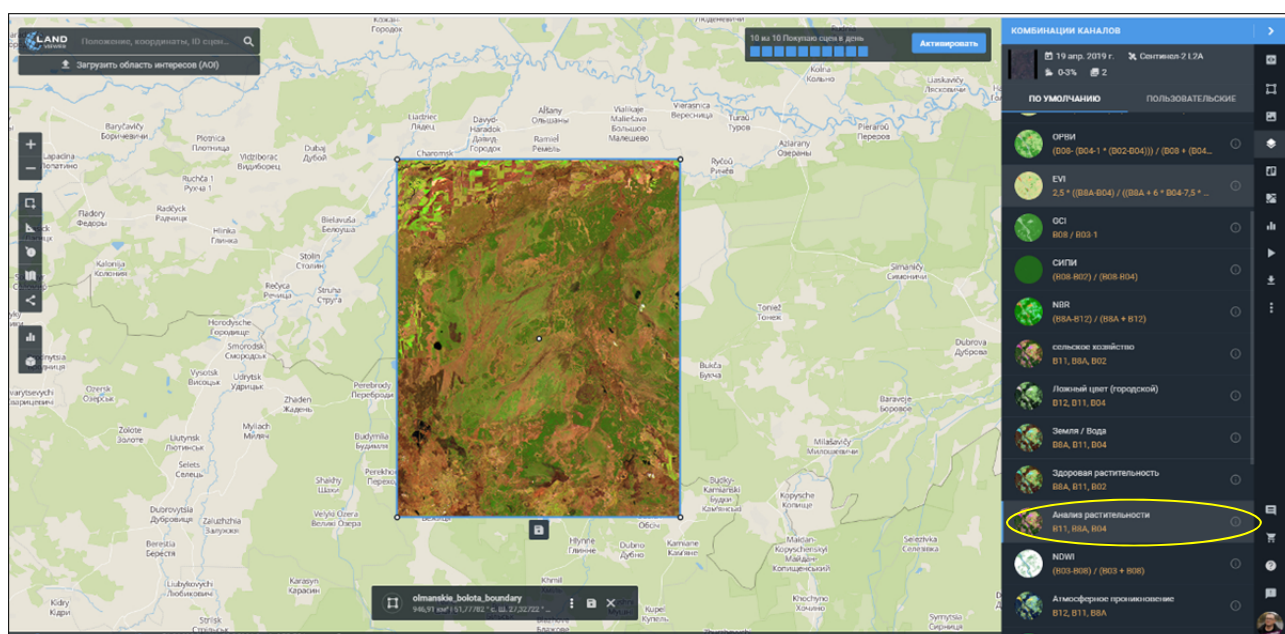
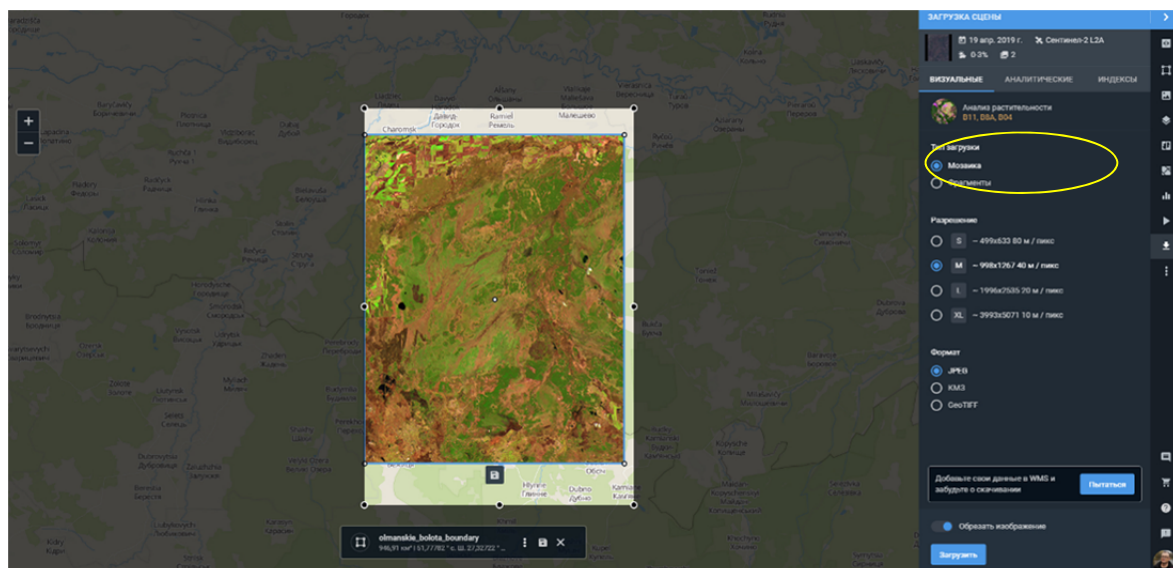
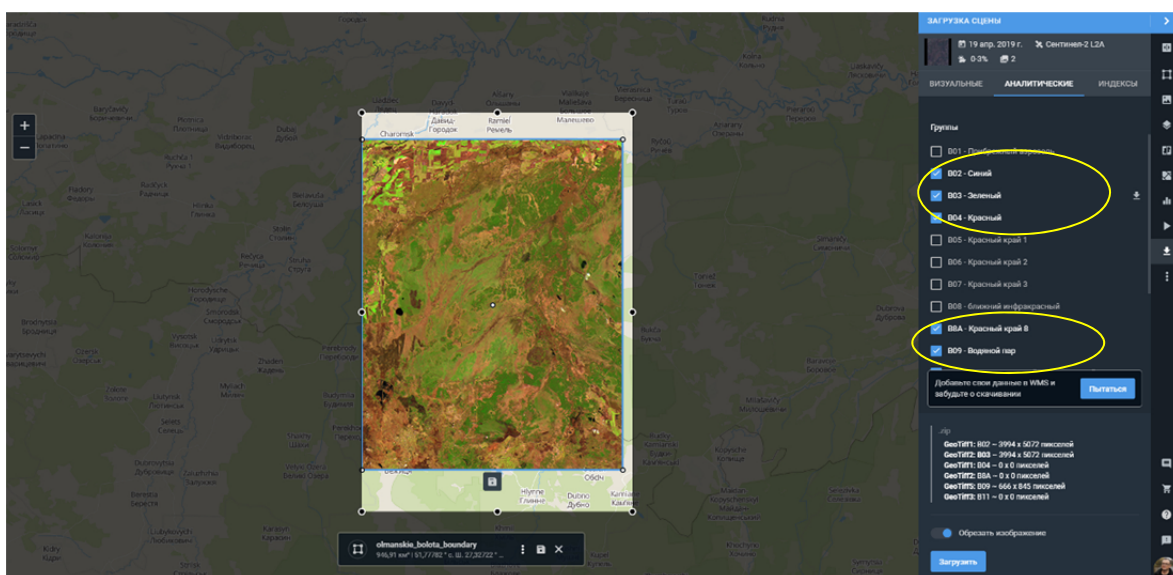


Рисунок 6.82 – Шаг 3. Синтезируются комбинации каналов данных спутниковых сенсоров



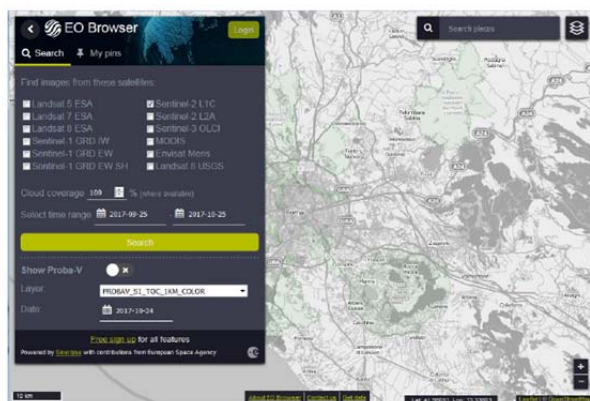
А – загрузка готовой мозаики (формат GeoTiff)



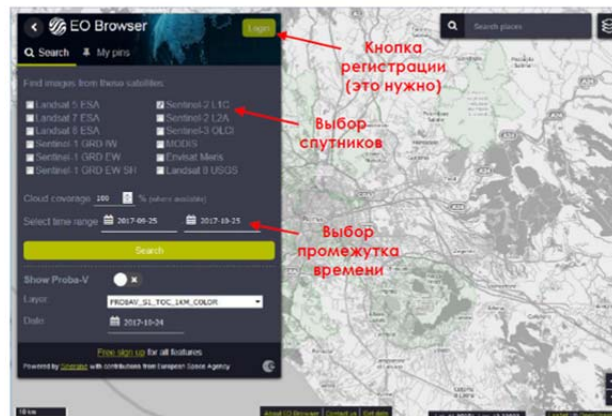
Б – загрузка отдельных («сырых») каналов спутниковой съемки

Рисунок 6.83 – Шаг 4. Загрузка данных дистанционного зондирования с веб-инструмента LandViewer от EOS

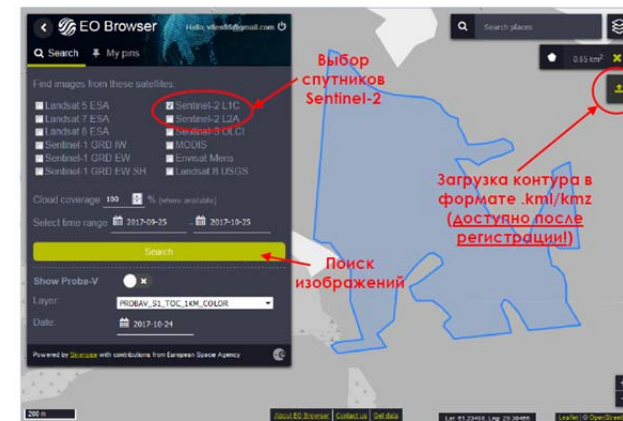
Подготовка снимков с использование EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) представлена на рисунке 6.84.



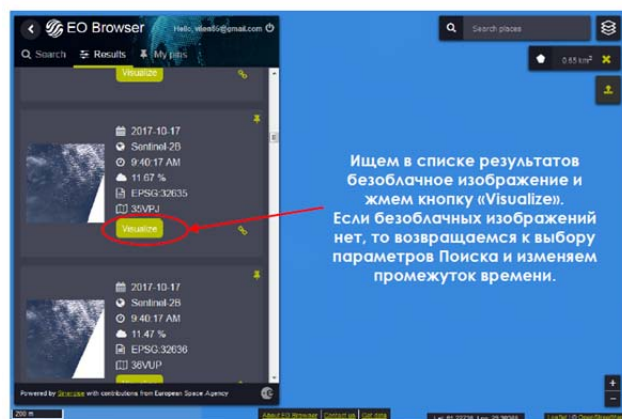
Шаг 1



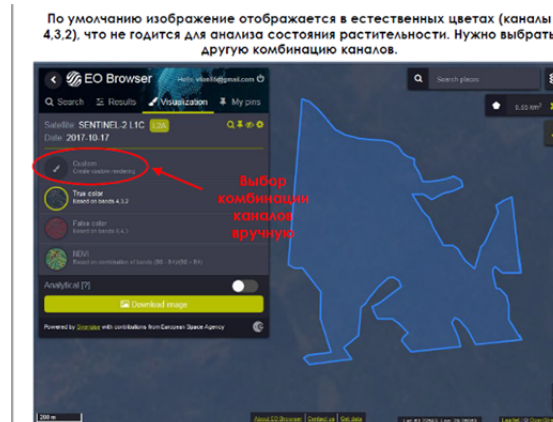
Шаг 2



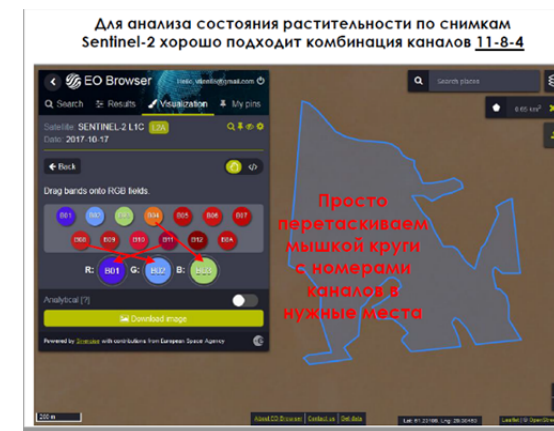
Шаг 3



Шаг 4



Шаг 5



Шаг 6

Рисунок 6.84 – Подготовка снимков с использование EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>)

3. Производится обработка данных дистанционного зондирования.

Загружаем готовое синтезированное изображение в программную среду ГИС (Esri, MapInfo, QGIS (Quantum GIS), Google Earth Pro (рисунок 6.85).

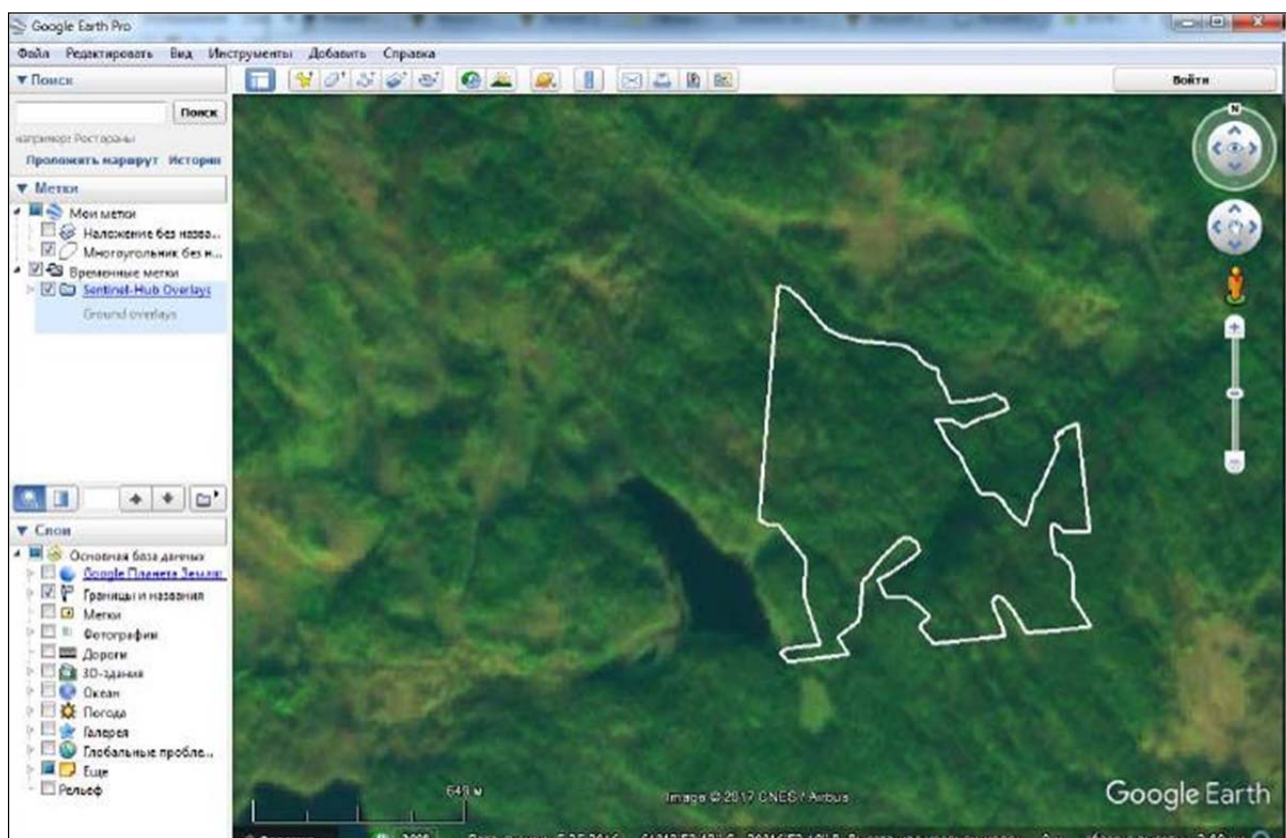


Рисунок 6.85 – Загрузка синтезированного приложения в среду Google Earth Pro

Если загружались «сырые» каналы, то вручную проводится синтез каналов в соответствии со схемами синтеза сенсоров (рисунки 6.86-6.91, см. приложение 3).

Шаг 1. Запускаем ArcGIS (см. рисунок 6.86).

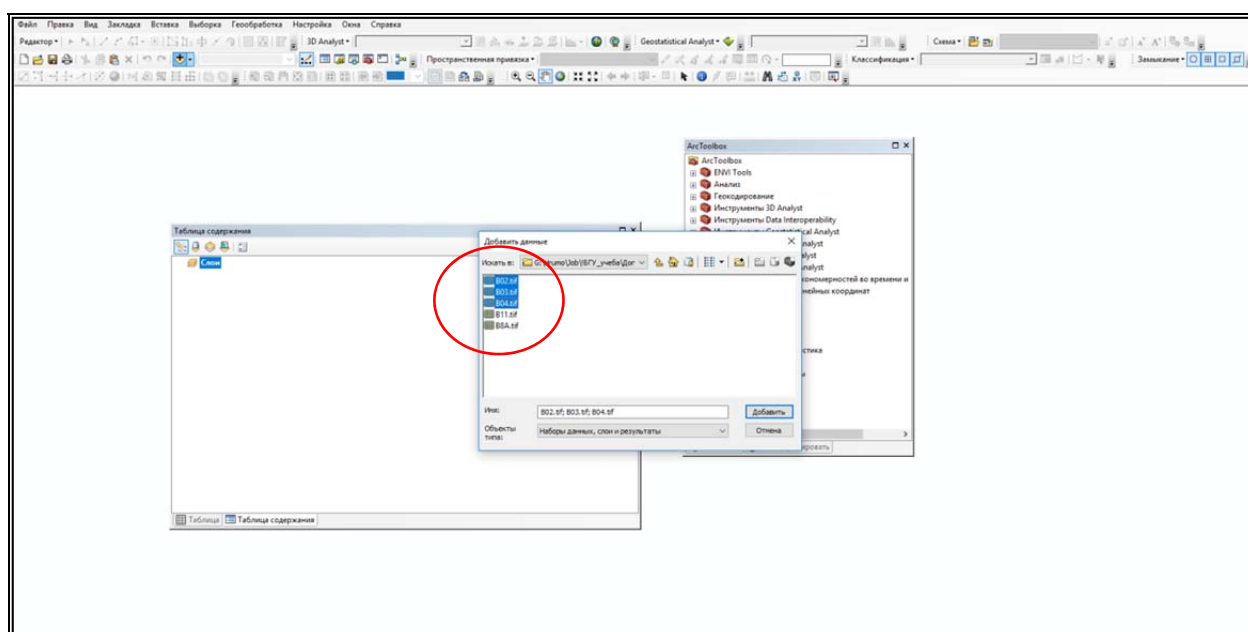


Рисунок 6.86 – Шаг 1. Запускаем ArcGIS

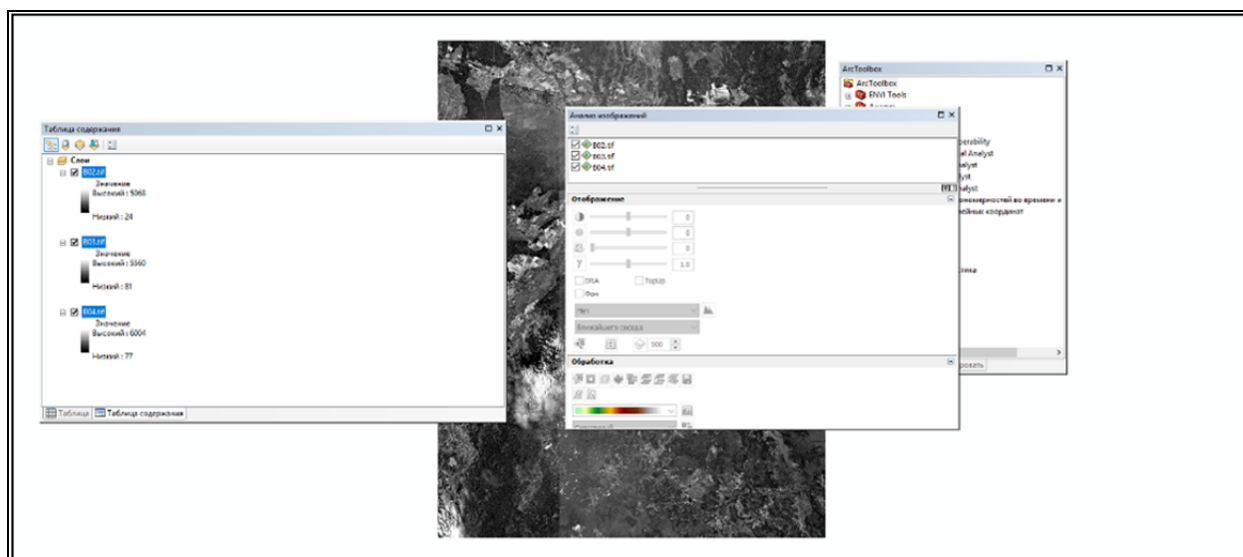


Рисунок 6.87 – Шаг 2. Загружаем «сырые» спутниковые снимки (вариант RGB: B04-B03-B02)

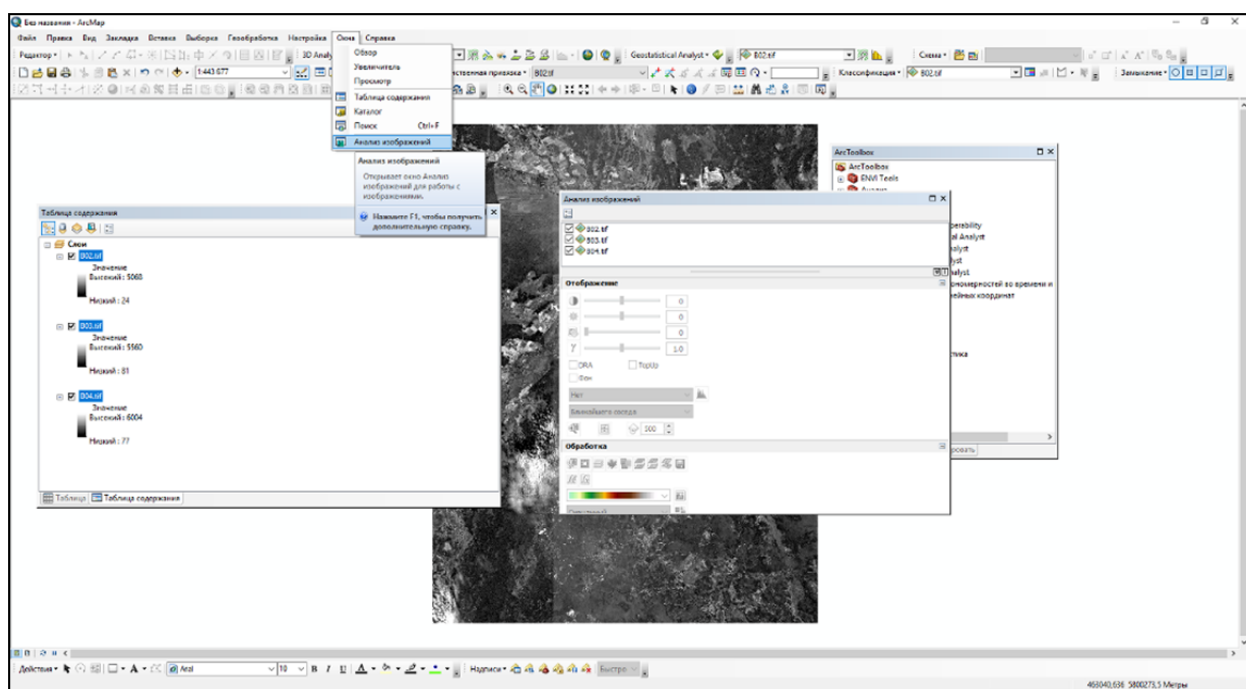


Рисунок 6.88 – Шаг 3. Запускаем процедуру синтеза каналов (через опцию ОКНА – Анализ изображений)

Шаг 2. Загружаем «сырые» спутниковые снимки (вариант RGB: B04-B03-B02) (см. рисунок 6.87).

