НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича

НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Под общей редакцией Д. Г. Груммо, А. В. Судника

Минск
«Беларуская навука»
2023

УДК 502.175:[502.211:582](476)

Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.] ; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 351 с. – ISBN 978-985-08-2985-6.

В монографии приводится концепция, представлены наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем и угроз биологическому разнообразию при проведении комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. При ведении данного вида мониторинга НСМОС 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. Практической целью работ является регулярный сбор данных о состоянии естественных (лесных, луговых, болотных и водных) экосистем, о степени и интенсивности их повреждения природными и антропогенными факторами, а также о динамике выявленных угроз функционированию экосистем и биоразнообразию ООПТ на основе данных дистанционного зондирования Земли.

Книга предназначена для работников органов государственного управления, специалистов в области охраны окружающей среды и использования природных ресурсов, научных работников и преподавателей вузов, работающих в области биологии и экологии, читателей, интересующихся проблемами экологии.

Табл. 43. Ил. 153. Библиогр.: 142 назв.

А в т о р с к и й к о л л е к т и в:

Д. Г. Груммо (гл. 6); А. В. Судник (гл. 1, 2, 3, 5); В. М. Байчоров (гл. 4);
И. Н. Вершицкая (гл. 2, 5); И. П. Вознячук (гл. 3); Н. Д. Грищенкова (гл. 3);
Д. Ю. Жилинский (гл. 6); Д. В. Журавлев (гл. 4); Н. А. Зеленкевич (гл. 6);
Е. В. Корзун (гл. 4); Е. В. Мойсейчик (гл. 6); А. В. Пугачевский (гл. 1);
И. А. Рудаковский (гл. 3); С. Г. Русецкий (гл. 6); О. А. Семенов (гл. 6);
В. А. Сипач (гл. 6); И. М. Степанович (гл. 3); Р. В. Цвирко (гл. 6)

Р е ц е н з е н т ы:

кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе
ГПУ «Березинский биосферный заповедник» В. С. Ивкович;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоустройства
УО «Белорусский государственный технологический университет» А. А. Пушкин

ISBN 978-985-08-2985-6

© Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, 2023
© Оформление. Издательский дом «Беларуская навука», 2023

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 07.07.2004 № 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);

постановление Бюро Президиума Национальной академии наук Беларуси от 04.12.2020 № 547 «Инструкция о порядке проведения комплексного мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях»;

постановление Бюро Президиума НАН Беларуси от 27.07.2009 № 405 «Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь»;

постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 19.12.2016 № 79 «Санитарные правила в лесах Республики Беларусь»;

приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.12.1998 № 400 «Методические рекоменда-

ции по инвентаризации и картированию особо ценных в хозяйственном отношении, редких и исчезающих видов растений»;

ТКП 17.02-10-2013 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия.

Проведение комплексного мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях (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» (пункт 7 Инструкции о порядке проведения комплексного мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях).

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенно обусловленное преобразование природной среды относится к числу наиболее острых проблем современности. Необходимость управления экологической безопасностью, то есть 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 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 (ООПТ) 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 непре-

рывного функционирования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (статья 7 Закона Республики Беларусь «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 Республики Беларусь «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 работ 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 издании 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.

Глава 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;
подготовка предложений в План управления ООПТ;
приоритет относительно простых, недорогих методов мониторинга;
возможность частичного перехода от наземных к дистанционным методам;
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, экосистемам, 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 прогалины 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 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 скотопрогоны, 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 пр.), 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 природных 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 профиль – ЭФП, объединяющий совокупность постоянных пробных площадок – ППП), закрепленные в натуре. Закладываются при мониторинге 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 покрова, размеров сообществ и популяций, подлежащих мониторингу или обладающих индикаторными свойствами, их репрезентативности или уникальности, степени угрозы их существованию, доступ-

ности. Совокупность пунктов наблюдений образует локальную сеть комплексного мониторинга экосистем ООПТ.

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

а) о состоянии экосистем, основанные на методах биоиндикации и оценки состояния факторов среды;

б) 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 экосистем в рамках КМЭ ООПТ проводятся со следующей периодичностью:

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:

а) данные о состоянии и динамике состояния экосистем на ООПТ и прогноз изменения состояния экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов;

б) анализ природных и антропогенных факторов, оказывающих вредное воздействие на состояние экосистем на ООПТ, оценку интенсивности их воздействия;

в) рекомендации по совершенствованию охраны и управления ООПТ, сохранению 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 Республики Беларусь, Управление делами Президента Республики Беларусь, 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.

Глава 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 ООПТ в отдельности с учетом особенностей экосистем особо охраняемой природной территории, 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 др.