Шаг 3. Запускаем процедуру синтеза каналов (см. рисунок 6.88) через опцию ОКНА – Анализ изображений.

Шаг 4. В окне АНАЛИЗ изображений при нажатой Ctrl выбираем спектральные каналы (см. рисунок 6.89) в том порядке как записаны формулы синтеза изображений (первым B04- вторым B03-третьим B02).

Шаг 5. Нажимаем на значок синтез (см. рисунок 6.90).

Шаг 5. Сохраняем композитный снимок в рабочей папке (см. рисунок 6.91).

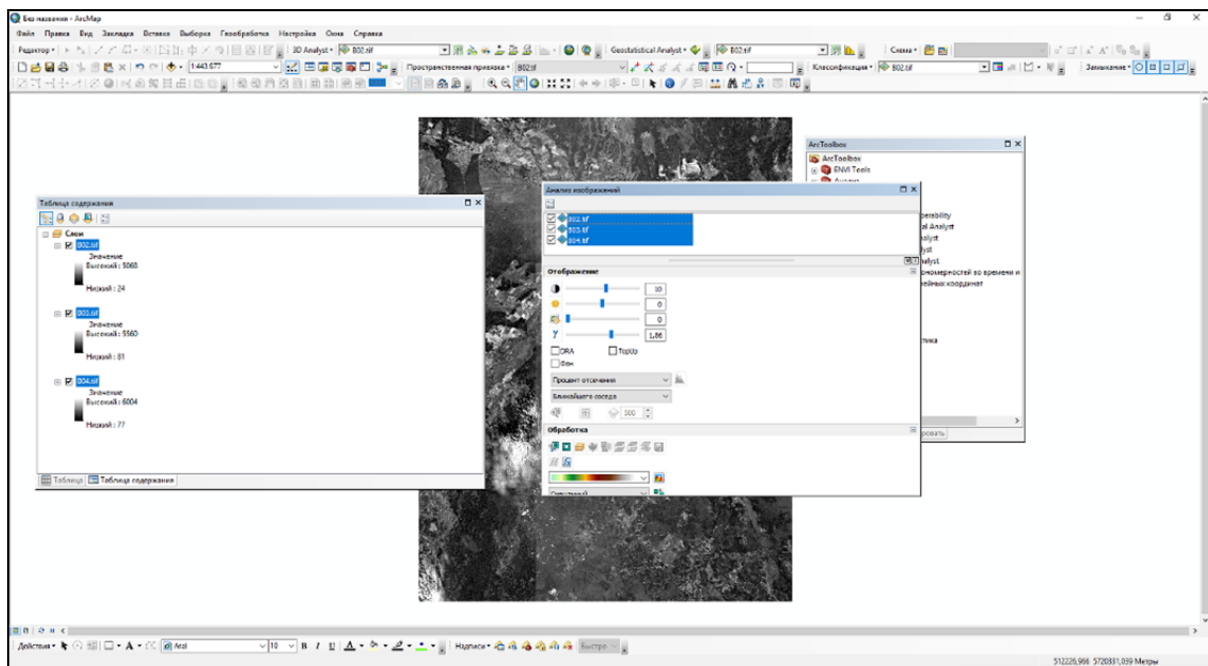


Рисунок 6.89 – Шаг 4. В окне АНАЛИЗ изображений при нажатой Ctrl выбираем спектральные каналы в том порядке как записаны формулы синтеза изображений (первым B04- вторым B03-третьим B02)

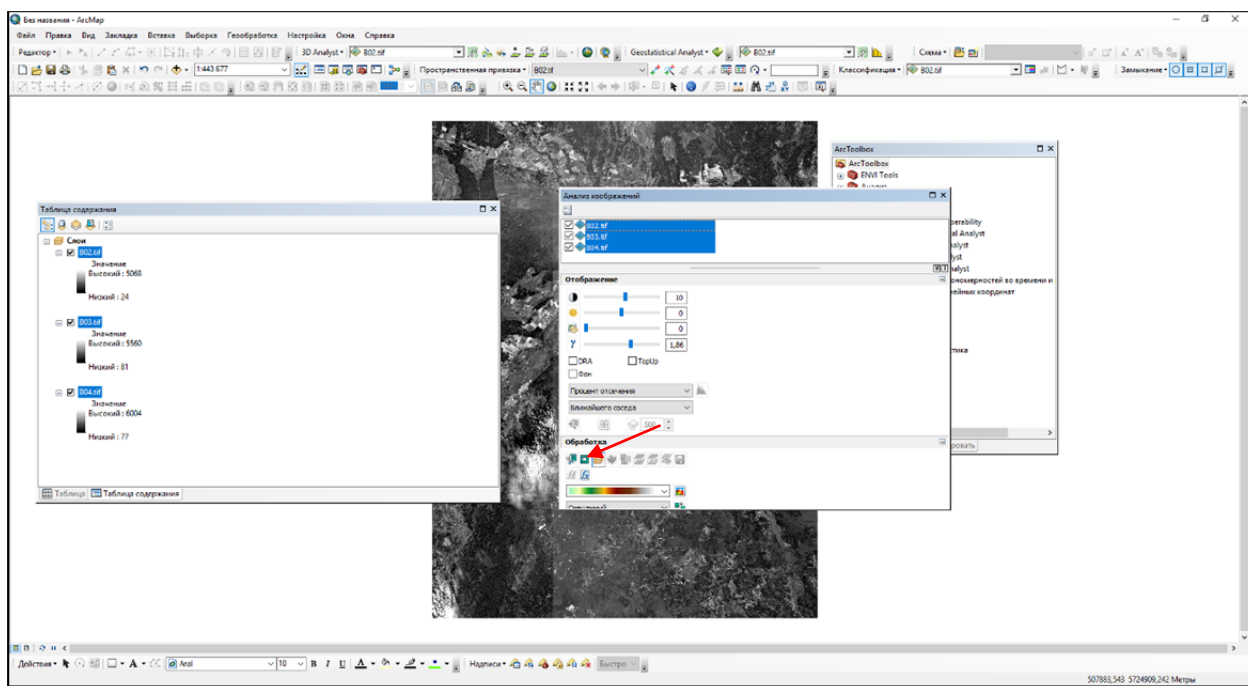


Рисунок 6.90 – Шаг 5. Нажимаем на значок синтез

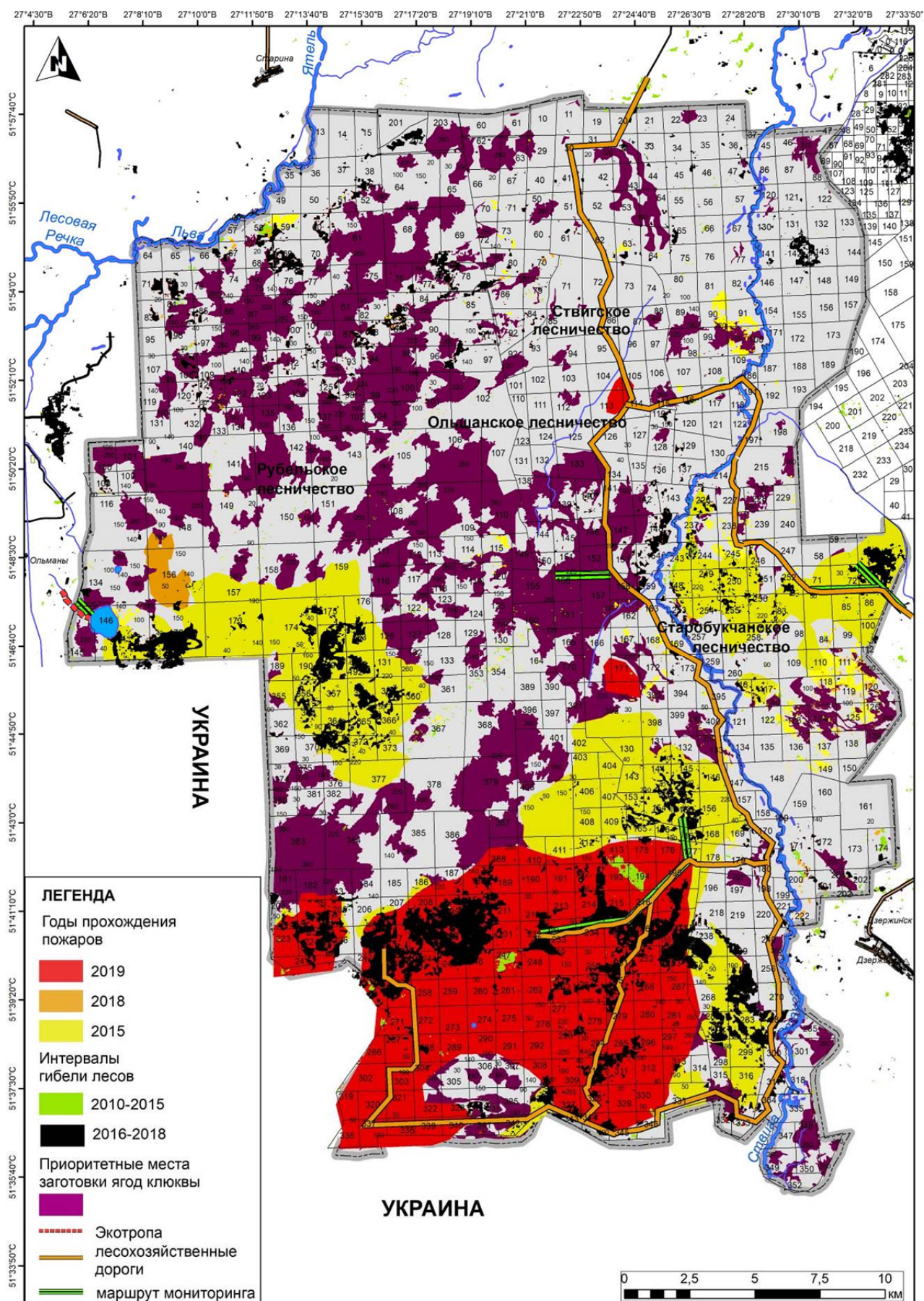


Рисунок 6.92 – Предварительная карта угроз экосистемам и биологическому разнообразию с маршрутом полевых исследований (на примере республиканского заказника «Ольманские болота»)

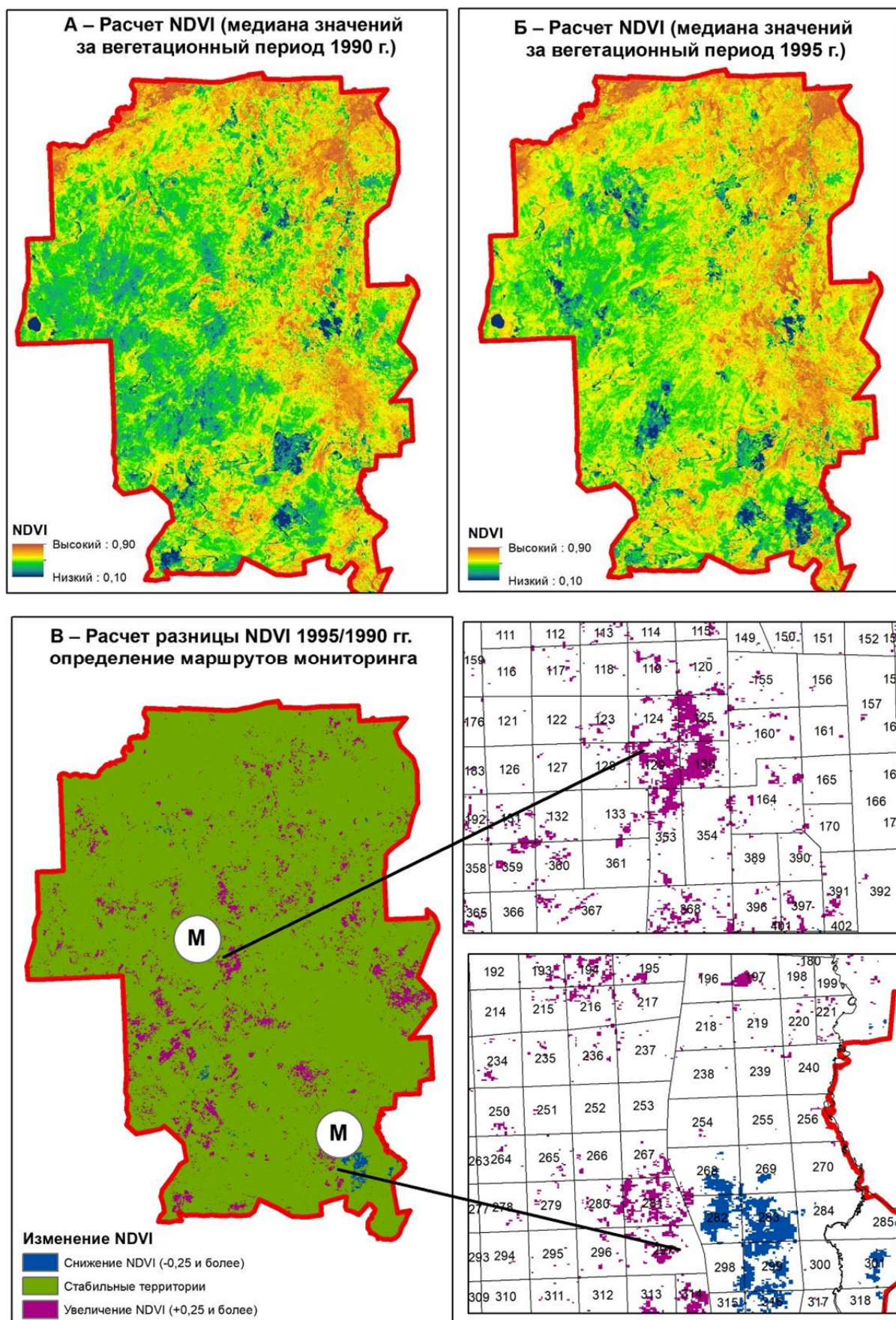


Рисунок 6.93 – Примеры формирования маршрута мониторинга с использованием метода разности вегетационных индексов

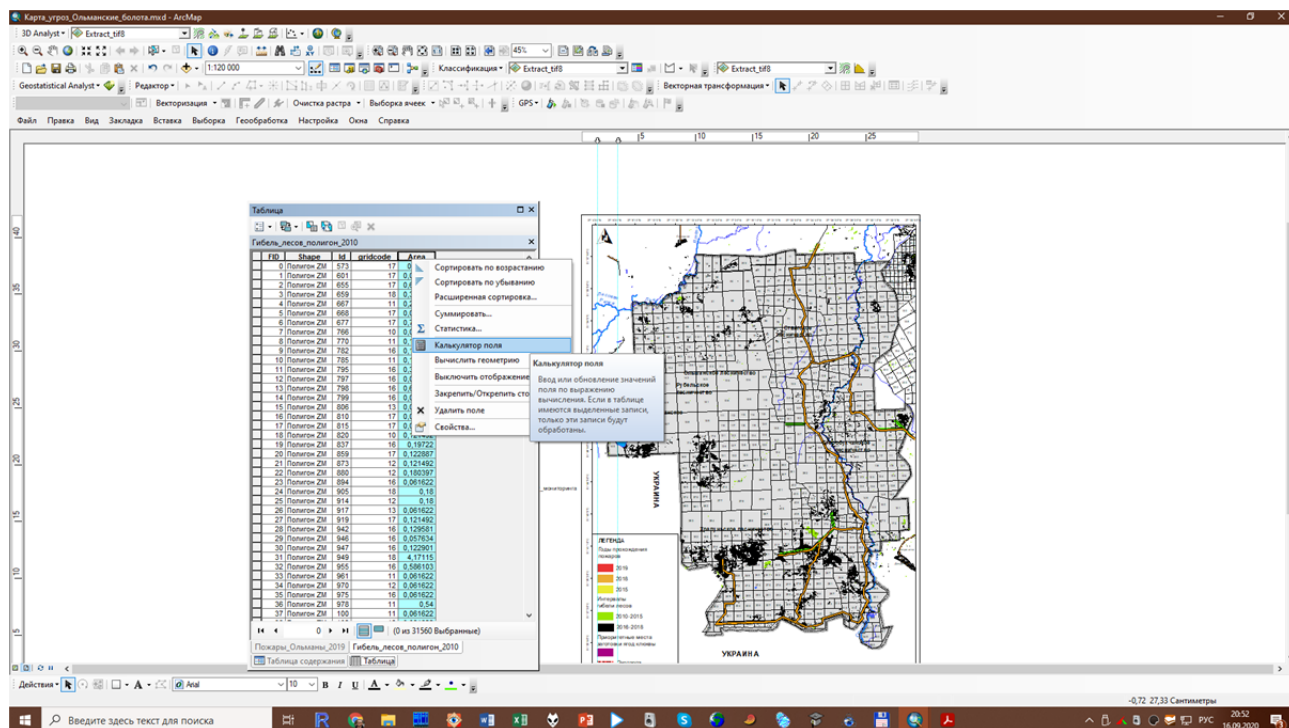


Рисунок 6.94 – Расчет площадей угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием стандартного калькулятора ArcGIS

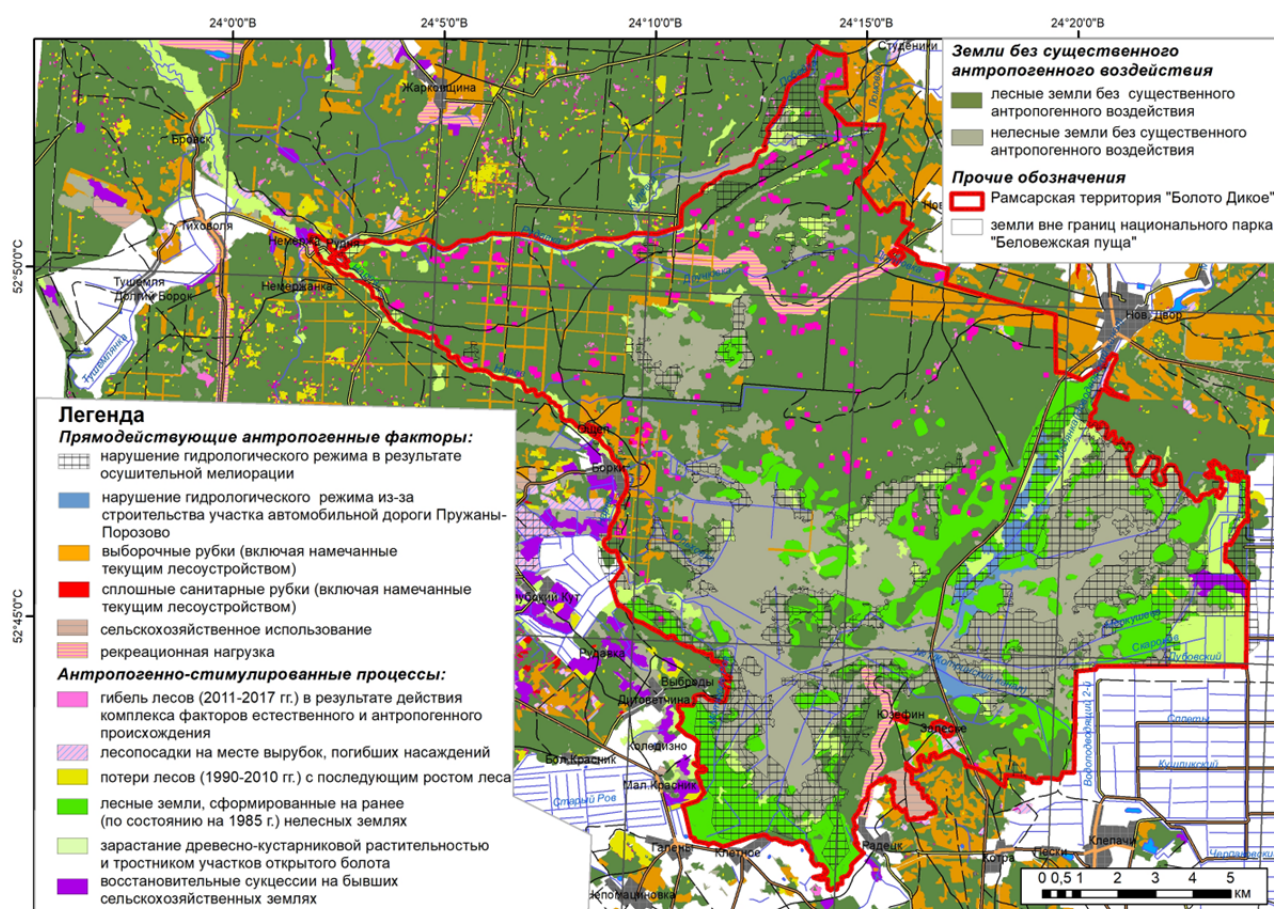


Рисунок 6.95 – Фрагмент карта угроз экосистемам и биологическому разнообразию (на примере национального парка «Беловежская пушча»)

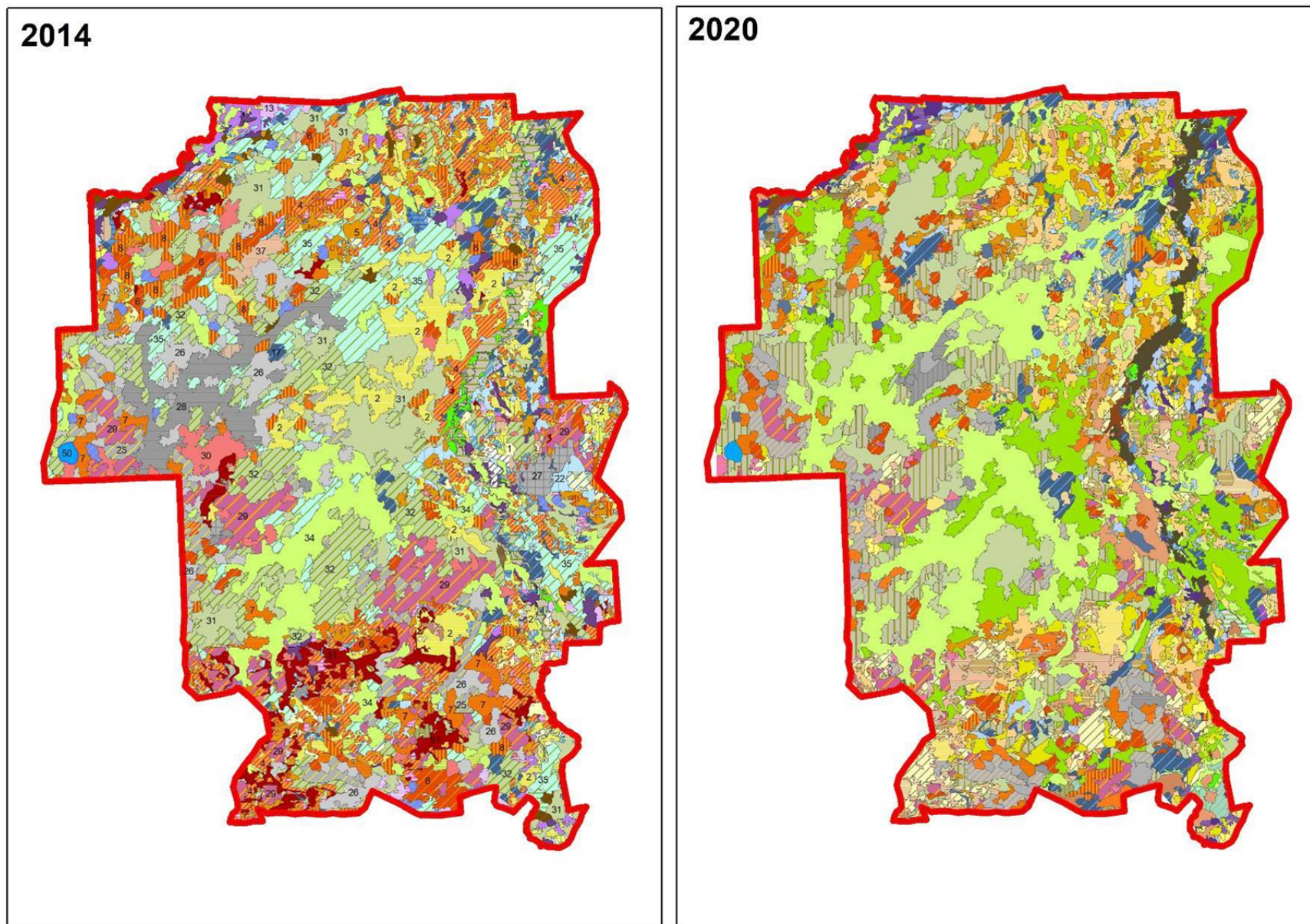


Рисунок 6.96 – Разновременные базовые тематические карты растительности республиканского заказника «Ольманские болота»

Концептуальная схема развития системы дистанционного мониторинга экосистем на ООПТ может быть следующей (рисунок 6.97).



Рисунок 6.97 – Концептуальная схема развития системы дистанционного мониторинга экосистем на ООПТ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов, Д.Е. Космические снимки для задач лесного хозяйства / Д.Е. Аксенов, А.Ю. Ярошенко // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. – 2009, № 1. – С. 10-17.
2. Белавская А. П. Высшая водная растительность // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. С. 117–132.
3. Белавская А.П. К методике изучения водной растительности // Бот. журн. 1979. Т. 64, №1. С. 32-41.
4. Блакітны скарб Беларусі: Энцыкл./Беларус. Энцыкл. Мн.: БелЭн, 2007. – 480 с.
5. Бурцев, М.А. Современные возможности и перспективы развития Объединённой системы распределённой работы с данными НИЦ «Планета» / М.А. Бурцев, С.А. Успенский, Л.С. Крамарева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019, Т. 16, № 3. – С. 198-212.
6. Власов Б.П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: Метод. рекоменд. / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич. – Мн.: БГУ, 2002. – 84 с.
7. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 326 с.
8. Гигевич Г. С., Власов Б. П. Мониторинг высшей водной растительности как метод контроля за трансформацией природной среды // Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия. Minsk – Sosnowies, 2000. С. 186–192.
9. Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. В Высшие водные растения Беларуси: Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. – Мн.: БГУ, 2001. – 231 с.
10. Глебов Ф.З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. – Новосибирск, 1988. – 125 с.
11. Данные Гербария ИЭБ НАН Беларуси (MSK), Белгосуниверситета (MSKU)
12. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. – М.: Прометей, 1989. – 105 с.
13. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Эфемероиды. – М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1987. – 79 с.
14. Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений. – М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1983. - Ч. 2. – 96 с.
15. Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений. – М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1983. - Ч. 3. – 79 с.
16. Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений. Однодольные. Злаки. – М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1980. - Ч. I. – 109 с.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1979. – 416 с.
18. Жирин, В.М. Динамика спектральной яркости космического изображения лесных экосистем / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйдлина // Лесоведение. – 2014, № 5. – С. 3-12.
19. Жирин, В.М. Применение материалов аэрокосмических съемок для проведения мониторинга зеленых насаждений / В.М. Жирин, Г.С. Лебедева. – М.: НИА-Природа, 2006. – 40 с.
20. Жирин, В.М. Сезонная информативность многоспектральных космических снимков высокого разрешения при изучении породно-возрастной динамики лесов/ В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйдлина, Н.В. Зукерт // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012, Том 9, № 1. – С. 87-95.
21. Жирин, В.М. Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйдлина // Лесоведение. – 2013, № 5. – С. 76-85.
22. Зенкевич, Ю.Э. Мониторинг лесохозяйственной деятельности: опыт применения данных космической съемки высокого и сверхвысокого разрешения / Ю.Э. Зенкевич, И.В. Глушков, Т.А. Антонова // Земля из космоса. – 2009, № 1. – С. 17-21.
23. Зубков, И.А. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ / И.А.Зубков, В.О. Скрипачев // Современные проблемы дистанционного

зондирования Земли из космоса. – М., 2007. – С. 57-62.

24. Ильючик, М.А. Предварительная ресурсная оценка поврежденных лесных насаждений на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий М.А. Ильючик, С.С. Цай // Научный журнал «Труды БГТУ». – Сер. Лесн. Хоз-во, 2011, № 1 (139). – С. 26-29.

25. Кац Н. Я. Болота земного шара. М.: Наука, 1971. – 296 с.

26. Книжников, Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю. Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

27. Кочуб, Е.В. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли / Е.В. Кочуб, А.А. Топаз // Вестник Полоцкого Государственного Университета. – 2012, Серия F. – С.132-140.

28. Кравцов, С.Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С.Л. Кравцов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.

29. Красная Книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений. – Мн., БелСЭ, 2015. – 456 с.

30. Красная Книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. – Мн., БелСЭ, 2014. – 320 с.

31. Круганова Е.А., Баранова М.Е., Буртыс Н.А. Вопросы геоботанического картографирования луговой растительности Белоруссии // Геоботанические исследования. – Мн., 1966. – С. 52–56.

32. Курлович, Д.М. Геоинформационные методы анализа и прогнозирования погоды: учебн.-метод. пособие / Д.М. Курлович. – Мн.: БГУ, 2013. – 191 с.

33. Лабутина, И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина // WWF России. – Москва, 2011. – 87 с.

34. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. – 200 с.

35. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. – 200 с.

36. Лупян, Е.А. Современные возможности организации распределенной обработки данных дистанционного зондирования / Е.А. Лупян, И.В. Балашов, М.А. Бурцев // Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». – Санкт-Петербург. 16-17 сентября 2015. – СПб, 2015. – С. 89-94.

37. Лупян, Е.А. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «ПЛАНЕТА» / Е.А. Лупян, О.Е. Милехин, В.Н. Антонов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2014, № 12. – С.89-97.

38. Мазинг В.В. Некоторые вопросы крупномасштабного картирования растительности // Принципы и методы ботанического картографирования. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 47–54.

39. Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (Постановление Бюро Президиума НАН Беларуси от 27.07.2009 г. №405) / Под ред. А. В. Пугачевского. – Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн.: Право и экономика, 2011. – 165 с.

40. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская (отв. ред.). – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 383 с.

41. Методические рекомендации по инвентаризации и картированию особо ценных в хозяйственном отношении, редких и исчезающих видов растений / Ин-т эксперимент. ботаники; О.М. Масловский. Мн., 1998.

42. Научные основы организации системы охраняемых природных территорий Белорусской ССР / Л.М. Суценья, В.И. Парфенов, Г.В. Вынаев, Г.Ф. Рыковский // Программа ЮНЕСКО "Человек и биосфера" (МАН) в Белорусской ССР. - Минск, 1983. - С. 13-18. и др. //

- Охрана природы, наука и общество: Материалы I-го международного конгресса по биосферным заповедникам. - Unesco-Uner, Минск, 1984. - С. 15-23.
43. Носенко, Ю.И. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы / Ю.И. Носенко, П.А. Лошкарев // Геоматика. – 2010, № 3. – С. 35-43.
44. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
45. Полевая геоботаника. – Т. 1. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 444 с.
46. Полевая геоботаника. – Т. 2. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 500 с.
47. Полевая геоботаника. – Т. 3. – М.–Л.: Наука, 1964. – 530 с.
48. Полевая геоботаника. – Т. 4. – М.–Л.: Наука, 1972. – 336 с.
49. Полевая геоботаника. – Т. 5. – М.–Л.: Наука, 1976. – 320 с.
50. Программный комплекс ENVI: Учебное пособие. – М.: «Совзонд», 2007. – 229 с.
51. Пугачевский А.В., Судник А.В., Вершицкая И.Н. Концепция экологического каркаса лесной территории и ландшафтного планирования устойчивого лесного хозяйства // Природные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 106-118.
52. Растительность и биотопы национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (М 1:60 000) и картой биотопов (М 1:60 000) / под ред. А.В. Пугачевского. – Мн: Колорград, 2017. – 82 с.
53. Рачковская, Е.И. Использование дистанционных методов для оценки степени антропогенной трансформации пастбищ / Е.И. Рачковская, С.С. Темирбеков, Р.Е. Садвокасов // Геоботаническое картографирование 1998-2000. – СПб, 2000. – С. 16-25.
54. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь (Технический кодекс ТКП 026-2006 (02080)). – Мн., МЛХ РБ, 2006. – 32 с.
55. Скарбы прыроды Беларусі: Тэрыторыі, якія маюць міжнар. значэнне для захавання біял. разнастайнасці. – Treasures of Belarusian Nature: Areas of International Significance for Conservation of Biological Diversity. Пад агульн. Рэд. А.В. Казуліна; Аўт.-уклад. А.В. Казулін і інш.; Мастак Т.А. Мельянец. – Мн.: Беларусь, 2003. – 160 с.
56. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник / В.И. Сухих. – Йошкар Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
57. Сухих, В.И. Применение сканерных космических снимков при инвентаризации резервных лесов / В.И. Сухих, В.М. Жирин // Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов. Приборы и технологии: материалы Всероссийского совещания-семинара с международным участием. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. – С. 92–97.
58. Сцепановіч І. М. Комплексны падыход да распрацоўкі сінтаксанаміі расліннасці Беларусі // Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. – № 2, 1994. – С. 18-22.
59. Сцепановіч І. М. Эколага-фларыстычны дыягназ сінтаксонаў прыроднай травяністай расліннасці Беларусі. – Мн.: “Камтат”, 2000а. – 140 с.
60. Сцепановіч І. М., Шарпію Т. П. Біяхімічны склад і кармавыя вартасці травастояў прыродных лугавых супольніцтваў // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – № 2, 2001. – С. 34-39.
61. Сцепановіч І.М. Сінтаксанамія й сіндынаміка лугавой расліннасці Беларусі: Дыс. ... докт. біял. навук. – Мн., 1999. – 775 с.
62. Сцепановіч І.М. Эколага-фларыстычны дыягназ сінтаксонаў прыроднай травяністай расліннасці Беларусі. – Мн.: “Камтат”, 2000. – 140 с.
63. Сцепановіч Я. М. Ксератэрмныя (астэпаваныя) лугавыя супольніцтвы Беларусі // Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. – № 2, 1997. – С. 12-20.
64. Сцепановіч Я.М. Трансект-метады як аснова маніторынгу раслінных экасістэм (з нямецкага досведу) // Міжнародны экалагічны досвед і яго выкарыстанне на Беларусі. Зборнік навуковых артыкулаў. International Environmental Experience: Applications for Belarus (collected papers) / Пад агульнай рэд. У. К. Слабіна. – Віцебск: ВФ УА ІСВ, 2003. – С. 226–230
65. Уранов А.А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1960. – Т. 65. – Вып. 3. – С. 77–92.

66. Усова, Л.И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири / Л.И. Усова. – СПб.: Нестор-История, 2009. – 80 с.
67. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Под ред. А.А. Уранова, Т.И. Серебряковой. – М.: Наука, 1976. – 217 с.
68. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Под ред. Т.И. Серебряковой, Т.Г. Соколовой. – М.: Наука, 1988. – 184 с.
69. Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения) / Под ред. Т.И. Серебряковой. – М.: Наука, 1977. – 131 с.
70. Чабан, Л.Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации при картографировании геопространственных данных. Учебное пособие / Л.Н. Чабан. – М.: МИИ-ГАиК, 2013. – 96 с.
71. Черепанов, А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – № 3, 2009. – С. 28-32.
72. Черепанов, А.С. Вегетационные индексы / А.С. Черепанов // Геоматика. – № 2, 2011. – С. 98-102.
73. Шаталов, А.В. К оценке повреждения лесов Национального парка «Водлозерский» по космическим изображениям QuickBird / А.В. Шаталов, В.М. Жирин, В.И. Сухих, С.П. Эй-длина, В.С. Шалаев // Водлозерские чтения: естественно научные и гуманитарные основы природоохранной и просветительской деятельности НП «Водлозерский». – Матер, науч.-практ. конф. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2006. – С. 102-106.
74. Шенников А.П. Введение в геоботанику. – Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1964. – 447 с.
75. Юркевич И.Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 120 с.
76. Юркевич И.Д., Бусько С.Р., Степанович И.М. Кормовая оценка луговой флоры Белоруссии // Ботаника: Исследования. Вып. 28. – Мн.: Наука и техника, 1987. – С. 3–15.
77. Юркевич И.Д., Голод Д.С., Адериho В.С. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. – Мн.: Наука и техника, 1979. – 248 с.
78. Якушко О.Ф., Мыслеvec И.А., Рачевский А.Н., Богдель И.И., Власов Б.П. и др. Озера Белоруссии. Мн.: Ураджай, 1988. – 216 с.
79. Barkman J., Moravec J., Rauschert S. Code of phytosociological nomenclature // Vegetatio. – 1986. Vol. 67, N 3. – P. 145-195.
80. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie: Grundzuge der Vegetationskunde. - 3-te Aufl. – Wien; New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 S.
81. Ellenberg H. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Teil 1: Einführung in die Phytologie von H. Walter. – Bd. 4: Grundlagen der Vegetationsgliederung. – Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1956. – 136 S.
82. Jensen, J.R. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective, 2nd Ed. / J.R. Jensen. – N.Y.: Prentice Hall, 1996. – 318 p.
83. Lillesand, T.M. Remote Sensing and Image Interpretation: fifth edition / T.M. Lillesand, R.W. Kiefer. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. – 820 p.
84. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment and analysis of the effects of air pollution on forests / United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. – Hamburg: Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), 1998. – 408 p.
85. Muller E., Stierlin H.R. Sanasilva Tree Crown Photos with percentages of foliage loss.- Birmensdorf, 1990.- 129 p.
86. Rothmaler W. Exkursionflora von Deutschland. Band 3. Gefäßpflanzen: Atlasband / Hrsg. von E. J. Jäger und K. Werner. – Jena; Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1994. – 754 S.
87. Rothmaler W. Exkursionflora. – Berlin: Volk und Wissen Volkseigener, 1976. – 811 S.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений в лесных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ

Матрица угроз

Угрозы	Степень (0-5)	Характеристика угрозы (описание, масштаб)	Необходимые меры
Лесные пожары			
Сельхозпалы			
Рекреация			
Рубки леса			
Побочное пользование			
Потрава (перевыпас)			
Размножения фитофагов			
Болезни			
Подтопление/затопление			
Загрязнение: техногенное			
мусором			
биологическое			
Гидромелиорация			
Нарушение почвы: техногенное			
зоогенное	<i>1</i>	<i>Кабаны</i>	
Заморозки			
Засухи			
Природные сукцессии			
Изменение землепользования			
Прочие			

Национальная система мониторинга
окружающей среды в Республике Беларусь

**КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

ПАСПОРТ
постоянного пункта наблюдения

ППУ № *СИ – лес – 03*

ООПТ *Ландшафтный заказник «Синьша»*

Область *Витебская*

Район *Россонский*

Землепользование:
категория земель *лесные (покрытые лесом)*

землепользователь *Россонский лесхоз*

Географические координаты ППУ:

Широта *56⁰ 00' 26,6''* с.ш.

Долгота *29⁰ 11' 32,2''* в.д.

Приведена на бланке

Едем из д.Горбачево на д.Воронино и дальше почти до границы с Российской Федерацией. Стрелка на квартальной просеке в 100 метрах от границы. ППН в 100 метрах дороги. Второй сателит расположен у квартальной просеки

Положение	Таксационное описание
Землепользователь <u>Лесхоз</u>	Состав I яруса <u>5Б63Е1С1Олч+Ос</u>
Лесхоз <u>Россонский</u>	II яруса <u>—</u>
Лесничество <u>Горбачевское</u>	Происхождение <u>естеств.</u>
Год лесоустройства <u> </u>	Возраст, лет I яруса <u>55</u>
№ квартала <u> </u>	II яруса <u>—</u>
№ выдела <u> </u>	Полнота I яруса <u>0,65</u>
Площадь выдела, га <u> </u>	II яруса <u>—</u>
Группа лесов <u>I</u>	Бонитет <u>IA</u>
Категория лесов <u>леса ООПТ</u>	Запас, м ³ /га I яруса <u>230</u>
	II яруса <u>—</u>
Геоботанический район <u> </u>	Хозмероприятия за последние 5 лет <u>—</u>
Высота над у.м. <u>168 м</u>	Подрост состав <u>9Е1Д+Кл</u>
Топография <u> </u>	ср. высота, м <u>1,5</u>
Экспозиция <u> </u>	ср. возраст, лет <u>15</u>
Угол наклона <u> </u>	густота, шт/га <u>700</u>
Мощность торфяной залежи (при ее наличии) <u> </u>	состояние <u>благонад.</u>
Тип леса <u>Березняк елово-кисличный</u>	Подлесок состав <u>лищ,крл,ряб,бер</u>
ТУМ <u>С2</u>	густота, шт/га <u>средн.</u>
	Дата <u>23 июля 2014 г.</u>
	Исполнители <u>зав.сектором А.В.Судник</u>
	<u>науч. сотр. Р.М.Голушко</u>

№ ТУ	Порода	Категория состояния	Дефолиация, %	Класс повреждения	Лишайники		Повреждения	Примечание
					наличие	покрытие, %		
1-С	1. Ель	осл	20	1	—	0		
	2. Ель	осл	25	1	—	0		
	3. Береза	бп	15	1	—	0		
	4. Береза	бп	10	0	—	0		
	5. Береза	осл	25	1	—	0		
	6. Береза	бп	10	0	—	0		
	7. Береза	бп	10	0	—	0		
	8. Береза	бп	10	0	—	0		
	9. Береза	бп	10	0	—	0		
	10. Береза	бп	10	0	—	0		
Сухостой (свежий/старый):					Бурелом (ветровал):		Снеголом(снеговал):	

2-В	1. Береза	осл	20	1	+	5		
	2. Береза	бп	0	0	+	1		
	3. Береза	бп	10	0	+	5		
	4. Ель	бп	10	0	—	0		
	5. Ель	осл	20	0	—	0		
	6. Ольха ч	бп	10	0	—	0	1% энт	
	7. Ольха ч	бп	10	0	+	1	1% энт	
	8. Ольха ч	бп	10	0	—	0	5% энт	
	9. Ольха ч	бп	10	0	—	0	1% энт	
	10. Ольха	бп	10	0	—	0		
Сухостой (свежий/старый):					/ 1 Бб Бурелом (ветровал):		Снеголом(снеговал):	

3-Ю	1. Ель	осл	15	0	—	0		
	2. Ель	осл	20	1	—	0		
	3. Ель	осл	15	0	—	0		
	4. Ель	бп	5	0	+	1		
	5. Ель	бп	10	0	—	0		
	6. Ель	осл	15	1	+	1		
	7. Ель	осл	15	1	+	1		
	8. Ель	бп	5	0	—	0		
	9. Осина	бп	10	0	—	0		
	10. Сосна	бп	10	0	—	0		
Сухостой (свежий/старый):					/ 1 Ос Бурелом (ветровал):		Снеголом(снеговал):	

4-3	1. Береза	бп	5	0	+	25		
	2. Береза	осл	15	1	+	10		
	3. Береза	осл	15	1	+	10		
	4. Береза	бп	10	0	+	10	мех. поврежд.	
	5. Береза	бп	0	0	+	5		
	6. Береза	бп	10	0	+	10		
	7. Береза	осл	15	1	—	0		
	8. Ель	бп	0	0	—	0		
	9. Сосна	осл	15	1	+	10		
	10. Сосна	бп	0	0	+	5		
Сухостой (свежий/старый):					Бурелом (ветровал):		Снеголом(снеговал):	

5-Ц	1. Береза	бп	10	0	+	3		
	2. Береза	бп	10	0	+	1		
	3. Береза	бп	10	0	+	5		
	4. Береза	осл	20	1	+	3		
	5. Береза	осл	25	1	+	15		
	6. Ель	бп	5	0	—	0		
	7. Ель	бп	0	0	+	1		
	8. Ель	бп	10	0	—	0		
	9. Ель	бп	10	0	—	0		
	10. Сосна	бп	5	0	+	1		
Сухостой (свежий/старый):					Бурелом (ветровал):		Снеголом(снеговал): 1 Ос /	

№ ТУ	Подрост									Подлесок			Покрытие травяно- кустарнич. яруса, %	Покрытие мохово- лишайник. яруса, %	Мощность подстил- ки, см	
	порода	до 0,5 м			0,5-1,5 м			более 1,5 м			порода	средняя высота, м				проективное покрытые, %
		благо- надежный	неблаго- надежный	сухой	благо- надежный	неблаго- надежный	сухой	благо- надежный	неблаго- надежный	сухой						
1-С	Ель			2		1	1	5	2				40,0	1,0	1,0	
															1,0	
															0,5	
															1,5	
															1,0	

2-В	Ель				1	2			2		Лиц	4,6	40,0	90,0	1,0	1,0
											Бер	0,8	1,0			1,0
																1,5
																1,0
																1,5

3-Ю											Лиц	1,3	3,0	90,0	2,0	1,0
											Ряб	1,1	7,0			1,0
											Бер	1,0	5,0			2,0
											Жим	1,6	4,0			1,5
																1,5

4-З	Ель	8	2		3	1	1		1		Ряб	0,9	1,0	35,0	15,0	1,0
											Бер	0,9	2,0			1,0
																2,0
																1,5
																1,0

5-Ц	Ель			1		2					Крл	1,1	1,0	80,0	5,0	1,0
	Дуб		1								Ряб	1,0	5,0			1,0
											Бер	1,2	3,0			0,5
											Жим	1,0	1,0			0,5
																1,5

ВЫБИТОСТЬ: а) подстилки 0, %
б) травяно-кустарничкового яруса 0, %

МУСОР 0 балл

ОТОБРАНЫ ОБРАЗЦЫ _____
_____.

УГРОЗЫ: _____

_____.

ООПТ Заказник «Синьша» ППН № СИ-лес-03 Дата 23 июля 2014 г.