Оценка состояния экосистем на ООПТ осуществляется на основе индикаторов состояния экосистем и популяций диких животных и дикорастущих растений (табл. 2.1). Оценка состояния экосистем осуществляется

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	
Лесные	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 EEC Habitat Directive, пр.); наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	Видовое разнообразие естественной флоры и фауны лесов; 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 кустистые и листоватые лишайники, нитрофилы, галофиты, апофиты, рудеральные, пирофиты, 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 энтомовредителями; 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 табл. 2.1

Экосистемы	Тип индикаторов					Факторы воздействия на экосистемы
	соответствия экосистем критериям ООПТ	функциональной значимости экосистем	структурные	экологические	проявления воздействия угроз и деградации экосистем	
Болотные и луговые	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 книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	Видовое разнообразие флоры и фауны болот и лугов; наличие условий для сохранения генофонда 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 экологических защитных и средообразующих функций на ООПТ и в регионе; сохранение ландшафтного разнообразия	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, используемых в сельском хозяйстве, типы угодий; площадь закустаренных земель	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 – фитоценозы различных синтаксономических рангов; эдафические – почва; гидрологические – грунтовые и поверхностные воды	Высокая степень зарастания 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 напочвенного покрова; снижение продуктивности травостоев и сфагновых мхов; синантропизация; иологическое, техногенное, органогенное загрязнение; средняя и высокая степени проявления угроз	Климатические явления (заморозки, аномальные сезоны, пр.); гидротехническая мелиорация; торфоразработка; паводки; палы и пожары; рекреация; нерегламентированный выпас скота; сенокошение; распашка земель; нерегламентированное пользование природными ресурсами; транспортные линии республиканского и международного значения

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 зарастания водных объектов; существенное изменение режимных гидрологических показателей (уровень, скорость, прозрачность и пр.); биологическое, техногенное и органогенное загрязнение; скорость и степень 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 сообществ (можжевельники,	Видовое разнообразие флоры и фауны; наличие условий для сохранения генофонда и воспроизводства	Площадь экосистем, площадь и количество формаций, типов леса; структура	Популяционные – виды редкие и охраняемые, на/за границей ареала, обладающие конкретными индикаторными	Биологическое, техногенное, органогенное загрязнение; средняя и высокая степень проявления угроз	Климатические явления (заморозки, аномальные сезоны); гидротехническая мелиорация; паводки; палы и пожары;

Окончание табл. 2.1

Кустарниковые	ерники); наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	аборигенных видов флоры и фауны; наличие условий для сохранения редких и исчезающих видов флоры и фауны; выполнение защитных и средообразующих функций	по типу местоположения (кустарники по болоту, кустарники по суходолу)	свойствами (нитрофилы, галофиты, рудеральные, пр.)		рекреация; болезни, фито- и энтомоповреждения
Сегетальные, селитебные, прочие	Не рассматриваются	Не рассматриваются	Площадь по видам земель и типу угодий	–	Не рассматриваются	Данные экосистемы рассматриваются в качестве источников воздействия на природную среду ООПТ, обусловленного антропогенной деятельностью: биологическое, органогенное и техногенное загрязнение, затопление и подтопление, рекреация, побочное пользование, выпас, вырубка леса
ООПТ в целом	Наличие объектов охраны в соответствии с Положением об ООПТ; доля лесных, болотных, луговых экосистем высокой природо-	Видовое разнообразие флоры и фауны ООПТ; выполнение экологических охранных, защитных и средообразующих функций в регионе;	Характер и форма границ ООПТ; количество и площадь видов земель на ООПТ; количество и площадь экосистем	Фитоценотические – лесная, болотная, луговая и водная растительность, коренные фитоценозы; фитопопуляционные – аборигенные виды,	Сокращение площади особо ценных экосистем и сообществ; снижение видового разнообразия естественной лесной, болотной, луговой	Аномальные климатические явления; хозяйственная деятельность на ООПТ и прилегающей территории; близость крупных населенных пунктов;

	охранной ценности в совокупности не менее 10–15 %; наличие таксонов Красной книги; количество популяций редких и охраняемых видов флоры и фауны	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	на ООПТ; площадь мелиорированных земель; площадь естественных и искусственных экосистем; густота дорожной сети	характерные для данного региона, эндемичные, реликтовые, редкие и охраняемые, на/за границей ареала	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	транспортные линии республиканского и международного значения; рекреация

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, фитоценотические, эдафические, гидрологические и другие показатели);

проявления воздействия угроз и деградации экосистем.