Описание живого напочвенного покрова (травяно-кустарничкового яруса)

№	Вид	Вы-	Проектив-	Фено-	Оби
---	-----	-----	-----------	-------	-----

	Латинское название	Русское название	сота, м	ное покры- тие, %	фаза	лие
Деревья и кустарники						
1.	<i>Picea abies (L.) Karst.</i>	Ель обыкновенная	5		вегет.	
2.	<i>Populus tremula L.</i>	Осина	1,3		вегет.	
3.	<i>Acer platanoides L.</i>	Клен остролистный	1,2		вегет.	
4.	<i>Quercus robur L.</i>	Дуб черешчатый	0,5		вегет.	
5.	<i>Tilia cordata Mill.</i>	Липа сердцелистная	0,3		вегет.	
6.	<i>Euonymus europaea L.</i>	Бересклет европейский	2		вегет.	
7.	<i>Lonicera xylosteum L.</i>	Жимолость обыкновенная	1,5		вегет.	
8.	<i>Sorbus aucuparia L.</i>	Рябина обыкновенная	1,2		вегет.	
9.	<i>Daphne mezereum L.</i>	Волчегородник обыкновенный	1,2		вегет.	
10.	<i>Viburnum opulus L.</i>	Калина обыкновенная	1,2		вегет.	
11.	<i>Frangula alnus Mill.</i>	Крушина ломкая	0,5		вегет.	
12.	<i>Corylus avellana L.</i>	Лещина обыкновенная			вегет.	
Травы и кустарнички						
13.	<i>Rubus idaeus L.</i>	Малина	1,25		плодон.	
14.	<i>Calamagrostis arundinacea (L.)</i>	Вейник тростниковидный	1,2		цветет	
15.	<i>Pteridium aquilinum (L.) Kuhn</i>	Орляк обыкновенный	0,8		вегет.	
16.	<i>Equisetum arvense L.</i>	Хвощ полевой	0,3		вегет.	
17.	<i>Dryopteris carthusiana (Vill.) H.</i>	Щитовник картузианский	0,3		спорон.	
18.	<i>Actaea spicata L.</i>	Воронец колосистый	0,3		вегет.	
19.	<i>Dryopteris filix-mas (L.) Schott</i>	Щитовник мужской	0,3		вегет.	
20.	<i>Campanula trachelium L.</i>	Колокольчик крапиволист.	0,3		цвет.	ед.
21.	<i>Rubus saxatilis L.</i>	Костяника	0,25		вегет.	
22.	<i>Polygonatum officinale (L.) All.</i>	Купена лекарственная	0,25		плодон.	
23.	<i>Aegopodium podagraria L.</i>	Сныть обыкновенная	0,25		вегет.	
24.	<i>Hieracium umbellatum L.</i>	Ястребинка зонтичная	0,2		вегет.	
25.	<i>Orthilia secunda House</i>	Ортилия однобокая	0,2		плодон.	
26.	<i>Ajuga reptans L.</i>	Живучка ползучая	0,2		вегет.	
27.	<i>Urtica dioica L.</i>	Крапива двудомная	0,2		плодон.	+
28.	<i>Equisetum sylvaticum L.</i>	Хвощ лесной	0,2		вегет.	
29.	<i>Mycelis muralis (L.) Dumort.</i>	Мицелис стенной	0,2		цветет	
30.	<i>Vaccinium myrtillus L.</i>	Черника	0,2	10	вегет.	
31.	<i>Solidago virgaurea L.</i>	Золотарник обыкновенный	0,15		вегет.	
32.	<i>Galeobdolon luteum Huds.</i>	Зеленчук желтый	0,15	10	вегет.	
33.	<i>Melampyrum nemorosum L.</i>	Марьянник дубравный	0,15		цветет	
34.	<i>Fragaria vesca L.</i>	Земляника лесная	0,15		вегет.	
35.	<i>Melampyrum pratense L.</i>	Марьянник луговой	0,15		цветет	
36.	<i>Viola riviniana Rchb.</i>	Фиалка Ривиниуса	0,15		плодон.	
37.	<i>Stellaria holostea L.</i>	Звездчатка ланцетовидная	0,15		вегет.	
38.	<i>Galium odoratum (L.) Scop.</i>	Подмаренник душистый	0,15		вегет.	
39.	<i>Moehringia trinervia (L.) Glairv.</i>	Мерингия трехжилковая	0,15		плодон.	
40.	<i>Maianthemum bifolium (L.) F.</i>	Майник двулистный	0,12		вегет.	
41.	<i>Hepatica nobilis Mill.</i>	Перелеска благородная	0,1		вегет.	
42.	<i>Asarum europaeum L.</i>	Копытень европейский	0,1		вегет.	
43.	<i>Trientalis europaea L.</i>	Седмичник европейский	0,08		вегет.	
44.	<i>Achyrophorus maculatus</i>	Тромсдорфия пятнистая	0,05		вегет.	
45.	<i>Convallaria majalis L.</i>	Ландыш майский		30	плодон.	
46.	<i>Oxalis acetosella L.</i>	Кислица обыкновенная			вегет.	
47.	<i>Carex digitata L.</i>	Осока пальчатая			вегет.	

ООПТ НП «Браславские озера» ППН № НПСИ-лес-03 Дата 23 июля 2014 г.

Описание живого напочвенного покрова (травяно-кустарничкового яруса)

№	Вид		Вы- сота, м	Проектив- ное покры- тие, %	Фено- фаза	Оби лие
	Латинское название	Русское название				

Мхи						
48.	<i>Mnium punctatum Hedw.</i>	<i>Мниум точечный</i>	0,15		вегет.	
49.	<i>Pleurozium schreberi (Brid.)</i>	<i>Мох Шребера</i>	0,1	20	вегет.	
50.	<i>Dicranum scoparium Hedw.</i>	<i>Дикранум метловидный</i>	0,1		вегет.	
51.						
52.						
53.						
54.						
55.						
56.						
57.						
58.						
59.						
60.						
61.						
62.						
63.						
64.						
65.						
66.						
67.						
68.						
69.						
70.						
71.						
72.						
73.						
74.						
75.						
76.						
77.						
78.						
79.						
80.						
81.						
82.						
83.						
84.						
85.						
86.						
87.						
88.						
89.						
90.						
91.						
92.						
93.						
94.						
95.						
96.						

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Пример заполнения бланка ключевого участка в луговых и болотных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ

МАТРИЦА УГРОЗ

Угрозы	Степень (0-5)	Характеристика угрозы (описание, масштаб)	Необходимые меры
Болезни	0		
Гидромелиорация	0		
Загрязнение:	0		
биологическое	0		
мусором	0		
техногенное	0		
Заморозки	0		
Засухи	0		
Изменение землепользования	0		
Нарушение почвы:	0		
зоогенное	0		
техногенное	0		
Подтопление/затопление	1	в центральной части профиля в периоды паводок	
Потрава (перевыпас)	0		
Природные сукцессии	1	зарастание деревьями и ивняком	Пастбищный режим, ежегодное сенокошение
Размножения фитофагов	0		
Рекреация	0		
Сельхозпалы	0		
другие	0		
Примечание			

Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь

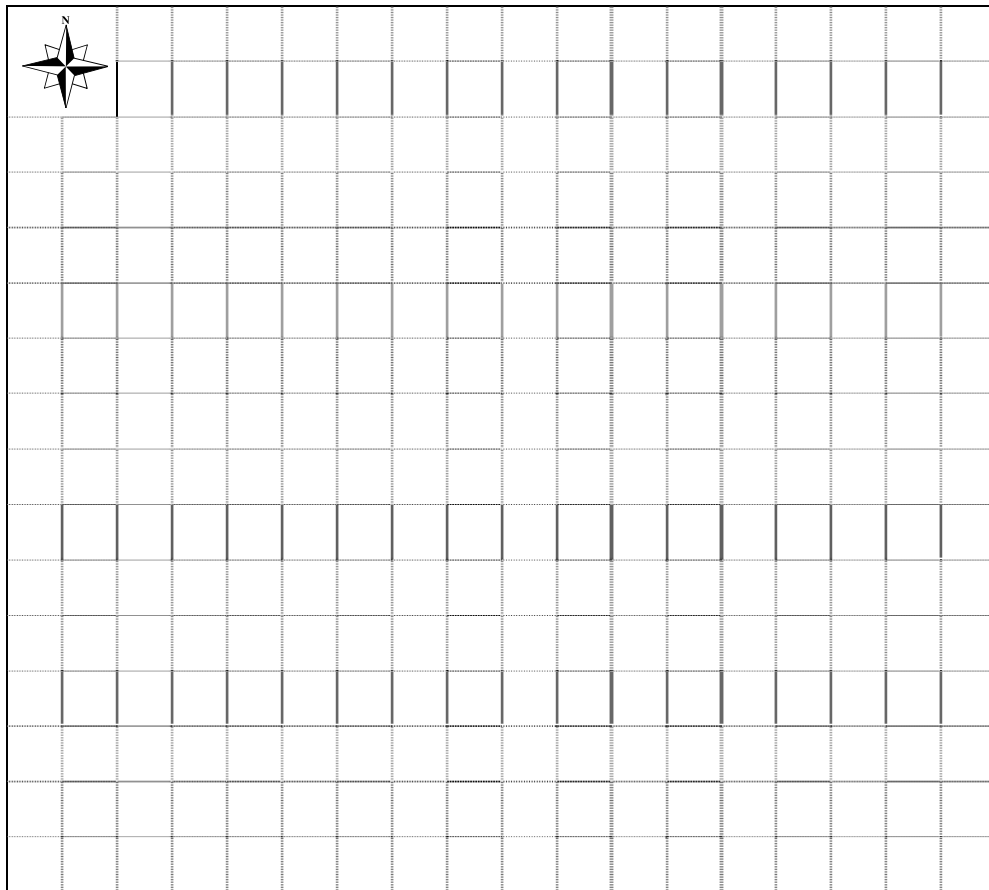
КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

ЛУГОВЫЕ И БОЛОТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

ПАСПОРТ ключевого участка

№ КУ	СИ-ЛУГ-2		
Ведомственный № КУ			
Местоположение КУ:			
область	Витебская		
Район	Россонский		
населенный пункт	д. Перевоз		
речной бассейн	р. Уца		
наименование водного объекта	оз. Дриссы		
Землепользование:			
категория угодья	луг		
землепользователь			
Привязка начала ЭФП:			
географические координаты	50°00'20,4"	с.ш.	
(GPS-привязка):	29°11'23,3"	в.д.	
Направление и расстояние от деревни: 500 м на северо-запад от Перевоз			
Площадь участка, га			
Протяженность ЭФП, км	200 м		
Количество ППП	6		
Год начала наблюдений	2014		
Периодичность наблюдений	1 раз в 5 лет		
Исполнители:			
организация	ИЭБ НАН Беларуси		
Ф.И.О.	Терещенко С.С.		

СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ППП НА КУ



Примечание

ЭФП заложен через луг от дороги до зарослей ивняков в долине р. Уща,
азимут 125°

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА

Класс растительности болотистая и луговая

Ассоциация 5

Субассоциация _____

Вариант _____

Аспект от зеленого до буро-коричневого

Сложение _____

Элемент рельефа холмы и неглубокие западины

Экспозиция _____

Угол наклона _____

Почва (тип, гранулометрический состав, образцы) _____

торфянистая и дерново-подзолистая

Уровень грунтовых вод от -30 до -120 см

Проективное покрытие, %:

общее 100

деревьев и кустарников 5

травянистых растений 98

мхов и лишайников 1

Степень распространения _____

200 м

Хозяйственное использование: _____

Хозяйственное состояние: _____

Степень антропогенного

воздействия, балл _____

Кормовая оценка травостоя, балл _____

Продуктивность

Количество укосов _____

Площадь укосной делянки, м² _____

Общий средний вес, г _____

Вес травы, г _____

Вес мхов и лишайников, г/% _____

Коэффициент перевода в га _____

Продуктивность травостоя, ц/га _____

Агроботанический состав

Вес разборного снопа, г _____

Злаки, г/% _____

Осоковые, г/% _____

Бобовые, г/% _____

Разнотравье, г/% _____

В том числе: _____

Коэффициент усушки, % _____

Естественный урожай сена, ц/га _____

Поправочный коэффициент, % _____

Хозяйственный урожай сена, ц/га _____

Опад, % 60

Примечание

Видовой состав фитоценоза на ключевом участке СИ-ЛУГ-1

№ п/п	Название растений	Ярус	Сред- няя высота, см	Фено- фаза	Жизнен- ность, бал	Проек- тивное покры- тие, %	Обилие, балл	Кормо- вая оценка, балл
<i>ПП 1 Ассоциация Calamagrostidetum epigeji (протяженность 5 + 6,5 м)</i>								
1.	<i>Alnus incana</i>	I	400	вег	4	1	1	
2.	<i>Salix caprea</i>	I	250	вег	4	20	2	
3.	<i>Salix cinerea</i>	I	170	вег	3	+	+	
4.	<i>Calamagrostis epigeios</i>	II	160	пл	5	60	4	
5.	<i>Angelica sylvestris</i>	II	140	цв	4	1	1	
6.	<i>Sonchus arvensis</i>	II	110	цв	3	1	1	
7.	<i>Phleum pratense</i>	II	100	пл	4	1	1	
8.	<i>Dactylis glomerata</i>	II	100	пл	3	+	+	
9.	<i>Festuca pratensis</i>	II	90	пл	3	10	2	
10.	<i>Achillea millefolium</i>	III	80	цв	4	1	1	
11.	<i>Carex contigua</i>	III	70	пл	4	1	1	
12.	<i>Artemisia vulgaris</i>	III	70	пл	3	+	+	
13.	<i>Pimpinella saxifraga</i>	III	70	цв	4	4	1	
14.	<i>Centaurea jacea</i>	III	60	цв	4	5	1	
15.	<i>Vicia cracca</i>	III	60	цв-пл	4	+	+	
16.	<i>Cirsium arvense</i>	III	60	цв	3	1	1	
17.	<i>Lotus corniculatus</i>	III	50	цв	4	3	1	
18.	<i>Carum carvi</i>	III	50	пл	3	+	+	
19.	<i>Plantago lanceolata</i>	IV	40	цв	4	+	+	
20.	<i>Knautia arvensis</i>	IV	40	цв	3	+	+	
21.	<i>Carex hirta</i>	IV	40	пл	3	1	1	
22.	<i>Galium mollugo</i>	IV	40	цв	4	+	+	
23.	<i>Festuca rubra</i>	IV	40	пл	4	15	2	
24.	<i>Equisetum arvense</i>	IV	40	вег	3	7	2	
25.	<i>Briza media</i>	IV	40	пл	3	+	+	
26.	<i>Ranunculus acris</i>	IV	30	цв	4	+	+	
27.	<i>Stellaria graminea</i>	IV	30	вег	3	+	+	
28.	<i>Melilotus albus</i>	IV	20	цв	4	+	+	
29.	<i>Tussilago farfara</i>	IV	20	вег	3	+	+	
30.	<i>Taraxacum officinale</i>	IV	20	вег	4	1	1	
<i>ПП 2 Ассоциация Festucetum pratensis (протяженность 7 м)</i>								
1.	<i>Alnus incana</i>	I	250	вег	4	5	1	
2.	<i>Betula pubescens</i>	I	170	вег	4	1	1	
3.	<i>Angelica sylvestris</i>	II	140	цв	4	+	+	
4.	<i>Calamagrostis epigeios</i>	II	130	пл	3	2	1	
5.	<i>Festuca pratensis</i>	II	120	пл	5	30	3	
6.	<i>Phleum pratense</i>	II	120	пл	4	15	2	
7.	<i>Rumex crispus</i>	II	120	пл	4	+	+	
8.	<i>Pimpinella saxifraga</i>	II	100	цв	4	1	1	
9.	<i>Cirsium arvense</i>	II	100	цв	4	+	+	
10.	<i>Cirsium vulgare</i>	II	100	цв	4	+	+	
11.	<i>Centaurea jacea</i>	II	80	цв	4	20	2	
12.	<i>Deschampsia cespitosa</i>	II	80	пл	4	+	+	
13.	<i>Carex contigua</i>	III	70	пл	4	1	1	

14.	<i>Lysimachia vulgaris</i>	III	70	пл	3	1	1	
15.	<i>Lotus corniculatus</i>	III	60	цв	4	35	3	
16.	<i>Carex pallescens</i>	III	60	пл	3	+	+	
17.	<i>Hieracium umbellatum</i>	III	60	цв	4	+	+	
18.	<i>Geranium palustre</i>	III	50	цв	3	+	+	
19.	<i>Cynosurus cristatus</i>	III	50	пл	3	+	+	
20.	<i>Briza media</i>	III	50	пл	4	1	1	
21.	<i>Juncus effusus</i>	III	50	пл	4	+	+	
22.	<i>Leucanthemum vulgare</i>	III	40	цв	3	3	1	
23.	<i>Festuca rubra</i>	III	40	пл	4	20	2	
24.	<i>Elytrigia repens</i>	III	40	пл	3	+	+	
25.	<i>Achillea millefolium</i>	III	40	цв	4	1	1	
26.	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	III	40	пл	3	+	+	
27.	<i>Carex hirta</i>	III	40	пл	3	+	+	
28.	<i>Knautia arvensis</i>	III	40	цв	3	+	+	
29.	<i>Dactylis glomerata</i>	III	40	пл	4	+	+	
30.	<i>Agrostis tenuis</i>	IV	30	пл	4	15	2	
31.	<i>Vicia cracca</i>	IV	30	цв	4	+	+	
32.	<i>Equisetum arvense</i>	IV	30	вег	3	2	1	
33.	<i>Luzula multiflora</i>	IV	30	пл	4	+	+	
34.	<i>Hypericum maculatum</i>	IV	30	цв	4	+	+	
35.	<i>Taraxacum officinale</i>	IV	30	вег	4	+	+	
36.	<i>Ranunculus acris</i>	IV	30	цв	4	+	+	
37.	<i>Vicia cracca</i>	IV	30	цв-пл	4	+	+	
38.	<i>Carex panicea</i>	IV	30	пл	3	+	+	
39.	<i>Viola canina</i>	IV	20	вег	3	+	+	
40.	<i>Alchemilla sp.</i>	IV	20	цв	3	+	+	
41.	<i>Potentilla anserina</i>	IV	20	вег	4	1	1	
42.	<i>Prunella vulgaris</i>	IV	15	цв	3	1	1	
43.	<i>Veronica chamaedrys</i>	IV	10	вег	3	+	+	
III 3 Ассоциация <i>Caricetum fuscae</i> (протяженность 16 м)								
1.	<i>Alnus incana</i>	I	230	вег-пл	4	1	1	
2.	<i>Salix pentandra</i>	I	200	вег	4	7	2	
3.	<i>Salix cinerea</i>	I	200	вег	4	3	1	
4.	<i>Betula pendula</i>	I	150	вег	3	+	+	
5.	<i>Populus tremula</i>	I	50	вег	3	+	+	
6.	<i>Filipendula ulmaria</i>	II	130	пл	4	+	+	
7.	<i>Festuca pratensis</i>	II	120	пл	4	20	2	
8.	<i>Cirsium vulgare</i>	II	120	цв	4	+	+	
9.	<i>Scirpus sylvaticus</i>	II	90	пл	4	2	2	
10.	<i>Deschampsia cespitosa</i>	II	90	пл	4	4	1	
11.	<i>Rumex thyrsiflorus</i>	III	80	пл	4	+	+	
12.	<i>Lysimachia vulgaris</i>	III	70	пл	3	2	1	
13.	<i>Carex nigra</i>	III	70	пл	4	65	4	
14.	<i>Carex contigua</i>	III	70	пл	3	2	1	
15.	<i>Briza media</i>	III	70	пл	3	1	1	
16.	<i>Succisa pratensis</i>	III	60	бут	4	+	+	
17.	<i>Poa palustris</i>	III	60	пл	4	1	1	
18.	<i>Leucanthemum vulgare</i>	III	60	цв	4	+	+	
19.	<i>Juncus effusus</i>	III	60	пл	4	+	+	
20.	<i>Equisetum fluviatile</i>	III	60	вег	4	+	+	

21.	<i>Centaurea jacea</i>	III	60	цв	4	1	1	
22.	<i>Carex vesicaria</i>	III	60	пл	4	4	1	
23.	<i>Carex leporina</i>	III	60	пл	4	1	1	
24.	<i>Phleum pratense</i>	III	50	пл	4	+	+	
25.	<i>Knautia arvensis</i>	III	50	цв	4	+	+	
26.	<i>Vicia cracca</i>	III	40	цв	4	+	+	
27.	<i>Trifolium hybridum</i>	III	40	цв	3	+	+	
28.	<i>Ranunculus acris</i>	III	40	цв	4	+	+	
29.	<i>Luzula multiflora</i>	III	40	пл	3	+	+	
30.	<i>Lathyrus pratensis</i>	III	40	цв	3	+	+	
31.	<i>Geranium palustre</i>	III	40	цв	4	1	1	
32.	<i>Galium uliginosum</i>	III	40	цв	4	+	+	
33.	<i>Festuca rubra</i>	III	40	пл	3	1	1	
34.	<i>Equisetum arvense</i>	III	40	вег	4	4	1	
35.	<i>Dactylorhiza baltica</i>	III	40	пл	4	+	+	
36.	<i>Carex hirta</i>	III	40	пл	3	+	+	
37.	<i>Carex flava</i>	III	40	пл	4	+	+	
38.	<i>Vicia sepium</i>	IV	30	цв	4	+	+	
39.	<i>Plantago lanceolata</i>	IV	30	пл	3	+	+	
40.	<i>Mentha arvensis</i>	IV	30	цв	4	+	+	
41.	<i>Lycopus europaeus</i>	IV	30	вег	4	1	1	
42.	<i>Hypericum maculatum</i>	IV	30	цв	4	+	+	
43.	<i>Epilobium palustre</i>	IV	30	цв	4	+	+	
44.	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	IV	30	пл	3	+	+	
45.	<i>Angelica sylvestris</i>	IV	30	вег	3	+	+	
46.	<i>Alchemilla sp.</i>	IV	30	цв	3	+	+	
47.	<i>Agrostis tenuis</i>	IV	30	пл	3	5	1	
48.	<i>Geum rivale</i>	IV	25	пл	4	+	+	
49.	<i>Carex panicea</i>	IV	25	пл	4	4	1	
50.	<i>Prunella vulgaris</i>	IV	15	цв	4	+	+	
51.	<i>Potentilla anserina</i>	IV	15	вег	4	1	1	
ПП 4 Ассоциация <i>Festucetum pratensis</i> (протяженность 29,5+40,5+34,5 м)								
1.	<i>Alnus incana</i>	I	40	вег	3	1	1	
2.	<i>Calamagrostis epigeios</i>	II	130	пл	3	1	1	
3.	<i>Festuca pratensis</i>	II	100	пл	4	35	3	
4.	<i>Carex sylvatica</i>	II	100	пл	3	+	+	
5.	<i>Pimpinella saxifraga</i>	II	90	цв	4	6	2	
6.	<i>Carex contigua</i>	II	80	пл	5	51	4	
7.	<i>Phleum pratense</i>	II	80	пл	4	3	1	
8.	<i>Vicia cracca</i>	III	60	цв	5	6	2	
9.	<i>Centaurea jacea</i>	III	60	цв	4	2	1	
10.	<i>Briza media</i>	III	60	пл	4	1	1	
11.	<i>Lysimachia vulgaris</i>	III	60	пл	4	1	1	
12.	<i>Deschampsia cespitosa</i>	III	60	пл	4	2	1	
13.	<i>Filipendula ulmaria</i>	III	60	пл	3	+	+	
14.	<i>Festuca rubra</i>	III	60	пл	4	24	2	
15.	<i>Carum carvi</i>	III	60	пл	3	+	+	
16.	<i>Hieracium umbellatum</i>	III	50	цв	3	+	+	
17.	<i>Lotus corniculatus</i>	III	50	цв	4	4	1	
18.	<i>Cirsium vulgare</i>	III	50	вег	4	+	+	
19.	<i>Plantago lanceolata</i>	III	40	цв	3	+	+	

20.	<i>Alchemilla sp.</i>	III	40	цв	4	+	+	
21.	<i>Carex hirta</i>	III	40	пл	4	1	1	
22.	<i>Lathyrus pratensis</i>	III	40	цв	3	+	+	
23.	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	III	40	пл	3	2	1	
24.	<i>Dactylorhiza baltica</i>	III	40	пл	4	+	+	
25.	<i>Equisetum arvense</i>	III	40	вег	3	1	1	
26.	<i>Trifolium hybridum</i>	III	40	цв	4	+	+	
27.	<i>Geum rivale</i>	III	40	пл	4	1	1	
28.	<i>Cynosurus cristatus</i>	III	40	пл	3	+	+	
29.	<i>Luzula multiflora</i>	III	40	пл	4	+	+	
30.	<i>Carex panicea</i>	III	40	пл	4	1	1	
31.	<i>Carex pallescens</i>	III	40	пл	4	1	1	
32.	<i>Hypericum maculatum</i>	III	40	цв	4	+	+	
33.	<i>Leucanthemum vulgare</i>	III	40	цв	4	+	+	
34.	<i>Dactylis glomerata</i>	III	40	пл	4	1	1	
35.	<i>Ranunculus acris</i>	III	40	цв	4	+	+	
36.	<i>Agrostis tenuis</i>	III	40	пл	3	1	1	
37.	<i>Agrimonia eupatoria</i>	III	40	пл	3	+	+	
38.	<i>Potentilla erecta</i>	IV	30	цв	4	1	1	
39.	<i>Poa pratensis</i>	IV	30	пл	3	+	+	
40.	<i>Coronaria flos-cuculi</i>	IV	30	пл	3	+	+	
41.	<i>Plantago media</i>	IV	30	пл	3	+	+	
42.	<i>Vicia sepium</i>	IV	30	цв	4	+	+	
43.	<i>Potentilla anserina</i>	IV	20	вег	4	1	1	
44.	<i>Prunella vulgaris</i>	IV	20	цв	4	+	+	
45.	<i>Pilosella polymastix</i>	IV	15	вег	3	+	+	
46.	<i>Achillea millefolium</i>	IV	15	вег	4	+	+	
47.	<i>Taraxacum officinale</i>	IV	15	вег	4	+	+	
48.	<i>Veronica chamaedrys</i>	IV	10	вег	3	+	+	
ПП 5 Ассоциация <i>Phalaridetum arundinaceae</i> (протяженность 51 м)								
1.	<i>Salix cinerea</i>	I	400	вег	4	15	2	
2.	<i>Phalaroides arundinacea</i>	II	200	пл	4	90	5	
3.	<i>Urtica dioica</i>	II	170	пл	4	8	2	
4.	<i>Filipendula ulmaria</i>	II	170	цв-пл	4	3	1	
5.	<i>Lysimachia vulgaris</i>	II	160	пл	4	1	1	
6.	<i>Geranium palustre</i>	II	130	цв	4	+	+	
7.	<i>Iris pseudacorus</i>	II	130	вег	4	1	1	
8.	<i>Vicia cracca</i>	III	120	цв-пл	3	+	+	
9.	<i>Carex vesicaria</i>	III	90	пл	3	+	+	
10.	<i>Rumex aquaticus</i>	III	60	вег	3	+	+	
ПП 6 Ассоциация <i>Calamagrostidetum canescentis</i> (протяженность 10 м)								
1.	<i>Salix pentandra</i>	I	230	вег		5	1	
2.	<i>Salix cinerea</i>	I	200	вег	4	40	3	
3.	<i>Salix myrsinifolia</i>	I	160	вег		3	1	
4.	<i>Filipendula ulmaria</i>	II	150	цв-пл	4	1	1	
5.	<i>Calamagrostis canescens</i>	II	130	вег-пл		80	5	
6.	<i>Valeriana officinalis</i>	II	130	цв		+	+	
7.	<i>Festuca pratensis</i>	II	130	пл	4	+	+	
8.	<i>Juncus effusus</i>	II	120	пл	4	+	+	
9.	<i>Deschampsia cespitosa</i>	II	110	пл		4	1	
10.	<i>Vicia cracca</i>	II	100	цв-пл	3	+	+	

11.	<i>Ranunculus acris</i>	II	100	цв	4	+	+	
12.	<i>Scirpus sylvaticus</i>	II	100	пл	4	1	1	
13.	<i>Carex vesicaria</i>	II	90	пл	3	+	+	
14.	<i>Phleum pratense</i>	II	80	пл		+	+	
15.	<i>Coronaria flos-cuculi</i>	III	70	пл	3	+	+	
16.	<i>Trifolium hybridum</i>	III	70	цв	4	2	1	
17.	<i>Centaurea jacea</i>	III	60	цв	4	+	+	
18.	<i>Lathyrus pratensis</i>	III	60	цв	3	+	+	
19.	<i>Galium uliginosum</i>	III	60	цв	4	+	+	
20.	<i>Cirsium arvense</i>	III	50	цв	4	+	+	
21.	<i>Stachys palustris</i>	III	50	цв		+	+	
22.	<i>Hypericum perforatum</i>	III	50	цв	4	+	+	
23.	<i>Carex contigua</i>	III	45	пл	5	+	+	
24.	<i>Carex hirta</i>	III	40	пл	3	+	+	
25.	<i>Potentilla erecta</i>	III	40	цв	4	+	+	
26.	<i>Potentilla anserina</i>	III	30	вег	4	+	+	

Дата

Подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Пример заполнения бланка ключевого участка в водных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ



МАТРИЦА УГРОЗ

Угрозы	Сте- пень (0-5)	Характеристика угрозы (описание, масштаб)	Необходимые меры
Болезни	0	-	-
Загрязнение:			
биологическое	0	-	-
химическое	0	-	-
мусором	0	-	-
техногенное	0	-	-
Воздействие:			
рекреация	0	-	-
гидромелиорация	0	-	-
гидростроительство	0	-	-
избыточная эксплуатация (заготовка)	0	-	-
изменение водопользования	0	-	-
Нарушение среды обита- ния:			
повышение уровня	0	-	-
снижение уровня	0	-	-
зоогенное	0	-	-
техногенное	0	-	-
Природные сукцессии	0	-	-
Размножения фитофагов	0	-	-
другие			

Примечание

Национальная система мониторинга
окружающей среды в Республике Беларусь

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

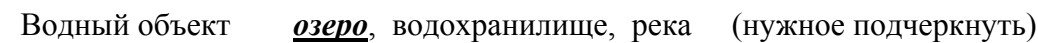
ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

ПАСПОРТ ключевого участка

Объект мониторинга	<i>высшие водные растения</i>	
Ведомственный № КУ		
Местоположение КУ:		
область	<i>Витебская</i>	
район	<i>Россонский</i>	
населенный пункт	<i>д.Перевоз</i>	
речной бассейн	<i>р.Западная Двина</i>	
наименование водного объекта	<i>оз.Дриссы</i>	
Землепользование:		
категория земель	-	
землепользователь	-	
Привязка КУ:		
географические координаты	<i>широта 55°55'53,6"</i>	С.Ш.
КУ (GPS-привязка):	<i>долгота 28°22'17,8"</i>	В.Д.
Направление и расстояние от населенного пункта:	<i>0,3 км к северу от д. Перевоз</i>	
Год начала наблюдений	<i>2014</i>	
Периодичность наблюдений	<i>Раз в 5 лет</i>	
Исполнители	<i>Рудаковский И.А.</i>	



ХАРАКТЕРИСТИКА БИОТОПА



Площадь, км ²	2,43	Характеристика водной среды	
Объем воды, млн м ³	5,83	Прозрачность, м	2,0
Длина, км	3,7	Водородный показатель (pH)	
Ширина максимальная, км	0,96	Общая минерализация, мг/дм ³	
Глубина максимальная, м	3,7	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	
Глубина средняя, м	3,7	Кальций, мг/дм ³	
Длина береговой линии, км	11,46	Магний, мг/дм ³	
Площадь мелководий (до 2 м), %	8	Хлориды, мг/дм ³	
		Сульфаты, мг/дм ³	
Тип (трофность)	эвтрофный	Калий, мг/дм ³	
		Натрий, мг/дм ³	
Хозяйственное использование	рекреация	Азот аммонийный, мг/дм ³	
Состав донных отложений	песок, ил, сапропель	Фосфаты, мг/дм ³	

Северный берег, 0,35 км на запад от туристической стоянки



ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА



Общая ширина распространения, м 70 м

Ярус	Ширина распространения, м	Глубина распространения, м	Число видов	Доминирующие виды
<i>надводный</i>	<i>50</i>	<i>0,0-0,9</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>плавающий</i>	<i>5</i>	<i>0,5-1,5</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>подводный</i>	<i>15</i>	<i>0,6-2,6</i>	<i>3</i>	<i>1</i>

Примечание _____

ХАРАКТЕРИСТИКА УКОСНОЙ ПЛОЩАДКИ

Размер укосной площадки *0,25X0,25 м*. Глубина 0,3-2,1 м

Способ отбора (ручная выборка, выкашивание, сбор прибором и каким)
ручная выборка

Растение	Глубина, м	Количество экземпляров	Масса воздушно-сухая	
			вес, г	дата взвешивания
<i>Тростник обыкновенный</i>	<i>0,3</i>	<i>39</i>		
<i>Камыш озерный</i>	<i>0,3</i>	<i>27</i>		
<i>Кубышка желтая</i>	<i>1,2</i>	<i>14</i>		
<i>Рдест блестящий</i>	<i>1,8</i>	<i>18</i>		

ОТОБРАНЫ ОБРАЗЦЫ *воды*

№34 (1л)

донных отложений -

СОБРАН ГЕРБАРИЙ _____ - _____

ОПИСАНИЕ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРОФИЛЕ УЧЕТА								
					Дата: 24.07.2014			
№ описания № 1			Автор Рудаковский И.А.			№ профиля № 1		
Пояс (или зона)	Надводная растительность	Ширина пояса (асс.), м	50	Расстояние от берега, м	0-50	Название ассоциации	Камышево-тростниковая	
	Растительность с плавающими листьями		5		50		Кубышки-желтой	
	Погруженная растительность		15		55		Рдеста блестящего	
Местонахождение (положение берега в отношении стран света) северный берег								
Степень защищенности от ветра и волнения – 1 балл								
Местообитание: глубина 0,0-2,6 м					Вода: прозрачность 3,2 м			
Цвет: бесцветный			скорость течения -			Грунт: песчано-илистый		
Наличие размыва и аллювиального процесса: отсутствует								
Распространение ассоциации в данном участке прибрежной полосы (протяженность вдоль берега): 100 м								
Характер берега и его растительность: берег высотой до 0,25 м, занят древесно-кустарниковой растительностью								
Растительность								
Размер описываемой площади 70X20 м (1400 м ²)								
Общий характер и облик (однородность состава, строение, сомкнутость и т.д.): Группы растительных формаций однородны, на границах образуют смешанные ассоциации, строение ярусное, сомкнутость достигает до 60 % акватории ключевого участка								
Характер распределения растений								
Покрывание надводной части: Надводные растения занимают 71 % площади, образуют сплошные заросли								
Плавающих: Образуют узкую разреженную полосу, занимают 7 % площади участка				Подводной части: распространены мозаично занимают 22 % площади участка				
Характеристика травостоя								
Растение	Ярус (подъярус)	Глубина воды, м	Высота, м	Проектное покрытие, %	Обилие (по Друдэ)	Фенофаза	Жизненность	Поврежденность
Тростник обыкновенный	Надводный, высокий	0,0-0,8	1,5-2,3	70	4	в.	4	-
Камыш озерный	Надводный, высокий	0,4-0,9	1,5-2,1	50	3	в.	4	-
Кубышка желтая	Плавающий	0,5-1,5	0,5-1,5	40	4	в.ц.	3	10
Шелковник жестколистный	Подводный, высокий	0,6-2,2	0,6-2,2	20	2	в.	3	-
Рдест блестящий	Подводный, высокий	0,8-2,5	0,8-2,5	30	3	в.	3	—
Рдест пронзеннолистный	Подводный, высокий	0,8-2,6	0,8-2,6	20	2	в.	3	—

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.
Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга
охраняемых видов растений в рамках комплексного мониторинга
экосистем на ООПТ



МАТРИЦА УГРОЗ

Угрозы	Сте- пень (0-5)	Характеристика угрозы (описание, мас- штаб)	Необходимые меры
Болезни	0		
Гидромелиорация	0		
Загрязнение:	0		
биологическое	0		
мусором	0		
техногенное	0		
Заморозки	0		
Засухи	0		
Изменение землеполь- зования	0		
Лесные пожары	0		
Нарушение почвы:	0		
зоогенное	0		
техногенное	0		
Подтопление/затопле- ние	0		
Потрава (перевыпас)	0		
Природные сукцессии	0		
Размножение фито- фагов	1	поражение тлей	пока не требуется
Рекреация	1	вытаптывание, сбор цветущих растений	установка информаци- онных знаков
Рубки леса	0		
Сельхозпалы	0		
другие	0		

Рекомендуемый срок повторных наблюдений через 3 лет

Национальная система мониторинга
окружающей среды в Республике Беларусь

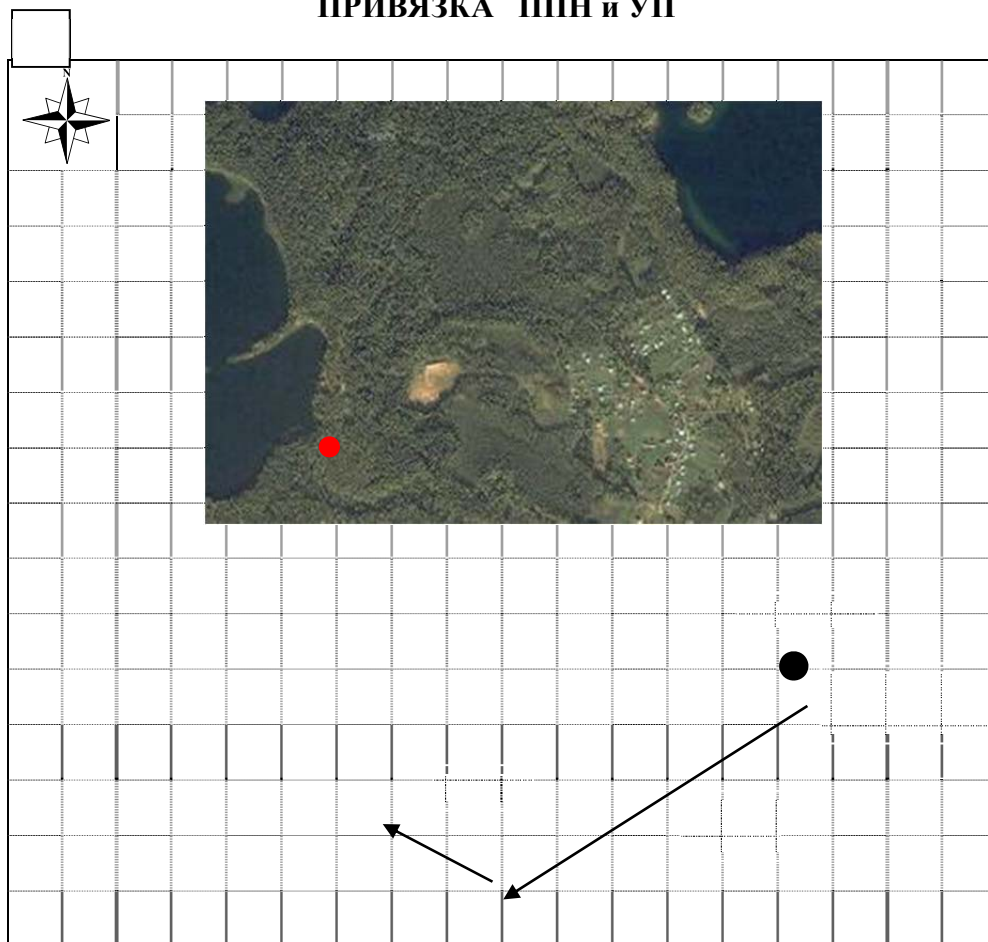
КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Мониторинг охраняемых видов растений

ПАСПОРТ постоянного пункта наблюдений

Объект мониторинга	Aconitum lasiostomum Rchb. (Борец шерстистоустый)		
Ведомственный № ППН	СИ-КК-02		
Местоположение ППН:			
область	Витебская		
район	Россонский		
населенный пункт	1,0 км на запад от д. Никитенки, азимут 264 ⁰		
речной бассейн			
наименование водного объекта	Юго-восточный берег оз. Рытое		
Привязка ППН:			
географические координаты	55 ⁰ 30'01.3"	с.ш.	
ППН (GPS-привязка):	31 ⁰ 46'05.3"	в.д.	
Землепользование:			
категория земель	Земли лесного фонда		
землепользователь	лесхоз		
для земель лесного фонда:		для других земель:	
№ квартала		Направление и расстояние от населенного пункта:	
№ выдела			
площадь выдела, га			
год лесоустройства		площадь участка, га	
Год наблюдений	2014		
Исполнители:			
организация	ИЭБ НАН Беларуси		
Ф.И.О.	Дубовик Д.В., Терещенко С.С.		

ПРИВЯЗКА ППН и УП



Примечание Красным кружком обозначено местонахождение пункта мониторинга. Маркирована береза повислая (СИ-КК-02). От нее в 2 метрах на юг вдоль экологической тропы (деревянного настила), азимут 240° , заложено 26 метровых площадок, далее под углом 70° заложено еще 7 площадок.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА

Местообитание

Лес на минеральных почвах

Для лесных земель
Тип леса березняк приручейно-травяной

Для прочих видов земель
Ассоциация

Ассоциация березняк серо-ольхово-приручейно-травяной

ТУМ C_3

ТУМ

Рельеф склон к ручью

Рельеф

Экспозиция северо-западная

Экспозиция

Угол наклона пологий

Угол наклона

Древостой:
происхождение естественное
состав 7Бп3Олч
возраст, лет 50
полнота 0,6
бонитет 1

Проективное покрытие, %:
деревьев и кустарников
трав
мхов и лишайников

Подрост:
состав 5Бп3Олч1Е
ср. высота, м 1,4
ср. возраст, лет 10
густота, шт/га средняя
состояние благонадежный

Хозяйственное использование:

Подлесок:
состав рябина обыкновенная, калина обыкновенная
густота, шт/га низкая

Примечание

Форма учета (подчеркнуть) – учет на площадках

Общая характеристика ценотической популяции

Учет на площадках в 2014 году. Способ заложения – *трансект*. Размер площадки *1x1 м*.

7

Видовой состав живого напочвенного покрова

[illegible]

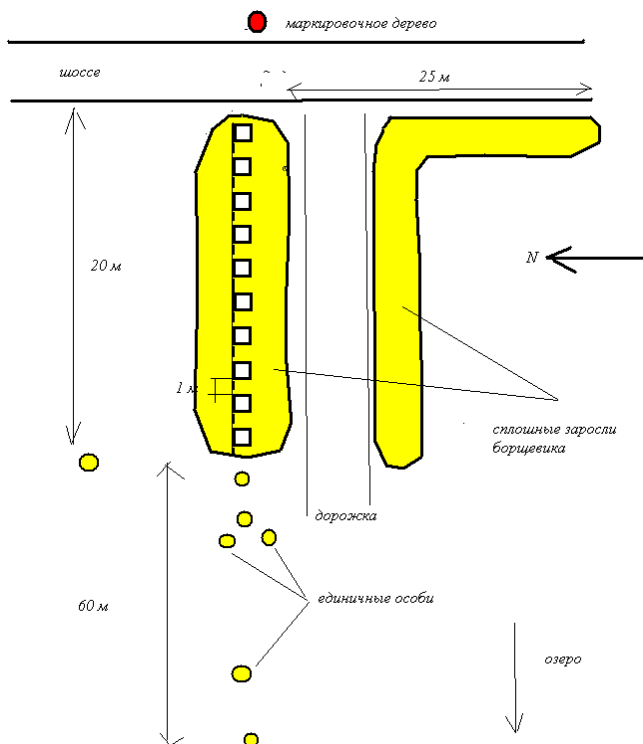
ОТОБРАНЫ ОБРАЗЦЫ

СОБРАН ГЕРБАРИЙ *Гербарий ИЭБ НАН Беларуси*

Примечание

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.
Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга
инвазивных видов растений в рамках комплексного мониторинга
экосистем на ООПТ

ПРИВЯЗКА ППН



Примечание

Национальная система мониторинга
окружающей среды в Республике Беларусь

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Мониторинг инвазивных видов растений

ПАСПОРТ

постоянного пункта наблюдений

Объект мониторинга

*Борщевик Сосновского –
Heracleum sosnowskyi Manden.*

Ведомственный № ППН

МИР-СИ-1

Местоположение ППН:

область

Республика Беларусь

район

Витебская

населенный пункт

Россонский

речной бассейн

Окр. д. Баклановое, 0,7 км к Ю-В,

наименование водного объекта

Землепользование:

категория земель

землепользователь

лесхоз

Привязка ППН: т. 502

географические координаты

широта 55°30,08.0'

с.ш.

ППН (GPS-привязка):

долгота 31°40,45.8'

в.д.

для земель лесного фонда:

для других земель:

№ квартала

№ выдела

площадь выдела, га

год лесоустройства

Направление и расстояние от
населенного пункта: *0,7 км к Ю-В*

площадь участка, га *0,3 га*

Год начала наблюдений

2014

Периодичность наблюдений

1 раз в 2 года

Исполнители:

организация

ИЭБ НАН Беларуси

Ф.И.О.