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

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 табл. 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
Мониторинг природно-растительного комплекса заказника в целом (информационный блок)					
Вся ООПТ		Структура земельного фонда и пространственное размещение и соотношение основных экосистем (га/%)	Таблицы, рисунки	Раз в 10 лет	ИЭБ НАН Беларуси
		Видовой состав сосудистых растений и животных, перечень и состояние популяций охраняемых видов растений и животных Красной книги (шт.)	Аннотированный список	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам
		Индексы синантропизации флоры и фауны (%)	Таблица		
		Распределение животных модельных групп (птицы, жужелицы и амфибии) по экологическим группам	Таблицы, рисунки	Раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
		Анализ угроз экосистемам	Аннотированный перечень	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, 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 НАН Беларуси
Экосистемы ООПТ		Аналитические записки, отражающие состояние экосистем ООПТ (краткий отчет)	Отчет	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам
Мониторинг экосистем на пунктах наблюдения					
Лесные экосистемы	Постоянные пункты учета мониторинга лесов	*Индикаторная группа – лесная растительность:* распределения деревьев по классам повреждения и по категориям жизненного состояния, индекс состояния древостоя, средняя дефолиация крон деревьев (%)	Таблицы, диаграммы	Раз в 5 лет	ЛРУП «Белгослес»

Продолжение табл. 2.2

Объекты наблюдений	Пункты наблюдений	Наблюдаемые параметры	Формат представления	Периодичность оценки	Организация, проводящая оценку
Лесные экосистемы	Постоянные пункты наблюдений (в части растительного мира)	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 покрытие (%)	Таблицы, диаграммы	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси
		Перечень и состояние популяций охраняемых видов растений Красной книги (шт.)	Аннотированный список	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси
	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	*Индикаторная группа – напочвенные жесткокрылые:* видовой состав (шт.), численность (ловушко-сутки) и соотношение (%) экологических групп жуков семейства жужелиц; *индикаторные группы – птицы:* список видов орнитофауны водно-болотного комплекса (шт.)	Аннотированный список, таблица	Раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
		Перечень и состояние популяций охраняемых видов животных Красной книги (шт.)	Аннотированный список	Раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
	На всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз лесным экосистемам (балл)	Таблица	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам
Луговые и болотные экосистемы	Ключевые участки (в части растительного мира)	*Индикаторная группа – луговая и болотная растительность:* состав фитоценоза, проективное покрытие видов, индекс антропофитизации, степень зарастания древесно-кустарниковой растительностью (%); границы ассоциаций (м), продуктивность (ц/га), жизненность видов-доминантов (балл)	Таблицы	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси

	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	*Индикаторная группа – напочвенные жесткокрылые:* видовой состав (шт.), численность (ловушко-сутки) и соотношение (%) экологических групп жуков семейства жужелиц; *индикаторные группы – птицы:* список видов орнитофауны водно-болотного комплекса (шт.)	Аннотированный список, таблица	Раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
		Перечень и состояние популяций охраняемых видов животных Красной книги (шт.)	Аннотированный список	Раз в 5 лет	НПЦ по биоресурсам
	На всех пунктах наблюдения	Категории и степень проявления угроз луговым и болотным экосистемам (балл)	Таблицы	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам
Водные	Ключевые участки (в части растительного мира)	*Индикаторная группа – водная растительность (макрофиты):* степень и характер зарастания макрофитами, степень эвтрофирования, проективное покрытие макрофитов, поврежденность видов-доминантов (%); обилие и жизненность видов-доминантов (балл); биомасса макрофитов (кг/м^2)	Таблицы	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси
		Видовой состав макрофитов, перечень и состояние популяций охраняемых видов растений Красной книги (шт.)	Аннотированный список	Раз в 5 лет	ИЭБ НАН Беларуси
	Пункты мониторинга и мониторинговые маршруты (в части животного мира)	*Индикаторные группы – водные беспозвоночные:* видовой состав (шт.), численность и соотношение (%) экологических групп водных беспозвоночных; *индикаторные группы – птицы:* 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 НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам

Окончание табл. 2.2

Объекты наблюдений	Пункты наблюдений	Наблюдаемые параметры	Формат представления	Периодичность оценки	Организация, проводящая оценку
Охраняемые виды растений	Постоянные пункты наблюдения за популяциями охраняемых видов растений	*Индикаторная группа – охраняемые растения Красной книги:* 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 НАН Беларуси
Инвазивные растения	Постоянные пункты наблюдений (виды и популяции инвазивных растений будут выбраны после обследования территории)	*Индикаторная группа – инвазивные вредоносные растения:* 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 НАН Беларуси
Мониторинг экосистем на мониторинговых маршрутах					
Все типы экосистем	Мониторинговые маршруты (в части растительного и животного мира)	*Индикаторная группа – сосудистые растения:* корректировка общего списка видов сосудистых растений; перечень и состояние популяций охраняемых видов растений и животных Красной книги, редких и уникальных растительных сообществ и редких биотопов (шт.)	Аннотированный список	Раз в 3–5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам
		Индикаторная группа – птицы, амфибии: видовой состав птиц и амфибий с распределением по экологическим категориям (шт.) и их плотность (ос./$км^2$)	Аннотированный список	Раз в 3–5 лет	НПЦ по биоресурсам
		Категория, степень проявления и локализация угроз (балл)	Таблица	Раз в 3–5 лет	ИЭБ НАН Беларуси, НПЦ по биоресурсам

Глава 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 (*Гельтман, 1982; Пугачевский, Судник, Вершицкая, 2005*). Постоянные пункты наблюдений (ППН) – пункты наблюдений площадного типа, фиксированного размера.

Проектирование локальной сети пунктов наблюдений КМЭ ООПТ 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 М 1 : 100 000 или 1 : 50 000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений М 1 : 25 000, материалы последнего лесоустройства, другие лесохозяйственные источники и документация (книги учета лесных пожаров, прочее).

Документация и оформление 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;
планы лесонасаждений М 1 : 25 000, топокарты М 1 : 50 000, схема ООПТ;
программа-методика работ, паспорт ППН с бланком-вкладышем;
фотоаппарат;
фотоэталоны классов повреждения деревьев различных пород;
бинокль;
жидкостной компас;
рулетка длиной 30 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, то есть 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 × 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 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. Расстояние 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 пяти 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 – 5 × 5 м. Всего закладывается 5 площадок (по одной на ТУ). Площадки закладываются от центрального дерева ТУ в направлении на юг и на запад (рис. 3.1).

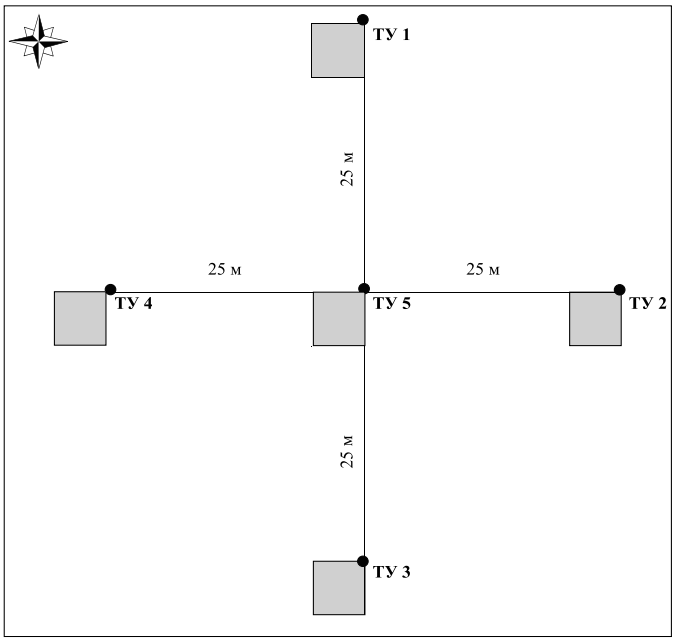


Рис. 3.1. Схема размещения точек учета на ППН для описания подроста, подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов

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;

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, %.

Для древостоя в целом рассчитываются:

индекс состояния, %;

категория жизненного состояния;

средняя дефолиация, %.

Описание состояния деревьев производится на основе общеевропейской методики экологического лесного мониторинга, изложенной в «Руко-

водстве по методам и критериям гармонизированного взятия образцов, оценке, мониторингу и анализу влияния загрязнения воздуха на леса. Часть I. Структура и функции ICP Forests; Часть II. Визуальная оценка состояния крон» (*ICP Forests..., 2011*).

Оценка жизненного состояния деревьев проведена на основе «Санитарных правил в лесах Республики Беларусь» (утв. постановлением 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 guids (International – Baltics 1997)» *(Forest..., 1997).*

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.

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

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 3.1 (*Лесные экосистемы..., 1990*):

$$ИС = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N, \quad (3.1)$$

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 %-ной точностью. Для более точной и объективной оценки процента дефолиации следует пользоваться фотоэталонами процента 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-й класс (неповрежденные деревья) – дефолиация 0–10 %;

1-й класс (слабоповрежденные) – 11–25 %;

2-й класс (среднеповрежденные) – 26–60 %;

3-й класс (сильноповрежденные) – 61–99 %;

4-й класс (усохшие деревья) – дефолиация 100 %.

Для деревьев 2-го и 3-го классов повреждения (то есть для деревьев с дефолиацией более 25 %) в соответствии с методикой Е. Лесиньского (*Lesinski, Armolaitis, 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 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 типов повреждения (указывается с помощью индексов).

Природные повреждения: энтомовредители – 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, где указываются:

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 – среднемощная (1–3 см), 3 – мощная (4–5 см), 4 – высокомощная (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 (*Красная книга… (растения), 2015*).

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 нередки 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 главе 5.

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

площадь ($м^2$);

глазомерная оценка численности (шт.);

доминирующая фаза развития (вегетация, бутонизация, цветение, плодоношение, обсеменение, отмирание);

поврежденность (%) с указанием причины повреждения (энтомовредители, болезни, антропогенные и природные механические, нарушение водного режима, рекреация и пр.).