Масловский О.М.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА			ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОЦЕНОЗА		
Биотоп			Пустошная луговина / Березняк разнотравный		
Для лесных земель		Для прочих видов земель	№ п.п.	Вид растения (рус. или лат.)	Обилие по Друде
Тип леса	Березняк разнотравный	Ассоциация	1	Oenothera biennis L	Cop3
		Суходольный пустошный разнотравно-злаковый луг	2	Betula pendula Roth	Cop1
ТУМ		ТУМ	3	Pinus sylvestris L.	Sol
		Элемент рельефа	4	Rumex acetosa L.	Cop1
Элемент рельефа	Склон холма, плакор	Склон холма, плакор	5	Rumex acetosella L.	Sp
			6	Tanacetum vulgare L.	Sp
Экспозиция	северная		7	Artemisia vulgaris L.	Rr
		северная	8	Artemisia campestris L.	Rr
Угол наклона	0-5%	северная	9	Achillea millefolium L.	Sol
		0-5%	10	Polytrichum piliferum Hedw.	Sp
Древостой: состав	8Б1С!Е+Д	Проективное покрытие, %:	11	Cladonia sp.	Sp
			деревьев и кустарников	12	Hieracium sp..
происхождение	Посадки, самосев	5 %	13	Leucanthemum vulgare Lam	Rr
		трав	14	Hypericum perforatum L.	Rr
возраст, лет	20	95%	15	Picea abies (L.) Karst.	Rr
		мхов и лишайников	16	Frangula alnus Mill.	Rr
полнота		Хозяйственное использование:	17	Quercus robur L.	Rr
			Придорожная полоса, ЛЭП		
бонитет		пустошь			
Подрост: состав	Береза, сосна, ель, дуб				
ср .высота, м	25				
ср. возраст, лет	6-7				
густота, шт/га	редкий				
состояние	Удовл.				
Подлесок: состав	крушина	Примечание			
густота, шт/га	редкий				

Вид Борщевик Сосновского ППН № МИР-СИ-1 Дата 07.2014

Форма учета (подчеркнуть) – сплошной пересчет, учет на площадках

Тип популяционной единицы – ценотическая популяция, экотопическая, катенная, популяция речного бассейна, региональная

Счетная единица – особь, парциальный побег, парциальный куст, клон

Фенологическая фаза развития особей вида цветение

Общая характеристика ценотической популяции

№№	Признаки, показатели	Значение		
1	площадь, занимаемая популяцией (по внешнему контуру)	<u>10 га</u>	<u>кв. м</u>	
2	численность популяции, шт.	<u>Около 1 млн.</u>		
3	плотность (минимальна / средняя / максимальная), шт/м ²	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>50</u>
4	проективное покрытие, %	<u>30%</u>		
5	обилие вида, балл	<u>Сор3</u>		
6	обилие цветения (или плодоношения), балл	<u>5</u>		
7	возобновление, балл	<u>5</u>		
8	мощность генеративных особей: высота растения, см диаметр (для деревьев), см	<u>20</u>	<u>70</u>	<u>120</u>
9	поврежденность растений, балл	<u>1</u>		
10	вид повреждения			
11	жизненность, балл	<u>5</u>		

Учет на площадках. Способ заложения профиль, через 5 м Размер площадки 1 м2

№ плот.	Всего особей, шт	Всего генера- тивных особей, шт	Проективное покрытие	Примечание
1	2	3	4	5
1	5	0	3	Сухие – 1, Общее покрытие 50%, сосна
2	37	1	18	Общее покрытие 70%, Polytrichum 25, Cladonia 12, Artemisia 10
3	45	11	25	Сухие – 11, Общее покрытие 75%, Rumex - 5
4	21	8	15	Сухие – 6, Общее покрытие 75%, Rumex – 10, злаки -35
5	10	3	6	Сухие – 5, Общее покрытие 65%, Tanacetum 5, Rumex 20
6	18	3	15	Общее покрытие 45%, Tanacetum 5, Rumex 8
7	4	0	3	Сухие – 2, Общее покрытие 37%, Rumex 20, Artemisia 2, Betula 1
8	8	6	23	Общее покрытие 65%, Tanacetum 4, Rumex 5, Artemisia 2, Achillea 1
9	20	2	30	Сухие – 2, Общее покрытие 67%, Tanacetum 4, Rumex 10, Betula 1
10	27	4	35	Сухие – 2, Общее покрытие 78%, Rumex 10, Betula 1, Tanacetum 4
11	18	2	20	Сухие – 5, Общее покрытие 80%, Rumex 17, Achillea 2
12	5	6	8	Сухие – 5, Общее покрытие 30%, Rumex 12, Achillea 3
13	3	0	4	Общее покрытие 15%, Rumex 5
14	11	6	12	Общее покрытие 28%, Rumex 10, Polytrichum 25
15	5	0	9	Сухие – 1, Общее покрытие 65%, Rumex 30, Artemisia 5

Форма индивидуального учета*

[illegible]

* Названия колонок 3-9 заполняются исследователем самостоятельно в зависимости от выбора измеряемых параметров в связи с различиями морфологического строением инвазивных растений

ПРИЛОЖЕНИЕ Е.

Интернет-каталоги космических снимков

1. Каталоги разнообразных типов снимков, различного разрешения

USGS Earth Explorer – каталог Геологической службы США

<http://edcns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/> – бесплатно – Landsat MSS,

TM, ETM+; SPOT HRV (на территорию Северной Америки в 1986–1998 гг.); радиолокационные снимки SIR-C/X-SAR; а также ЦМР SRTM. За плату – EO-1 АН, Hyperion, база постоянно пополняется. Организован новый доступ к этой базе на основе Java: <http://glovis.usgs.gov/>, через него доступны и некоторые снимки радиометра ASTER (Terralook).

Warehouse Inventory Search Tool (WIST) – каталог-портал доступа к данным центров НАСА и партнерских организаций <https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/> Бесплатно и за плату – Terra/Aqua MODIS, Terra MISR, ICESat GLAS, Aqua AMSR/AMSR-E, Terra ASTER и др.

Earthnet – On Line Interactive Stand Alone client (EOLI-SA) – программа, обеспечивающая поиск снимков, распространяемых под эгидой Европейского Космического Агентства <http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>: За плату и бесплатно – ENVISAT/ASAR, ERS/SAR, JERS/SAR, Proba/CHRIS, HRC Landsat, IKONOS, DMC, ALOS, SPOT/HRV(IR), Kompsat, IRS, Nimbus, NOAA, SCISAT, SeaStar, Terra/Aqua.

Gateway to Astronaut Photography of Earth: – <http://eol.jsc.nasa.gov/> – бесплатно – снимки, выполненные астронавтами и космонавтами с орбиты с 1961 г. (база данных НАСА).

Earth from Space – NASA Space Shuttle Earth Observations Photography database of images – <http://earth.jsc.nasa.gov/sseop/efs/> бесплатно – избранные снимки с кораблей Shuttle с аннотациями.

Global Change Master Directory – <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/>. Бесплатные данные, карты и снимки, собранные под эгидой программы изучения глобальных изменений.

Imagery Hybrid –

<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=06f60d047b894706a7c419fffb99f153&extent=49.0879,55.792,49.1143,55.8002> – бесплатные данные, карты и снимки. Благодаря сотрудничеству компании Esri с компанией Махаг (ранее известна как DigitalGlobe) пользователи ArcGIS могут пользоваться бесплатно космическими снимками высокого и сверхвысокого разрешения, размещенными в базовой карте World Imagery, которая доступна для подключения в ArcGIS Desktop, мобильные приложения ArcGIS, ArcGIS Enterprise и в собственные разработки на базе ArcGIS JavaScript API. Снимки могут загружаться онлайн или скачиваться для работы в офлайн для локальных проектов.

ScanEx Satellite Image Catalogue – интерактивный каталог снимков, получаемых на приемные станции российского ИТЦ «СканЭкс» <http://catalog.scanex.ru/dewb/step1.pl> – платные снимки – IRS AWIFS, LISS, PAN; SPOT HRV(IR); RADARSAT SAR; Landsat 5 TM, EROS NA30.

Генеральный каталог российского Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) (преимущественно данные российских съемочных систем) http://sun.ntsomz.ru/data_new/ – платные снимки по программам МКФ-6, Ресурс-О, Ресурс-Ф, Природа, Метеор, Океан, Монитор, Ресурс-ДК, ERS-2 и др.

Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), который сочетает в себе каталог мульти-петабайт спутниковых изображений и геопространственных наборов данных с возможностями планетарного масштаба анализа.

2. Каталоги, предлагающие снимки преимущественно очень высокого и сверхвысокого разрешения

Проект «Космоснимки» <http://www.kosmosnimki.ru> – геопортал ИТЦ СканЭкс, предлагающий поиск платных снимков со спутников IKONOS, QuickBird, EROS-A, EROS-B,

WorldView-1, GeoEye-1 для последующего заказа, а также космических фотомонтажей («мозаики»).

DigitalGlobe ImageFinder <http://browse.digitalglobe.com/image-finder/main.jsp>. Платные снимки – WorldView-1,2, QuickBird, аэроснимки на США и Канаду.

GeoFUSE Online Maps v Pl.O <http://geofuse.geoeye.com/maps/>. Платные снимки – IKONOS, GeoEye-1, OrbView-2. Sirius Online Catalogue <http://sirius.spotimage.com/>. Платные снимки со спутников SPOT, KOMPSAT-2

3. Каталоги снимков преимущественно относительно высокого разрешения

Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Бесплатно – избранные снимки Landsat (Landsat MSS, TM, ETM+); Terra ASTER; а также ЦМР SRTM; фотокарты Landsat TM, ETM+.

4. Каталоги снимков преимущественно низкого разрешения

Comprehensive Large Array-data Stewardship System (CLASS), электронная библиотека данных спутника NOAA по параметрам состояния окружающей среды:

<http://www.class.ncdc.noaa.gov/saa/products/welcome> Бесплатно – Снимки со спутников NOAA.

MIRAVI – MERIS Images Rapid Visualization – снимки, поступающие со спутника ENVISAT система MERIS, доступны в день получения в виде синтезированного в естественных цветах изображения, ширина полосы обзора больше 1000 км с разрешением 260 м:

<http://www.miravi.eo.esa.int/about.html>

5. Каталоги снимков низкого разрешения с геостационарных спутников

Geostationary Satellite Server – <http://www.goes.noaa.gov/>. Бесплатно – снимки с GOES и других геостационарных спутников.

Meteosat Image Services –

http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/Met//loi.sccc.ru/gis/RS/chapter108.htm

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.

Интернет-каталоги веб-инструментов с открытым исходным кодом для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений, доступных на различных платформах

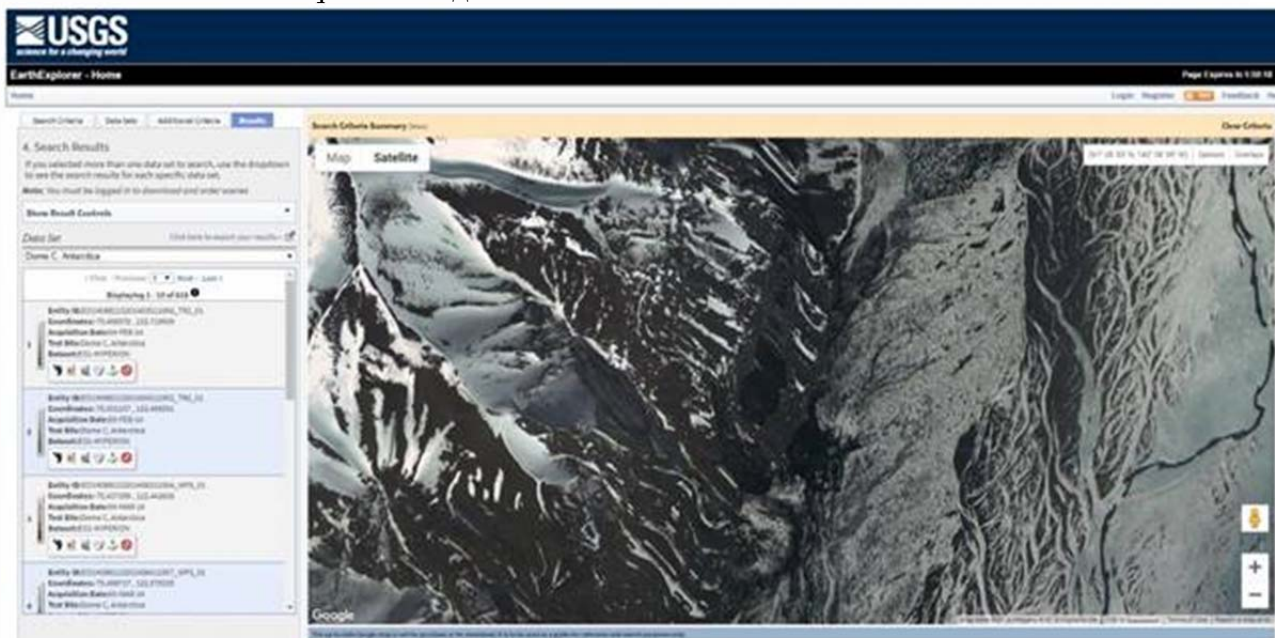
Каталоги бесплатных спутниковых снимков

EarthExplorer от USGS

Среди своих конкурентов USGS (Служба геологической съёмки США) обладает старейшей коллекцией бесплатных разнообразных ГИС-данных. Доступ к ним можно получить посредством сервиса EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>), который работает через Google Maps.

Данные. EarthExplorer предлагает 40-летние всеобъемлющие спутниковые снимки, которые можно использовать для получения новых знаний. Все снимки получены со спутников USGS-NASA. Это Terra и Aqua MODIS, ASTER, VIIRS и многие другие. В сервисе имеются наборы данных с открытым исходным кодом, которые были получены в результате сотрудничества с Индийской организацией космических исследований (ISRO) и Европейским космическим агентством (ESA). Это данные со спутников Resourcesat-1, 2 и Sentinel-2.

Также имеется много данных с коммерческих спутников высокого разрешения, таких как IKONOS-2 OrbView-3 и исторических данных SPOT.



Поиск. Сервис EarthExplorer позволяет фильтровать результаты поиска по дате, проценту облачности и любому количеству сенсоров. Можно просматривать каждый тайл отдельно или все вместе в зависимости от предпочтений.

Интересно, что в EarthExplorer можно воспользоваться поиском по функциям. Это позволяет просматривать длинный список всех возможных функций и встречать очень любопытные объекты, такие как древняя дорога или кладбища. Все это в дополнение к стандартным параметрам области интересов, таких как адрес, загрузка файлов и многое другое.

Аналитика. Не доступна. Возможна только через стороннее программное обеспечение.

Экспорт. Загрузка снимков из USGS доступна через приложение массовой загрузки. Также можно загрузить множество продуктов с данными, включая уровни Level-1,2,3, снимки в естественных цветах, тепловизионные снимки и многое другое в зависимости от сенсора.

EarthExplorer является наиболее богатым источником бесплатных спутниковых снимков. Сервис отличает большое количество функций. Пользовательский интерфейс не самый удобный для пользователя, и требуется некоторый навык, чтобы привыкнуть к этому приложению.

LandViewer от EOS

LandViewer (<https://eos.com/landviewer>) — это современный источник спутниковых данных и аналитики на основе AI. Сервис представлен EOS, одним из ключевых официальных дистрибьюторов спутниковых снимков высокого разрешения.

Данные. LandViewer охватывает огромное количество общедоступных библиотек. Это снимки со спутников CBERS-4, Sentinel-1, 2, MODIS / NAIP, Landsat-7, 8, а также Landsat-4, 5 для исторических снимков. Среди наборов снимков SPOT -5-7, Pleiades-1, Kompsat-2, 3, 3A, SuperView-1. Максимальное пространственное разрешение достигает 40 см на пиксель.

С учетом всего вышесказанного вы можете получить полный список спутниковых данных и приобрести крупные планы изображений сверхвысокого разрешения.



Поиск. Снимки легко найти, задав интересующую область с помощью огромного количества опций и загрузки файла. Выбирается тип сенсора и таймфрейм. Процент облачного покрова, высота над уровнем моря и процент покрытия AOI доступны в качестве условий поиска фильтра.

Кроме того, вы можете сохранить свою область интересов и подписаться на новые сцены, чтобы легко получить то, что вам понадобится в будущем.

Можно легко загрузить обработанный снимок, комбинацию каналов или рассчитанный индекс.

Аналитика. LandViewer сразу включает аналитические возможности визуализации выбранного снимка, что делает сервис уникальным среди многих других платформ. Предлагается более 20 стандартных комбинаций и индексов, в том числе: NDVI, NBR SAVI. Можно создать свой собственный пользовательский индекс, кластеризацию, анализ временных рядов и использовать множество других инструментов для адаптации снимков к заданным потребностям.

Экспорт. В хранилище LandViewer есть много всего. Можно скачать любой спутниковый снимок с широким спектром каналов или в естественных цветах. Он может быть полным или обрезанным в формате JPEG, KMZ или GeoTIFF.

LandViewer — универсальный источник спутниковых снимков для ГИС-специалистов. Ему удастся объединить огромный список аналитических функций в аккуратный пакет для исследований.

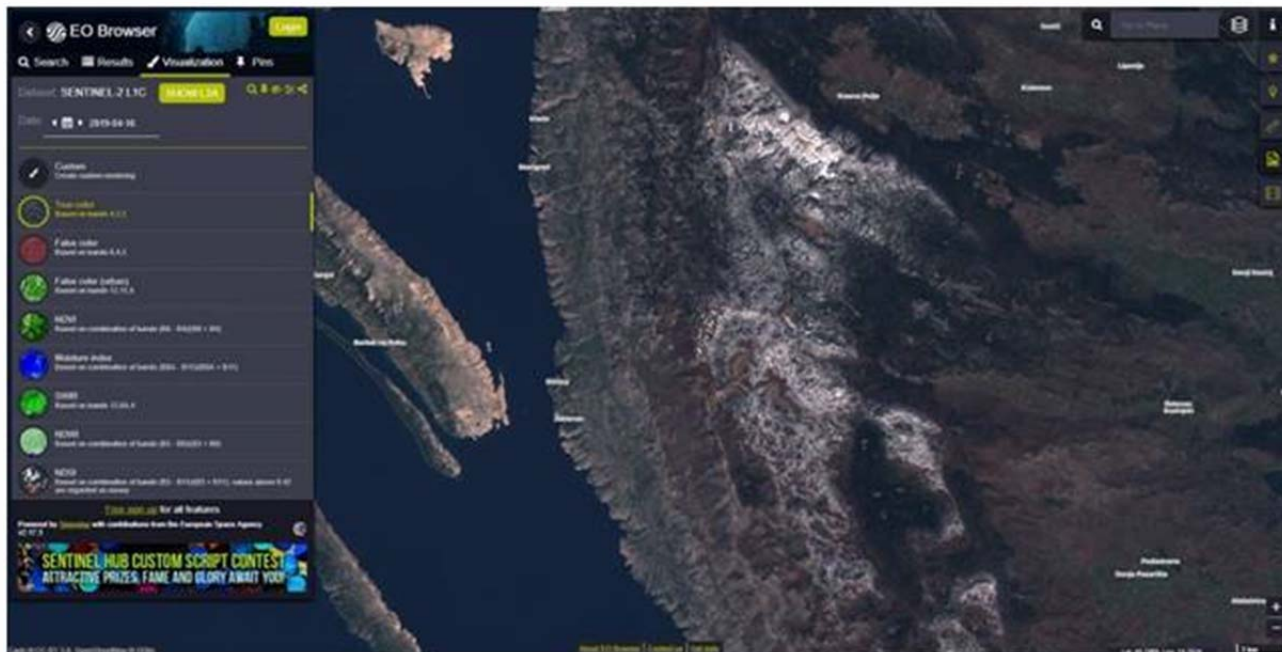
EO Browser и Sentinel Playground от Sentinel Hub

С помощью Sentinel Hub открытые спутниковые снимки доступны через два основных сервиса: EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) и Sentinel Playground (<https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>)

Данные. В EO Browser можно получить снимки со средним и низким разрешением. К ним

относятся неограниченные коллекции от всех миссий Sentinel, Landsat -5, 6, 7 и 8, Envisat, Meris, MODIS, GIBS и Proba-V.

Sentinel Playground, с другой стороны, может использоваться для мозаики снимков, полученных с Sentinel-2, Landsat-8, DEM и MODIS.



Поиск. EO Browser и Sentinel Playground обладают интуитивно понятным набором функций. Все, что нужно для исчерпывающего поиска снимков. Следует отметить одно важное ограничение: некоторые наборы данных ограничены рендерингом с определенного масштаба. Для Landsat он начинается только после увеличения на 20 км.

Аналитика. EO Browser может предложить значительную свободу с точки зрения прикладной аналитики. Для одного снимка можно применить как минимум 8 комбинаций каналов и даже добавить свои собственные. Временные ряды доступны, но не все используемые снимки могут быть визуализированы.

Экспорт. Sentinel Playground позволяет загружать в формате JPEG отдельные сегменты глобальной мозаики. EO Browser позволяет экспортировать снимки высокого разрешения в более широком наборе форматов, включая JPEG, GeoTIFF и KMZ, каналы и комбинации каналов.

EO Browser легко обозреть. Он предоставит вам доступ к хорошему выбору космических данных со средним разрешением с открытым исходным кодом и широкими возможностями визуализации. Sentinel Playground — отличное дополнение для глобальной мозаики снимков, которой можно поделиться.

Copernicus Open Access Hub

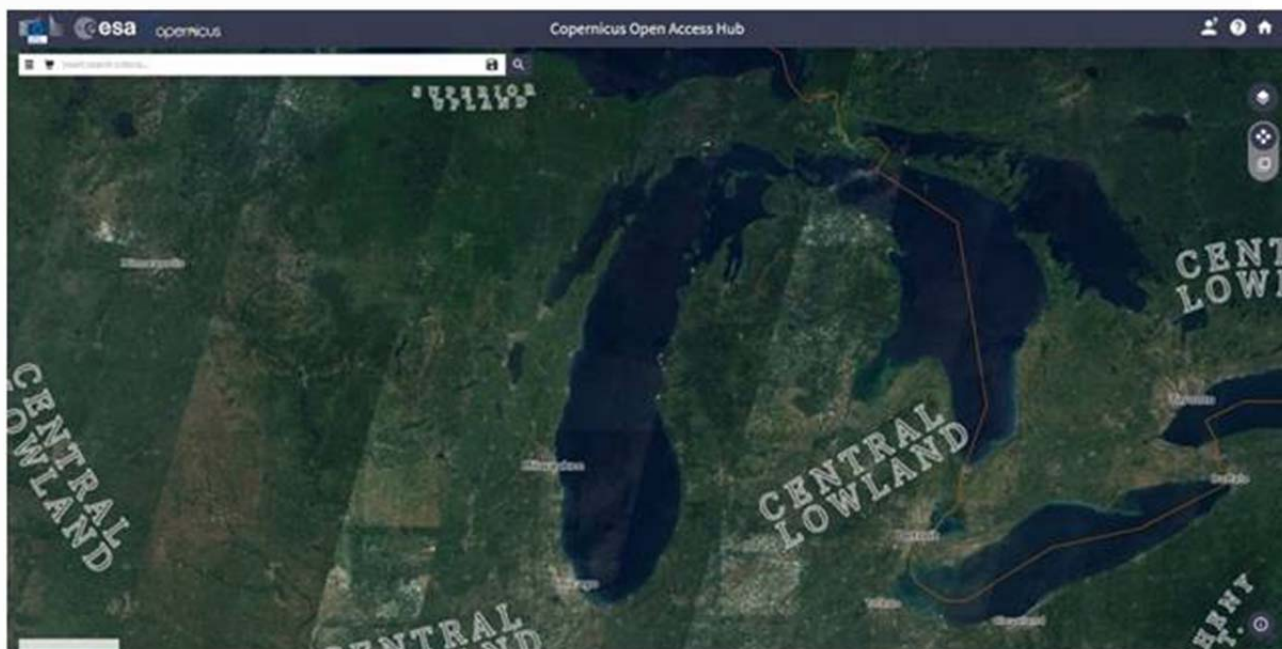
Еще одна замечательная коллекция снимков Sentinel — Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>) — по-своему уникальна.

Данные. Ранее известный, как “Sentinels Scientific Data Hub”, это место для новейших снимков со всех спутников Sentinel: радарные снимки Sentinel-1, оптические мультиспектральные снимки Sentinel-2, а также данные о земной поверхности Sentinel-3 для совместного анализа окружающей среды с данными об атмосфере и качестве воздуха в Sentinel-5P.

Поиск. Интерфейс поиска очень минималистичен, и, тем не менее, он не является вершиной простоты. Загрузка файла через пользовательский АОI недоступна. Поиск координат работает через собственную внутреннюю базу данных операторов. Фильтр облачного покрова работает с помощью оператора шкалы от 0 до 5. Это очень полезно, но неудобно для более широкого круга специалистов.

Аналитика. Не доступна. Снимки можно просматривать только в режиме “Quicklook” с подробными метаданными.

Экспорт. Все снимки доступны для скачивания, будучи добавленными в «корзину». Платформа является хорошим источником бесплатных снимков Sentinel, хотя и не является лучшим местом для получения данных Sentinel-1 и 2, учитывая ее ограниченные возможности.