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 болот с доминированием гидрофитно-травяной растительности (осоки, тростник, рогоз и пр.) и моховых болот 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 луговой/болотной растительности 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 м^2. 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 М 1 : 100 000 или 1 : 50 000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений масштаба 1 : 25 000, материалы землеустройства, дистанционной съемки.

Документация и оформление материалов полевых работ

Для каждого КУ оформляется ***«Паспорт ключевого участка»*** (см. 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. 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 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, то есть 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 линии профиля). На профиле закладываются 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 КУ 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 КУ (указываются 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 КУ по выбранному направлению. Направление устанавливается по компасу или другим приборам. По профилю КУ 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 (*Круганова, Баранова, Буртыс, 1996*).

При описании ассоциации указываются:

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 ЭФП).

Название ассоциации составляется из названий доминантов каждого яруса, начиная с древесного и 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 тире 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 cespitosa*. 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, обусловливающих 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 свыше 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 процент 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, его 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, развития 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 (табл. 3.1).

Проективное покрытие определяется глазомерно: учитывается отношение проекций надземных вегетирующих частей растений к общей площади ассоциации (протяженность 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.

Таблица 3.1. **Шкала ступеней обилия по О. Друде (с дополнениями) (*Полевая геоботаника, 1964; Ценопопуляции растений…, 1976*)**

Обозначение обилия (по О. Друде)	Характеристика обилия (по О. Друде)	Среднее наименьшее расстояние между особями вида, см (по А. А. Уранову – *Уранов, 1960*)	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	2140	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	–	+

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 (*Полевая геоботаника, 1960; Полевая геоботаника, 1972*). Используются буквенные обозначения (табл. 3.2).

При доминировании фазы вегетации, но наличии некоторого количества бутонизирующих, цветущих, плодоносящих и т. д. особей, необходимо указывать и эти фенофазы 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 (Ц3) – начало плодоношения (П1).

Таблица 3.2. **Система обозначений фенофаз по В. В. Алехину (*Алехин, 1986*; с дополнениями)**

Фенофаза	Буквенное обозначение
Растение только вегетирует	В
Трубкование	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 характеризуется качественными параметрами развития и количественными параметрами роста растений. Жизненность является важнейшей характеристикой, так как отражает степень процветания или угнетения организма в сообществе. Жизненность оценивается по пятибалльной шкале (табл. 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.

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.

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

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 1 × 1 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 25 × 25 см.

Степень синантропизации позволяет отслеживать соотношение аборигенной и антропогенной составляющей флоры. По данному показателю мы можем судить о нарушенности 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 (сенокошение, распашка и пр.), хозяйственного состояния – качественная оценка пригодности участка для хозяйственного использования (учитываются такие характеристики, как закочкованность, 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 главе 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 луговых и болотных экосистем

Наблюдения за состоянием луговых и болотных экосистем на ООПТ проводятся 1 раз в 5 лет. При наличии фактора угрозы высокой степени проявления для лугового или болотного 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 (ВВР) 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 обусловливают структуру биотического сообщества водоема.

Объектом локальной сети пунктов наблюдения мониторинга водных экосистем являются 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 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. При повторных обследованиях заполняется новый паспорт и вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад:

бланки описаний и паспорт КУ;

лодка, весла, шест длиною 2–3 м;

водолазный костюм, маска, ласты;

батиметрическая карта (картосхема глубин);

GPS-приемник;

фотоаппарат;

смотровая труба;

мерная лента, рулетка;

секатор, ножницы;

металлическая рамка 0,5 × 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 бюксы (банки) для отбора и хранения образцов;

краска для наружных работ, кисти.

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, то есть 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 рекогносцировочный 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 прибрежья 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 приурезовой, 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 осмотр дна проводится с помощью смотровой трубы.

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) КУ фиксируется по компасу (буссоли и т. п.). Прокладывать КУ 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 (буек, 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) (*Белавская, 1975; Гигевич, Власов, 2000; Гигевич, Власов, Вынаев, 2001; Власов, Гигевич, 2002*).

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 (м);
фенологическая фаза развития по видам;
жизненность доминирующих видов (балл);
поврежденность (балл);
биомасса макрофитов (методом укосных площадок) (ц/га);
оценка степени воздействия угрожающих факторов (балл).

Для характеристики среды обитания ВВР отбираются пробы воды и донных отложений. В образцах определяются: содержание биогенных (азот, фосфор) элементов, фитотоксичных металлов в надземной фитомассе доминирующих видов растений; характер водной массы (pH, 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 околоводные 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 грабельками, 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. табл. 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 м^2 с натянутой масштабной сеткой с ячейкой 10 × 10 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 утеряна;

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 цветения, 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, желательно с нанесенными глубинами. Однако на картах не всегда удается 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 отмечаются 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 названия, 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 м^2 (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 (то есть 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 (0,05–0,25 м^2) берутся в большем количестве, чем большие (1–4 м^2). 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 м^2, а в травостоях с неоднородно-групповым сложением – по 15–20 площадок. В сообществах с изреженным травостоем рекомендуется брать 5–10 УП в 1 м^2 и больше в различных его частях. В зарослях кувшинок и кубышек размер УП – 2–4 м^2.

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 м^2. 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 кверху 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 каждых одного-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 грабельками, 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 грабельками.

В случаях, когда на глубоких местах берется УП более 1 м^2 (например, в ценозах кувшинки и кубышки), она оконтуривается шнуром. Для этого намечается квадрат или прямоугольник площадью 2 или 4 м^2, 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, обрастаний, 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 главе 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 водной экосистемы 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 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-фитоценотических условий произрастания, характерных для вида.

Документация и оформление материалов полевых работ

Для каждого ППН оформляется ***«Паспорт ключевого участка»*** (приложения Г, Д). 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. При повторных обследованиях заполняются новый паспорт и вкладыш.

Материальное обеспечение полевых бригад

Для проведения мониторинга охраняемых и инвазивных видов растений 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 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, кисти.

Сроки проведения наблюдений

Мониторинговые наблюдения за состоянием популяций видов, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь (*Красная книга..., 2015*), осуществляются в период, индивидуально установленный для каждого вида растений в зависимости от его биологии, и ограничиваются периодом цветения и плодоношения согласно «Методическим рекомендациям по инвентаризации и картированию особо ценных в хозяйственном отношении, редких и исчезающих видов растений» (утв. Приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.12.1998 № 400).

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 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) ($м^2$ или га);

тип ценотической популяции;

численность популяции (количество особей, клонов, парциальных кустов или иных счетных единиц) (шт.);

плотность (минимальная/средняя/максимальная) (шт./$м^2$ 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 до 4 м²*;

для подроста – *от 1 до 25 м²*;

для взрослых деревьев, кустарников – *от 100 м² до 1/4 га*.

Необходимо стремиться к такому размеру, чтобы плотность растений (или подушек/куртин на одну учетную площадку) в среднем была не ниже 3–4 экземпляров (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 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: *ценотическая популяция*, *экотопическая* (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 ценотической и экотопической популяциями будет различным:

они могут совпадать (если элементарный ландшафт занят фитоценозом одного типа) либо экотопическая популяция включает несколько ценотических.

Наиболее часто используемой ландшафтно-территориальной единицей оказывается *ценопопуляция*, которая выделяется в границах одного из компонентов ландшафта – фитоценоза, то есть ценопопуляции рассматриваются как совокупность растений одного вида в пределах определенного фитоценоза (*Полевая геоботаника, 1964; Работнов, 1983*).

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*, то есть 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 (фитоценотической). Морфологическая счетная единица соответствует целостному организму (особи), фитоценотическая 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 вегетативного зачатка (то есть 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 заравниванием поверхности.

Фенологическая фаза развития – обозначение фенофаз. Наиболее удобными в работе следует считать буквенные обозначения фенологических фаз по А. П. Шенникову (*Шенников, 1950*) (более подробно шкала Шенникова приводится в параграфе 3.3).

Площадь, занимаемая популяцией, в зависимости от размера указывается в *га* или $м^2$. 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. Указывается 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 (*Полевая геоботаника, 1964*):

soc – обильно, образует фон, смыкается;

cop3 – очень много;

cop2 – много;

cop1 – 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 приведена в табл. 3.1.

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, вычленяя 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 (полувзрослого) 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;

g_1 – 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 жизненной формы (ЖФ) (обычно максимальные для вида значения размеров, биомассы, интенсивности и порядков ветвления, максимум числа генеративных побегов, наибольшая семенная продуктивность); уравновешенность 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 оказываются 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 возрастных..., 1980, 1983, 1987, 1989*), 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 крупным этапам развития ценопопуляций: возникновению, полному развитию и угасанию соответственно.

Мощность генеративных особей – показатели различных размерных признаков растения. Мощность растений значительно колеблется у одного и того же вида по годам, в разных эколого-географических, ценотических 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:

высота 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 штуках 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 sol) обилие средне- и крупнокалиберных особей, создающих проективное покрытие от 8 % и выше и при условии, что 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 функции проективное покрытие меньше 8 %, но больше 0,25 %; II-б ступень – при сохранении покрытия большего или равного 8 % менее 1/4 особей популяции достигает цветения и плодоносит;

3 – низкий. III-а ступень – проективное покрытие меньше 8 %, но больше 0,25 %; число особей, достигающих цветения, ниже 1/4;

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

1 – 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 главе 5.