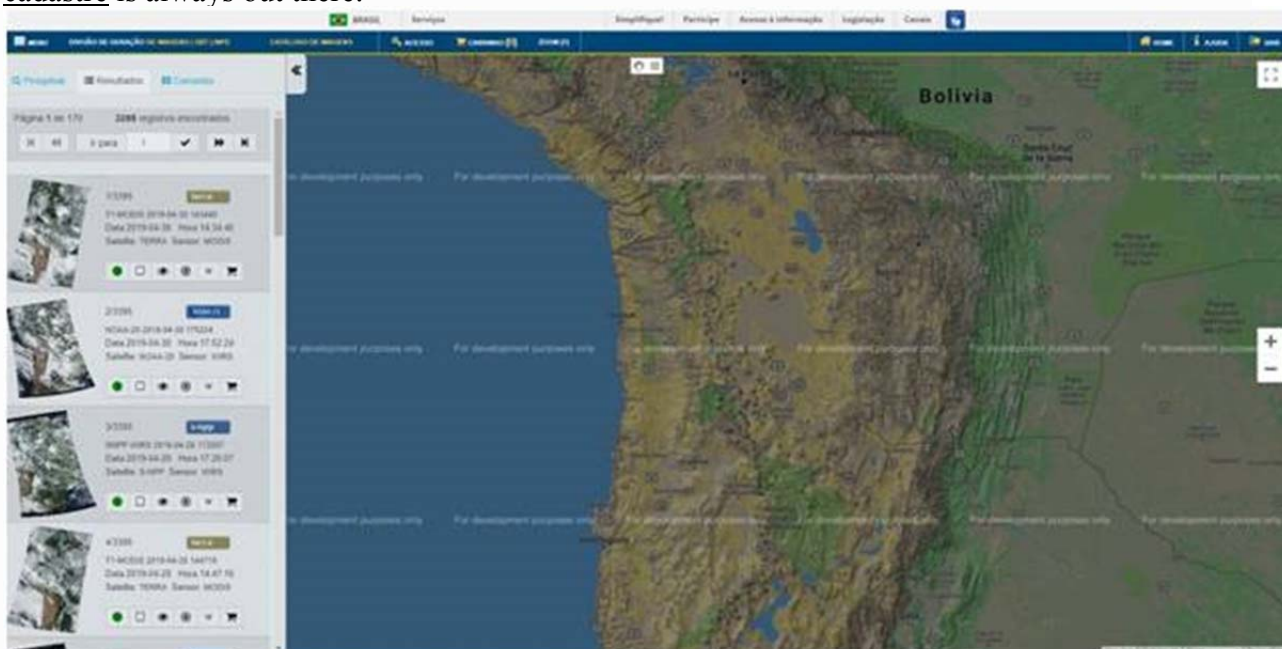


Каталог снимков INPE

Одним из замечательных источников спутниковых снимков является INPE (Национальный институт космических исследований Бразилии), предлагающий собственный хороший каталог снимков (<http://www.dgi.inpe.br>). В каталоге снимков можно найти много коллекций для изучения земного покрова, мониторинга водных ресурсов, растительности и метеорологических данных.

Данные. Каталог снимков INPE превосходный, когда речь идет о Южной и Центральной Америке и Африке. Здесь можно воспользоваться данными следующих миссий: Aqua, DEIMOS, UK-DMC 2, Terra, Suomi-NPP, ResourceSat, Landsat-8, а также CBERS-4.

For those looking for some extra data on CBERS-2, Landsat 1, 2, 3, 5 and 7 their INPE cadastre is always out there.



Для тех, кто ищет дополнительные данные со спутников CBERS-2, Landsat -1, 2, 3, 5 и 7,

их можно найти в кадастре INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>).

Аналитика. Не доступна.

Экспорт. Загрузка осуществляется по FTP-ссылке, отправленной на электронную почту заказчика. Просто надо добавить выбранные снимки в «корзину» вместе с адресом.

Каталог снимков INPE — отличное место для получения снимков, если нужна Южная, Центральная Америка и Африка. Он не может помочь в получении данных по всему миру, но, исходя из вышесказанного, можно получить хороший опыт работы с многочисленными данными, которые можно обрабатывать в любой другой онлайн-среде или в десктопном режиме.

Спутниковые снимки больше не являются роскошью или эксклюзивной собственностью спецслужб. Каждый может получить их бесплатно и сделать полезными для себя. Все вышечисленное должно обеспечить множество способов получить соответствующую информацию из космических данных и принять обоснованные решения.

Каталоги бесплатных спутниковых снимков

Дистанционное зондирование Земли

На сайте www.geospatialworld.net размещен обзор, представленный компанией [Earth Observing System \(EOS\)](http://www.geospatialworld.net), «5 free satellite imagery sources to drive insights on your own» (<https://www.geospatialworld.net/blogs/5-free-satellite-imagery-sources-to-drive-insights-on-your-own...>).

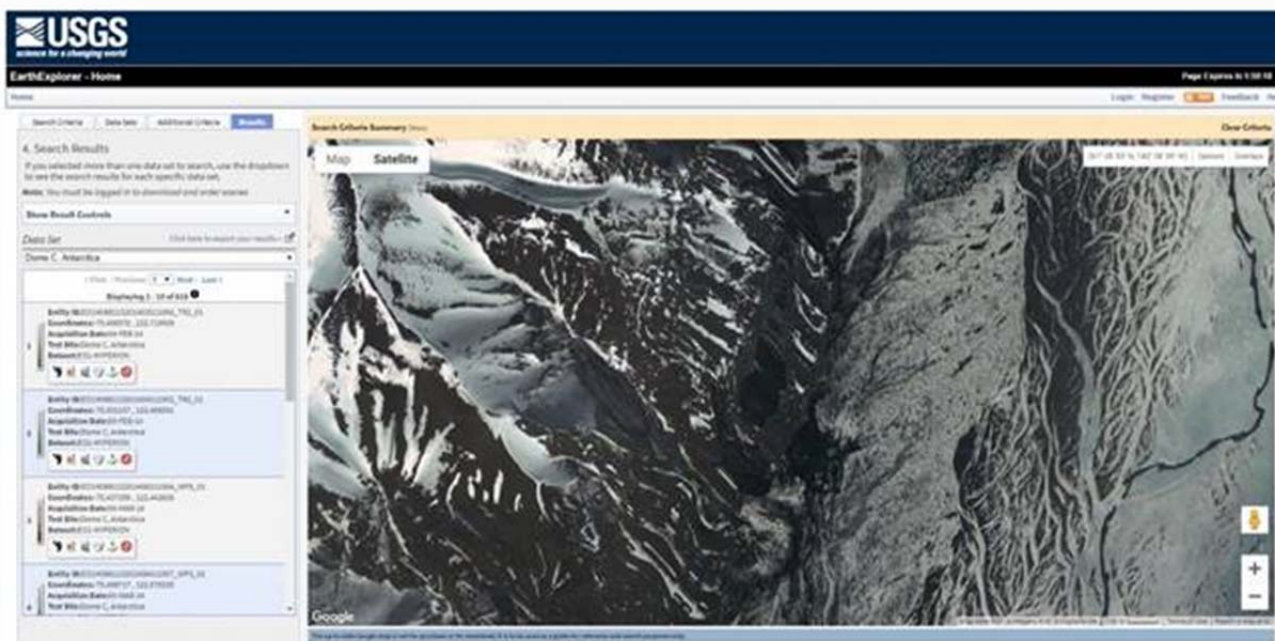
Наступило время, когда спутниковые снимки становятся все более и более доступными для всех желающих. Такая тенденция фактически прослеживается в течение всего последнего десятилетия. Развитие этой ситуации все еще продолжается, появляются большие возможности для использования этих ценных данных и результатов их анализа в решении широкого круга задач.

Прямо сейчас, многие отрасли используют эту богатую жилу для понимания процессов, обеспечивая большой потенциал для прорывных инноваций. В основном, эта сфера предназначена для ГИС-специалистов, однако бесплатные спутниковые снимки, на самом деле, широко доступны для всех, кто хочет их использовать.

Вот, по мнению Earth Observing System, список лучших на сегодняшний день онлайн-ресурсов, которые можно использовать для решения собственных аналитических задач.

EarthExplorer от USGS

Среди своих конкурентов USGS (Служба геологической съемки США) обладает старейшей коллекцией бесплатных разнообразных ГИС-данных. Доступ к ним можно получить посредством сервиса EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>), который работает через Google Maps.



Данные. EarthExplorer предлагает 40-летние всеобъемлющие спутниковые снимки, которые можно использовать для получения новых знаний. Все снимки получены со спутников USGS-NASA. Это Terra и Aqua MODIS, ASTER, VIIRS и многие другие. В сервисе имеются наборы данных с открытым исходным кодом, которые были получены в результате сотрудничества с Индийской организацией космических исследо-

ваний (ISRO) и Европейским космическим агентством (ESA). Это данные со спутников Resourcesat-1, 2 и Sentinel-2.

Также имеется много данных с коммерческих спутников высокого разрешения, таких как IKONOS-2, OrbView-3 и исторических данных SPOT.

Поиск. Сервис EarthExplorer позволяет фильтровать результаты поиска по дате, проценту облачности и любому количеству сенсоров. Можно просматривать каждый тайл отдельно или все вместе в зависимости от предпочтений.

Интересно, что в EarthExplorer можно воспользоваться поиском по функциям. Это позволяет просматривать длинный список всех возможных функций и встречать очень любопытные объекты, такие как древняя дорога или кладбища. Все это в дополнение к стандартным параметрам области интересов, таких как адрес, загрузка файлов и многое другое.

Аналитика. Не доступна. Возможна только через стороннее программное обеспечение.

Экспорт. Загрузка снимков из USGS доступна через приложение массовой загрузки. Также можно загрузить множество продуктов с данными, включая уровни Level-1,2,3, снимки в естественных цветах, тепловизионные снимки и многое другое в зависимости от сенсора.

EarthExplorer является наиболее богатым источником бесплатных спутниковых снимков. Сервис отличается большим количеством функций. Пользовательский интерфейс не самый удобный для пользователя, и требуется некоторый навык, чтобы привыкнуть к этому приложению.

LandViewer от EOS

LandViewer (<https://eos.com/landviewer>) — это современный источник спутниковых данных и аналитики на основе AI. Сервис представлен EOS, одним из ключевых официальных дистрибьюторов спутниковых снимков высокого разрешения.

Данные. LandViewer охватывает огромное количество общедоступных библиотек. Это снимки со спутников CBERS-4, Sentinel-1, 2, MODIS / NAIP, Landsat-7, 8, а также Landsat-4, 5 для исторических снимков. Среди наборов снимков SPOT -5-7, Pleiades-1, Kompsat-2, 3, 3A, SuperView-1. Максимальное пространственное разрешение достигает 40 см на пиксель.

С учетом всего вышесказанного вы можете получить полный список спутниковых данных и приобрести крупные планы изображений сверхвысокого разрешения.



Поиск. Снимки легко найти, задав интересующую область с помощью огромного количества опций и загрузки файла. Выбирается тип сенсора и таймфрейм. Процент облачного покрова, высота над уровнем моря и процент покрытия AOI доступны в качестве условий поиска фильтра.

Кроме того, вы можете сохранить свою область интересов и подписаться на новые сцены, чтобы легко получить то, что вам понадобится в будущем.

Можно легко загрузить обработанный снимок, комбинацию каналов или рассчитанный индекс.

Аналитика. LandViewer сразу включает аналитические возможности визуализации выбранного снимка, что делает сервис уникальным среди многих других платформ. Предлагается более 20 стандартных комбинаций и индексов, в том числе: NDVI, NBR SAVI. Можно создать свой собственный пользовательский индекс, кластеризацию, анализ временных рядов и использовать множество других инструментов для адаптации

снимков к заданным потребностям.

Экспорт. В хранилище LandViewer есть много всего. Можно скачать любой спутниковый снимок с широким спектром каналов или в естественных цветах. Он может быть полным или обрезанным в формате JPEG, KMZ или GeoTIFF.

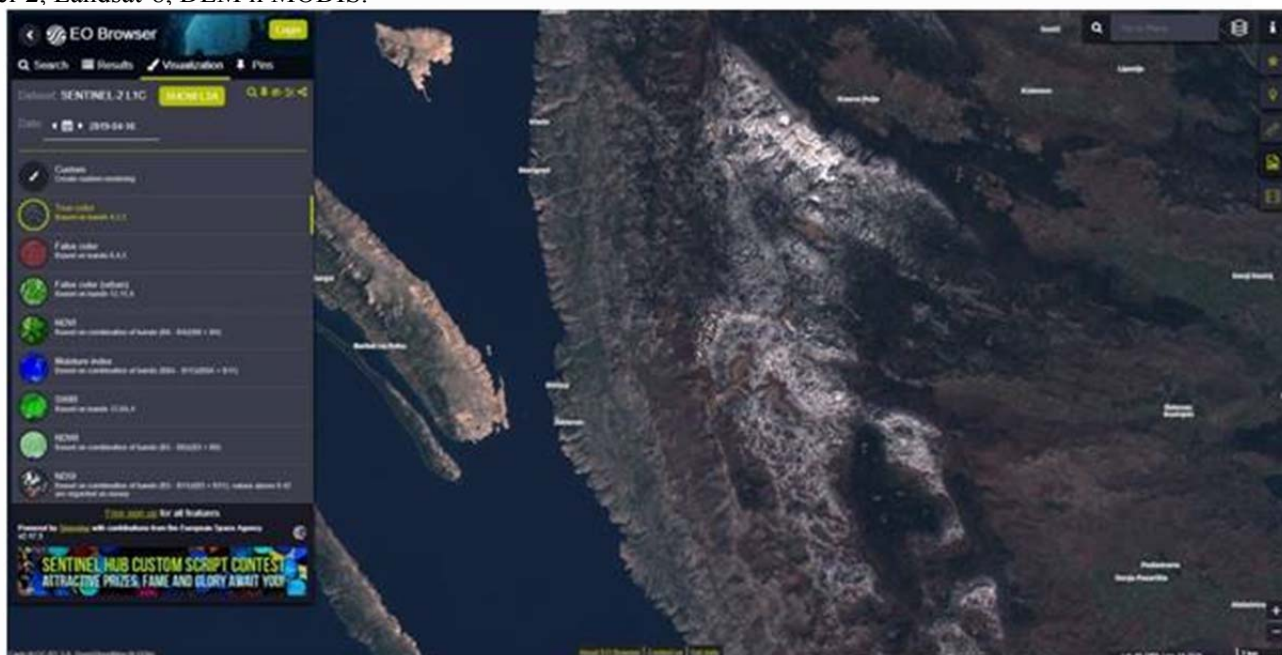
LandViewer — универсальный источник спутниковых снимков для ГИС-специалистов. Ему удастся объединить огромный список аналитических функций в аккуратный пакет для исследований.

EO Browser и Sentinel Playground от Sentinel Hub

С помощью Sentinel Hub открытые спутниковые снимки доступны через два основных сервиса: EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>) и Sentinel Playground (<https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>)

Данные. В EO Browser можно получить снимки со средним и низким разрешением. К ним относятся неограниченные коллекции от всех миссий Sentinel, Landsat -5, 6, 7 и 8, Envisat, Meris, MODIS, GIBS и Proba-V.

Sentinel Playground, с другой стороны, может использоваться для мозаики снимков, полученных с Sentinel-2, Landsat-8, DEM и MODIS.



Поиск. EO Browser и Sentinel Playground обладают интуитивно понятным набором функций. Все, что нужно для исчерпывающего поиска снимков. Следует отметить одно важное ограничение: некоторые наборы данных ограничены рендерингом с определенного масштаба. Для Landsat он начинается только после увеличения на 20 км.

Аналитика. EO Browser может предложить значительную свободу с точки зрения прикладной аналитики. Для одного снимка можно применить как минимум 8 комбинаций каналов и даже добавить свои собственные. Временные ряды доступны, но не все используемые снимки могут быть визуализированы.

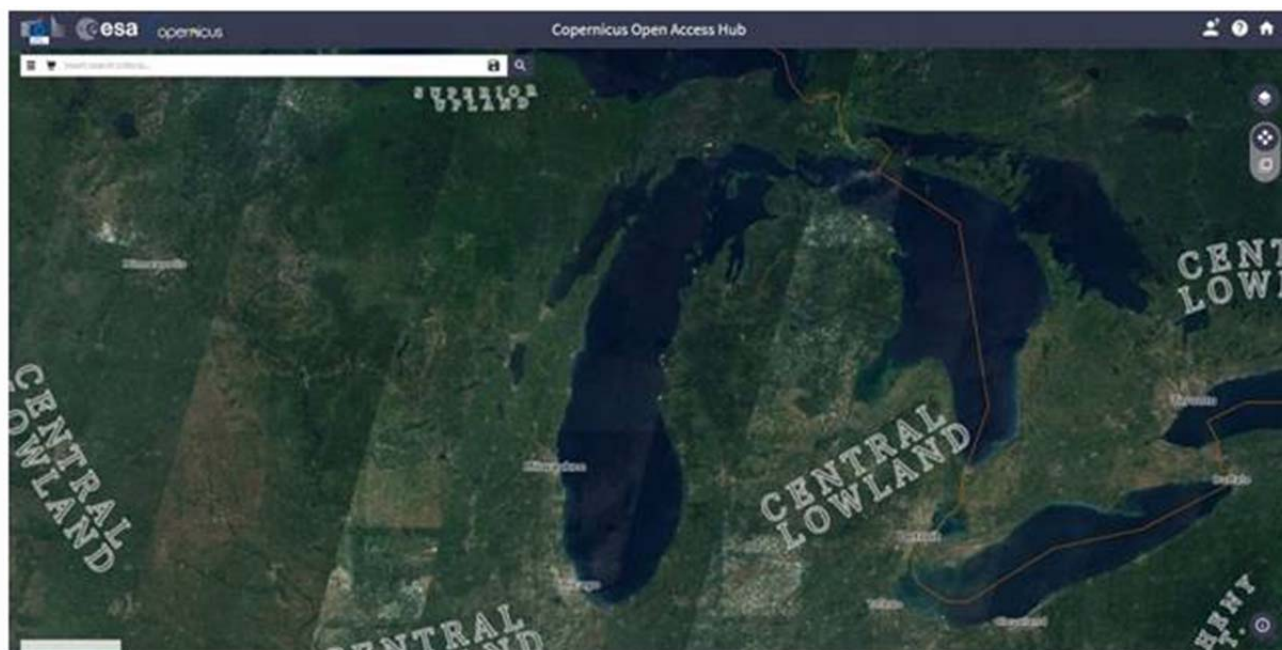
Экспорт. Sentinel Playground позволяет загружать в формате JPEG отдельные сегменты глобальной мозаики. EO Browser позволяет экспортировать снимки высокого разрешения в более широком наборе форматов, включая JPEG, GeoTIFF и KMZ, каналы и комбинации каналов.

EO Browser легко обозреть. Он предоставит вам доступ к хорошему выбору космических данных со средним разрешением с открытым исходным кодом и широкими возможностями визуализации. Sentinel Playground — отличное дополнение для глобальной мозаики снимков, которой можно поделиться.

Copernicus Open Access Hub

Еще одна замечательная коллекция снимков Sentinel — Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>) — по-своему уникальна.

Данные. Ранее известный, как “Sentinels Scientific Data Hub”, это место для новейших снимков со всех спутников Sentinel: радарные снимки Sentinel-1, оптические мультиспектральные снимки Sentinel-2, а также данные о земной поверхности Sentinel-3 для совместного анализа окружающей среды с данными об атмосфере и качестве воздуха в Sentinel-5P.



Поиск. Интерфейс поиска очень минималистичен, и, тем не менее, он не является вершиной простоты. Загрузка файла через пользовательский АОИ недоступна. Поиск координат работает через собственную внутреннюю базу данных операторов. Фильтр облачного покрова работает с помощью оператора шкалы от 0 до 5. Это очень полезно, но неудобно для более широкого круга специалистов.

Аналитика. Не доступна. Снимки можно просматривать только в режиме “Quicklook” с подробными метаданными.

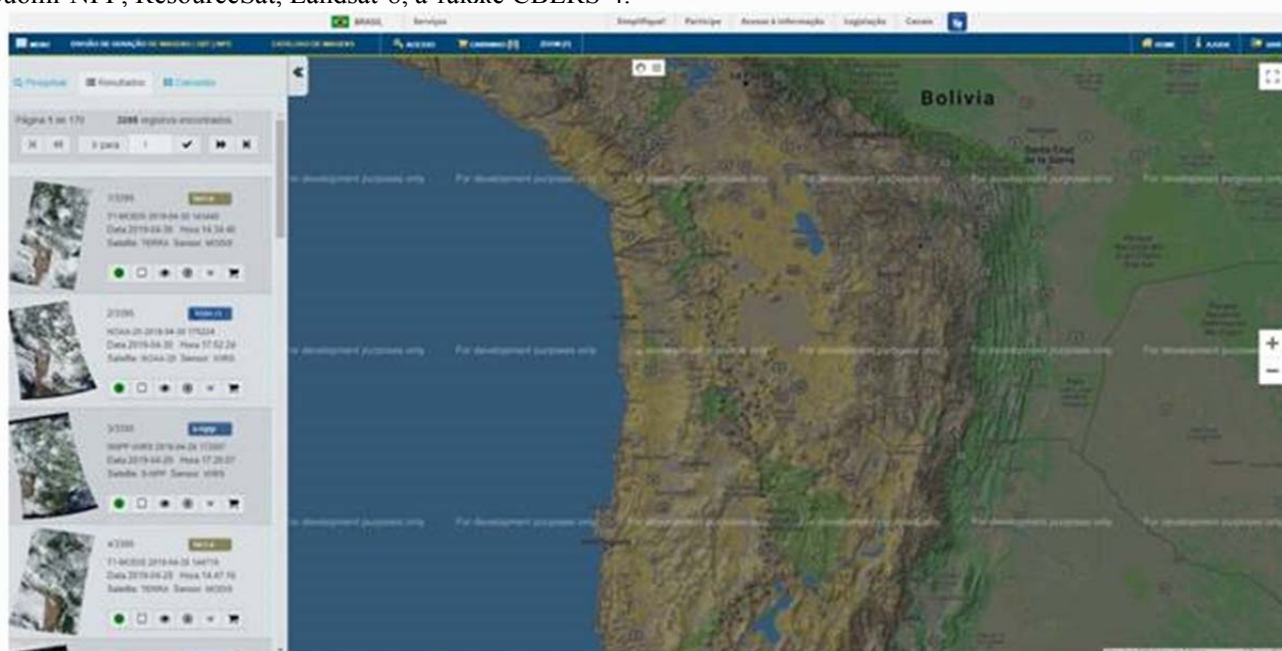
Экспорт. Все снимки доступны для скачивания, будучи добавленными в «корзину».

Платформа является хорошим источником бесплатных снимков Sentinel, хотя и не является лучшим местом для получения данных Sentinel-1 и 2, учитывая ее ограниченные возможности.

Каталог снимков INPE

Одним из замечательных источников спутниковых снимков является INPE (Национальный институт космических исследований Бразилии), предлагающий собственный хороший каталог снимков (<http://www.dgi.inpe.br>). В каталоге снимков можно найти много коллекций для изучения земного покрова, мониторинга водных ресурсов, растительности и метеорологических данных.

Данные. Каталог снимков INPE превосходный, когда речь идет о Южной и Центральной Америке и Африке. Здесь можно воспользоваться данными следующих миссий: Aqua, DEIMOS, UK-DMC 2, Terra, Suomi-NPP, ResourceSat, Landsat-8, а также CBERS-4.



For those looking for some extra data on CBERS-2, Landsat 1, 2, 3, 5 and 7 their INPE cadastre is always out

there.

Для тех, кто ищет дополнительные данные со спутников CBERS-2, Landsat -1, 2, 3, 5 и 7, их можно найти в кадастре INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>).

Аналитика. Не доступна.