Периодичность проведения наблюдений

Мониторинговые наблюдения за состоянием популяций охраняемых и инвазивных 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.

Глава 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 КУ 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. ММ привязываются к хорошо заметным стабильным ориентирам: квартальным просекам, канавам, геодезическим знакам, дорогам и т. п. Маршрут наносится на карту М 1 : 100 000 или 1 : 50 000, в начале и конце маршрута

определяются его координаты с использованием GPS-приемника. Координаты и особенности маршрута фиксируются в полевом дневнике или на учетной карточке маршрута мониторинга. На ММ проводится учет численности индикаторных групп птиц, рептилий и амфибий.

Площадки мониторинга (ПМ) размещаются на основных, доминирующих типах экосистем ООПТ. Для каждой ПМ проводится описание, которое заносится в полевой дневник или в соответствующую карточку. Расположение площадок постоянного мониторинга животного мира наносится на карту М 1 : 100 000 или 1 : 50 000 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 также 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 м визуально 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 строятся таким образом, чтобы в каждой экосистеме был заложен отдельный маршрут. Трансекта закладывается 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 ч. Скорость передвижения учетчика должна быть постоянной на всем протяжении маршрута и составлять около 2 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 км^2) и лишенных водной растительности водоемах учет осуществляется осмотром акватории в 10–12-кратный бинокль и обследованием береговой линии. На крупных водоемах, где надводная растительность расположена преимущественно

вдоль береговой линии, учет ведется с использованием плавательного средства. 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 осуществляются 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*** осуществляются 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 жужелицы (*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 1/4 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 м. 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 (*Красная книга… (животные), 2015*), а также дикие животные, охраняемые в соответствии с международными обязательствами Республики Беларусь, учитываются одновременно с другими животными при проведении мониторинговых наблюдений.

Глава 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 плавательных средствах (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 М 1 : 100 000 или М 1 : 50 000, схемы ООПТ, окрашенные планы лесонасаждений М 1 : 25 000, 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. 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 М 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 и т. п.), на котором краской подписывается название ММ: например, СП–ММ1, где СП – «Средняя Припять», ММ1 – 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 пр.

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.).

Глава 6

МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Последние годы знаменуются все более широким применением информационных технологий, в том числе 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 геоинформационных (ГИС) технологий;

3) применением интерактивных web-gis проектов для мониторинга и контроля над использованием природных ресурсов (в том числе 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

[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).

мониторинг как быстро протекающих (пожары, наводнения и т. п.), так и происходящих 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, где они имеют целью выявление и оценку происходящих изменений, также опираются на ДЗЗ.

Дистанционный мониторинг экосистем на ООПТ в составе НСМОС должен обеспечивать определение:

а) типа экосистемы, где проявляется негативное воздействие;

б) границы и площадь территории, на которой проявляется негативное воздействие;

в) типа 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. Современные аэрокосмические съемочные системы, применимые 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 табл. 6.1 приведены сведения об основных группах космических снимков, пригодных для дистанционного изучения состояния экосистем.

Космические снимки с пространственным разрешением от 8–15 до 30–50 м получаются 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 съемочной 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 ≤ 2 м, 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.

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

Окончание табл. 6.1

Спутник – камера/режим	Разрешение, м	Примерный размер «кадра» при съемке в надир, км	Повторяемость, сутки
SPOT 2/4–3/4 канала	20	60 × 60	5
IRS-1/C1D – 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	15–30	185 × 185	16
Landsat-8 – OLI, 9 каналов	15–30	185 × 185	16
Sentinel-2 (A, B) – MSI	10–60	292 × 290	5
БКА, Канопус-В (№№ 2-6) (МСС, 4 канала)	10,5	20 × 20	16

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

Снимки среднего разрешения (10–30 м, см. табл. 6.1), как правило, являются многоканальными, что позволяет использовать разные цветовые синтезы и преимущества дешифрирования в различных сочетаниях спектральных каналов. 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