Экспорт. Загрузка осуществляется по FTP-ссылке, отправленной на электронную почту заказчика. Просто надо добавить выбранные снимки в «корзину» вместе с адресом.

Каталог снимков INPE — отличное место для получения снимков, если нужна Южная, Центральная Америка и Африка. Он не может помочь в получении данных по всему миру, но, исходя из вышесказанного, можно получить хороший опыт работы с многочисленными данными, которые можно обрабатывать в любой другой онлайн-среде или в десктопном режиме.

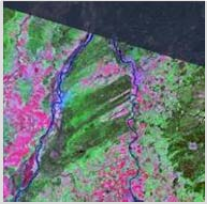
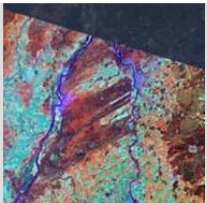
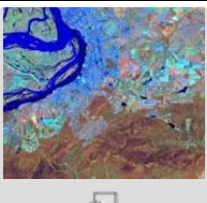
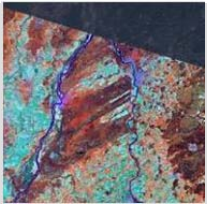
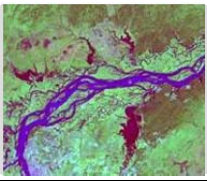
Спутниковые снимки больше не являются роскошью или эксклюзивной собственностью спецслужб. Каждый может получить их бесплатно и сделать полезными для себя. Все вышеперечисленное должно обеспечить множество способов получить соответствующую информацию из космических данных и принять обоснованные решения.

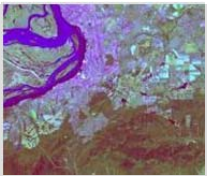
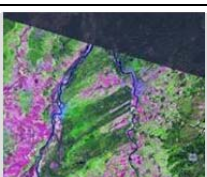
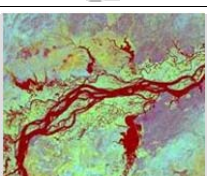
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

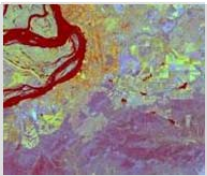
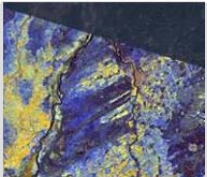
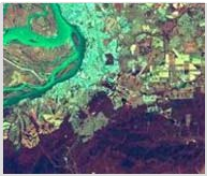
Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM, Sentinel-2

Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+

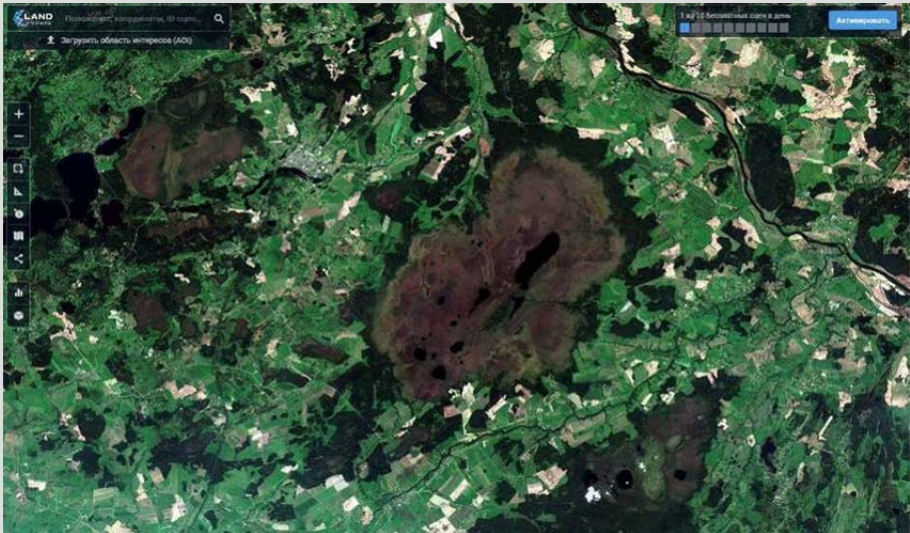
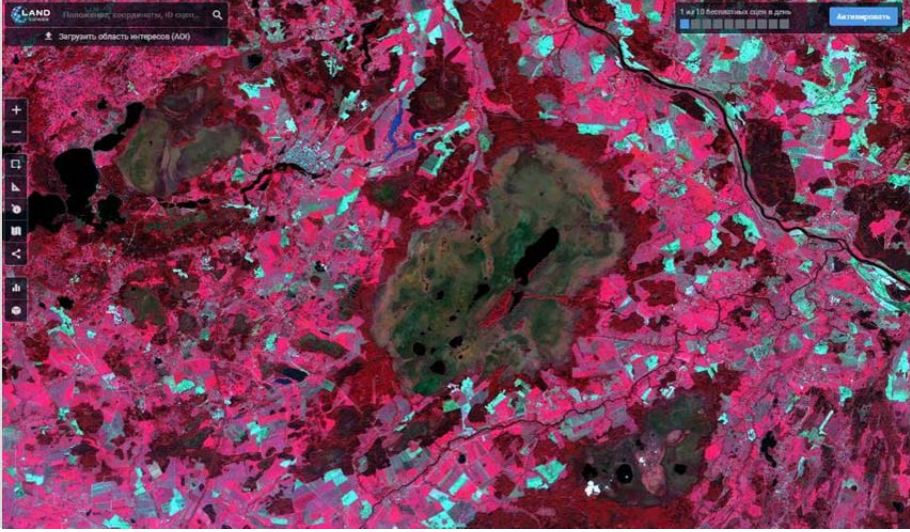
Комбинация Landsat 5,7	Комбинация Landsat 8	Возможная информация	Примеры
4,3,2	5,4,3	Стандартная комбинация «искусственные цвета». Растительность отображается в оттенках красного, городская застройка – зелено-голубых, а цвет почвы варьируется от темно до светло коричневого. Лед, снег и облака выглядят белыми или светло голубыми (лед и облака по краям). Хвойные леса будут выглядеть более темно-красными или даже коричневыми по сравнению с лиственными. Эта комбинация очень популярна и используется, главным образом, для изучения состояния растительного покрова, мониторинга дренажа и почвенной мозаики, а также для изучения агрокультур. В целом, насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую или редколесья/кустарниковую растительность.	
3,2,1	4,3,2	Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов. Вырубки и разреженная растительность детектируются плохо, в отличие от комбинации 4-5-1 или 4-3-2 . Облака и снег выглядят одинаково белыми и трудноразличимы. Кроме того, трудно отделить один тип растительности от другого. Эта комбинация не позволяет отличить мелководье от почв в отличие от комбинации 7-5-3 .	
7,4,2	7,5,3	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, травянистые сообщества – зелеными, ярко розовые участки детектируют открытую почву, коричневые и оранжевые тона характерны для разреженной растительности. Сухостойная растительность выглядит оранжевой, вода- голубой. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков. Эта комби-	

		нация дает великолепный результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Кроме того, может быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Сгоревшие территории будут выглядеть ярко красными. Эта комбинация используется для изучения динамики пожаров и пост-пожарного анализа территории. Городская застройка отображается в оттенках розово-фиолетового, травянистые сообщества – зелеными и светло зелеными. Светло зеленые точки внутри городских территорий могут быть парками, садами или полями для гольфа (актуально для России :)). Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов и более темный цвет является индикатором примеси хвойных пород.	
4,5,1	5,6,2	Здоровая растительность отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого. Почвы могут выглядеть зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, ярко голубой цвет может детектировать недавно вырубленные территории, а красноватые – восстановление растительности или разреженную растительность. Чистая, глубокая вода будет выглядеть очень темно синей (почти черной), если же это мелководье или в воде содержится большое количество взвесей, то в цвете будут преобладать более светлые синие оттенки. Добавление среднего инфракрасного канала позволяет добиться хорошей различимости возраста растительности. Здоровая растительность дает очень сильное отражение в 4 и 5 каналах. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволяет различать затопляемые территории и растительность. Эта комбинация малопригодна для детектирования дорог и шоссе.	  
4,5,3	5,6,4	Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут детектироваться водные объекты внутри суши. Эта комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого. Эта комбинация дает возможность анализа влажности и полезны при изучении почв и растительного покрова. В целом, чем выше влажность почв, тем темнее она будет выглядеть, что обусловлено поглощением водой излучения ИК диапазона.	  
7,5,3	7,6,4	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Растительность отображается в оттенках темно и светло зеленого, ур-	

		банизированные территории выглядят белыми, зелено-голубыми и малиновыми, почвы, песок и минералы могут быть очень разных цветов. Практически полное поглощение излучения в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом позволяет очень четко выделять береговую линию и подчеркнуть водные объекты на снимке. Горячие точки (как, например, кальдеры вулканов и пожары) выглядят красноватыми или желтыми. Одно из возможных применений этой комбинации каналов – мониторинг пожаров. Затопляемые территории выглядят очень темно синими и почти черными, в отличие от комбинации 3-2-1, где они выглядят серыми и плохо различимы.	 
5,4,3	6,5,4	Как и комбинация 4-5-1 эта комбинация дает дешифровщику очень много информации и цветовых контрастов. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, а почвы – розовато-лиловыми. В отличие от 7-4-2, включающей 7 канал и позволяющей изучать геологические процессы, эта комбинация дает возможность анализировать сельскохозяйственные угодья. Эта комбинация очень удобна для изучения растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ.	  
5,4,1	6,5,2	Комбинация похожа на 7-4-2, здоровая растительность выглядит ярко зеленой, за исключением того, что эта комбинация лучше для анализа сельскохозяйственных культур.	  
7,5,4	7,6,5	Эта комбинация не включает ни одного канала из видимого диапазона, и обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы. Береговые линии четко различимы. Может быть использован для анализа тексту-	

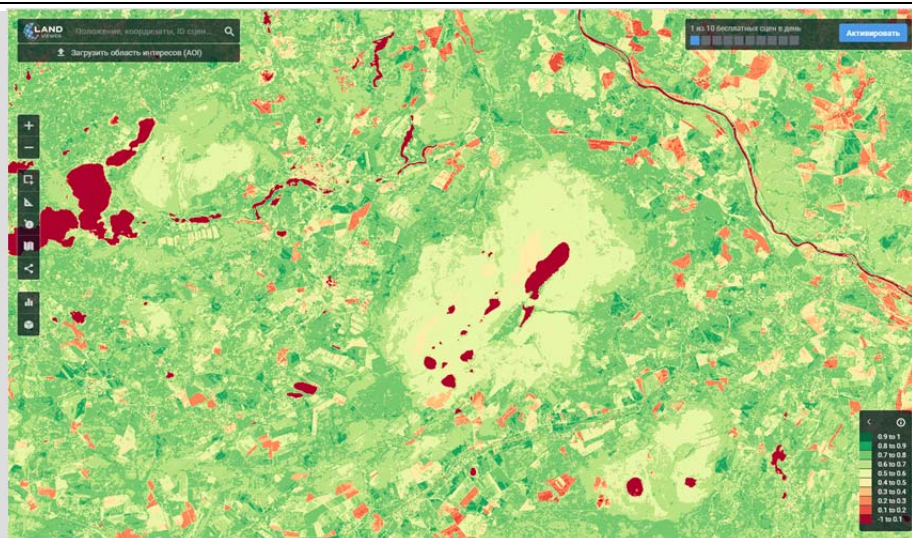
		ры и влажности почв. Растительность выглядит голубой.	 
5,3,1	6,4,2	Эта комбинация показывает топографические текстуры, в то время как 7-3-1 позволяет различить горные породы.	  

Интерпретация комбинаций каналов данных Sentinel-2

Комбинация Sentinel-2	Примеры
Natural Color B04, B03, B02 Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины.	
Forestry Coverage Band B04, B03, B02	
Color Infrared (Vegetation) B08, B04, B03 Эта одна из популярных комбинаций полос полезна для изучения растительности, мониторинга дренажа на различных этапах роста сельскохозяйственных культур и структуры почвы. Растительность проявляется в оттенках красного, почвы варьируются от темно-коричневых до светло-коричневых, а городские районы имеют голубовато-голубой цвет или иногда могут казаться желтыми или серыми, в зависимости от их состава. Облака, снег и лед имеют светло-голубой или белый цвет.	

NDVI
 $(B8A-B04)/(B8A+B04)$

Нормализованный разностный индекс растительности (NDVI)



SAVI
 $1.5*(B8A-B04)/(B8A+B04+0.5)$



ARVI
 $(B08-(B04-1*(B02-B04)))/(B08+(B04-1*(B02-B04)))$

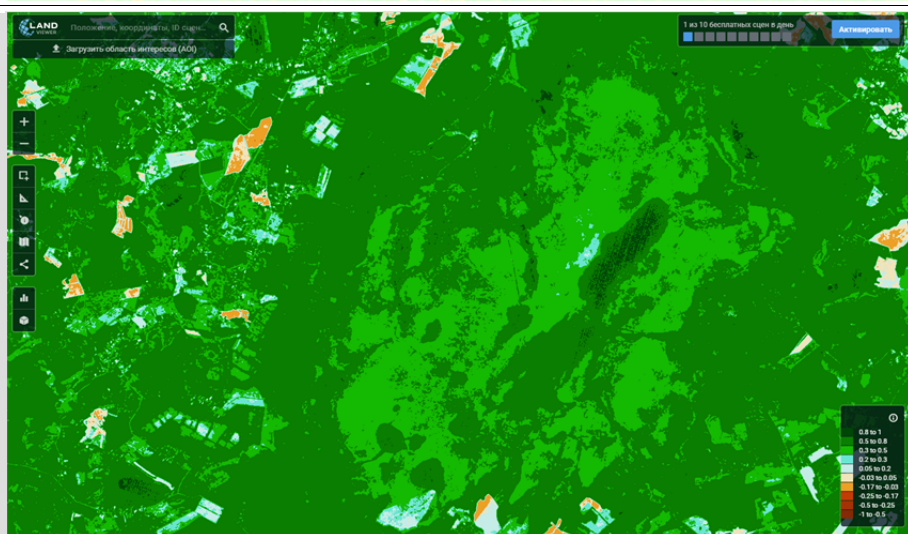


EVI

$$2.5 * ((B8A - B04) / ((B8A + 6 * B04 - 7.5 * B02) + 1))$$

**NBR**

$$(B8A - B12) / (B8A + B12)$$

**Agriculture
B11, B8A, B02**

Комбинация полос работает в лучшем спектральном диапазоне, чтобы различать условия и разновидности растительности. Поскольку вода является сильным поглотителем ИК-излучения, комбинация полос очерчивает водоемы и различает влажные и сухие почвы. В этом диапазоне комбинация лугов и пахотных земель показывает более яркий тон (более высокий коэффициент отражения), чем лес. Он также отделяет голые пахотные земли от пахотных земель. Поскольку стоячие культуры имеют более яркий оттенок в ближнем ИК-диапазоне, они выглядят более яркими, а из-за содержания влаги в голых пахотных землях они имеют более темный оттенок. В сочетании полос городские районы, шоссе и бесплодные земли не выделяются там, где они отображаются темным тоном.



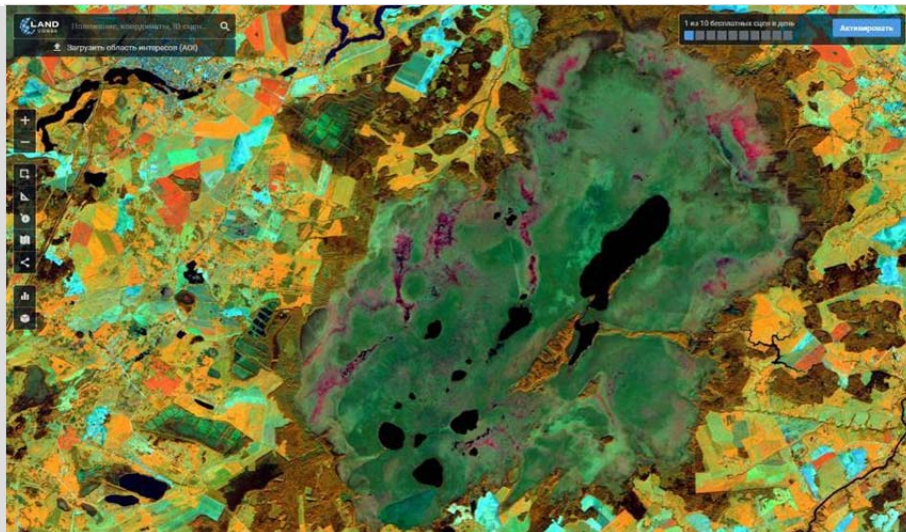
False Color (Urban) **B12, B11, B04**

Эта комбинация используется для получения псевдо природных цветов, и позволяет анализировать атмосферную дымку, состояние взвесей в атмосфере, ее дымность. Растительность отображается в оттенках зеленого, урбанизированные районы представлены белым, серым или пурпурным цветом, а почвы, песок и минералы показаны различными цветами. Снег и лед выглядят темно-синими, а вода - черными или синими. Затопленные области имеют темно-синий и почти черный цвет. Одно из применений этой комбинации - мониторинг лесных пожаров. Поверхности с повышенными температурами, такие как лесные пожары и кальдеры вулканов, насыщают изображение в средних ИК-каналах и отображаются в оттенках красного или желтого.



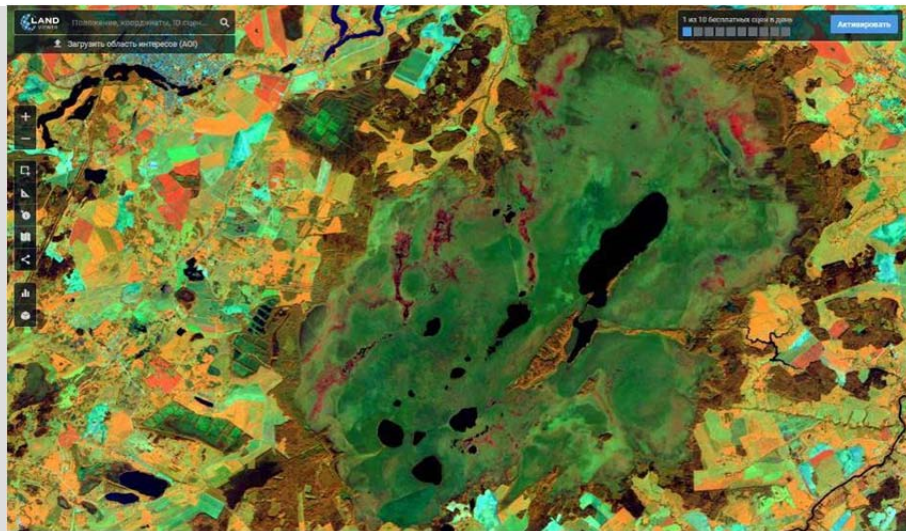
Land/Water **B8A, B11, B04**

Эта комбинация каналов необходима, что бы отличить землю от воды. На изображении лед выделяется ярким пурпурным цветом, вода проявляется в оттенках синего, а земля - в оттенках зеленого и оранжевого. Городские элементы окрашены в пурпурный, белый или фиолетовый цвет. Почвы, пески и минералы отображаются в разных цветах. Лед и снег имеют ярко-пурпурный цвет, вода - темно-синий. Горячие поверхности, такие как лесные пожары и кальдеры вулканов, насыщают полосы среднего ИК-диапазона и имеют оттенки коричневого или желтого. Одно конкретное применение этой комбинации - определение затопленных территорий. Затопленные участки должны выглядеть темно-синими,



Healthy Vegetation **B8A, B11, B02**

Здоровая растительность проявляется в оттенках красного, оранжевого, желтого и коричневого. Городские черты: белые почвы могут быть коричневыми, а зеленые, ярко-синие, голубые и серые области представляют собой четко вырубленные участки, а красноватые области показывают рост новой растительности и предположительно редкие луга. Чистая и глубокая вода является темной в сочетании, и если вода содержит отложения или мелкая, она будет иметь оттенки более светлого синего цвета. Комбинация не подходит для изучения культурных особен-



ностей, например, дорог, взлетно-посадочных полос и т. д.

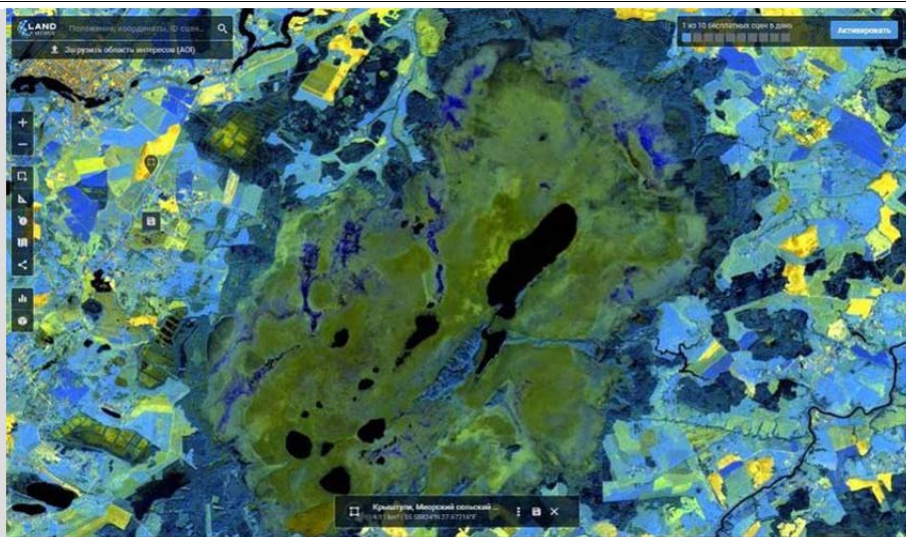
Vegetation Analysis B11, B8A, B04

Эта комбинация каналов обеспечивает информацию и цветовую контрастность для обнаружения обнаженной почвы и растительности. Он подходит для изучения растительности и широко используется в мониторинге сельскохозяйственных культур, обнаружении и управлении заражениями, а также в управлении лесным хозяйством. Посевы в засушливых регионах, хвойных и лиственных лесах появляются с постепенно более темной зеленой динамикой, в то время как орошаемая и здоровая растительность проявляется светло-зеленой. Почвы выглядят как розовато-лиловые, коричневые и коричневые.



Atmospheric Penetration B12, B11, B8A

Комбинацию каналов можно использовать для определения влажности почвы. Вода ослабляет NIR и коротковолновую инфракрасную (SWIR) волны, лед и снег, создавая четко очерченные берега, береговые линии и выделенные источники воды на изображении. Растительность в комбинации полос отображается синим цветом, отображая детали, связанные с энергией растительности, отображается голубым цветом, а редкая и / или засушливая растительность отображается тускло-синим. Городские элементы бывают белого, серого, голубого или фиолетового цвета.



Index Stack

(B03-B11)/(B03+B11), (B8A-B04)/(B8A+B04), (B03-B08)/(B03+B08)

Эти спектральные индексы используются для автоматического выделения элементов ландшафта, таких как снег/лед, облака, растительность и вода в изображениях Sentinel, где они создают «стек индексов» с использованием трех наборов индексов: нормализованного разностного индекса воды (NDWI), нормализованного разностного растительного индекса (NDVI), нормализованного разностного снежного индекса (NDSI).

Комбинация индексов создает определенные цвета для различных особенностей ландшафта. Где облака выглядят как смесь пурпурного и пурпурного, вода - пурпурным, растительность - зеленой, почва, скалы и бесплодная земля - синим, а снег / лед - пурпурным.