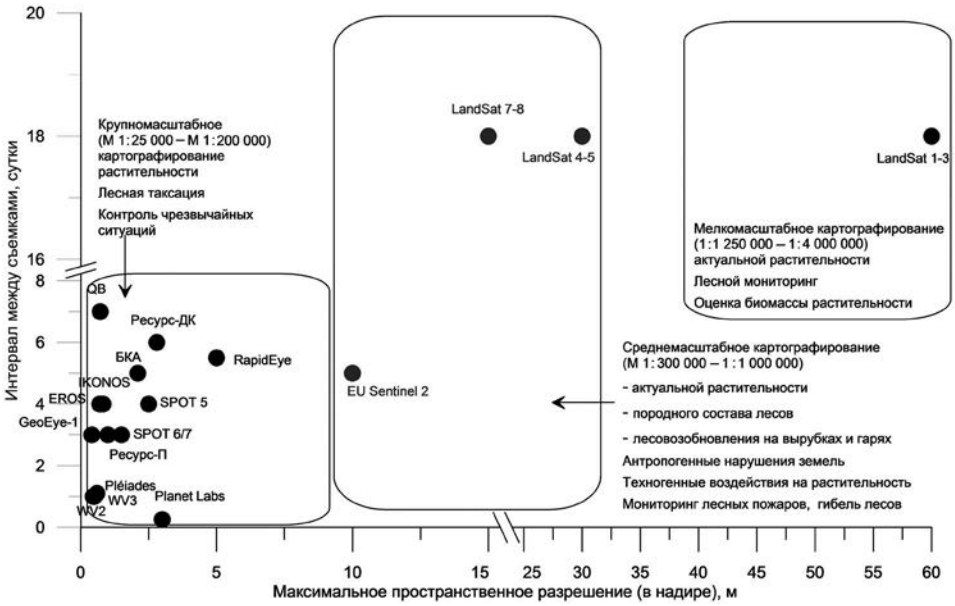


Рис. 6.1. Соотношение между пространственным и временным разрешением снимков и решаемые задачи

для данных Landsat разработано множество алгоритмов автоматической обработки.

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 (рис. 6.1). В соответствии с решаемыми задачами мониторинга экосистем ООПТ были определены исходные требования к данным дистанционного зондирования: мультиспектральная съемка 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, то есть не выше 10 %) съемкой; приемлемая стоимость данных космической съемки.

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 Ж.

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 сверхбольшим архивам спутниковых данных можно привести web-порталы Google Earth Engine (*https://earthengine.google.com/*), AWS (*https://aws.amazon.com/ru/earth/*), EOSDIS (NASA) (*https://worldview.earthdata.nasa.gov/*) и ESA (*https://scihub.copernicus.eu/*), объединенную систему доступа к архивам данных центров приема НИЦ Планета (*Бурцев [и др.], 2019; Лупян [и др.], 2014*), центр коллективного пользования ИКИ-Мониторинг (ЦКП ИКИ-Мониторинг) (*Лупян, Балашев, Бурцев, 2015*), геопортал Роскосмоса (*http://gptl.ru/*) (*Носенко, Лошкарев, 2010*).

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

Многозональные спутниковые снимки, как правило, поступают из хранилища оператора в виде упакованных в архив монохромных файлов формата GeoTIFF (*.tif). Причем каждый файл представляет отдельный канал многозонального изображения. Такой подход к предоставлению материалов имеет как плюс – пользователь может ограничить объем 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 идет, так как компании-дистрибьюторы заказывают спутниковые данные через каталоги операторов.

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 м позволяют выявить даже незначительные изменения в растительном покрове. Как правило, монохромные («черно-белые») снимки максимального разрешения дополняются многоканальными («цветными») изображениями меньшего разрешения.

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 (*Аксенов, Ярошенко, 2009*).

Следует также отметить, что технологии геопорталов представляют оперативную информацию, особенно для мониторинга пожароопасности: например, порталы научного центра ЕС (*https://gwis.jrc.ec.europa.eu/*), Минприроды и экологии РФ по оперативному выявлению возгораний на ООПТ федерального значения России (*https://sooi.minprirody.ru/gis/projects/oopt/*), пожарные сервисы СканЭкс (SFMS, *https://fires.ru/*), ИКИ РАН (*http://sci-vega.ru/maps/*) 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 (*https://www.scanex.ru/*), геопортал Роскосмоса (*https://gptl.ru/; http://geoportal.ntsomz.ru/*).

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 (10–30 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 сред-

нем примерно 15–30 у. е. за 1 км^2, при минимальной площади заказа 25 км^2). Точная стоимость материалов съемки определяется фирмой-поставщиком данных на момент заказа.

В последние годы все более широкое применение имеют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для оперативного мониторинга растительных объектов локальных территорий.

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 применения БПЛА включают низкие материальные и эксплуатационные расходы, гибкий контроль пространственного и временного разрешения, сбор данных с высокой интенсивностью и отсутствие риска для экипажей.

В современных условиях 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 точности технологий дистанционного мониторинга с помощью дронов.

В целях эффективного выполнения задач локального мониторинга экосистем БПЛА должны обладать следующими характеристиками: 1) оптические системы высокого разрешения с большим радиусом действия; 2) наличие инфракрасного диапазона; 3) наличие системы передачи данных высокой пропускной способности; 4) ретрансляция сигналов УКВ-связи по всем направлениям.

6.2. Создание аэрокосмического блока системы наблюдений

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

6.2.1. Выбор материалов космических съемок

Основными характеристиками материалов дистанционного зондирования являются масштаб или пространственное разрешение снимков, то есть детальность изображения, их тип (черно-белые, цветные, многозональные, в радио-, видимом, инфракрасном диапазонах спектра электро-

магнитных 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 оправдано. 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. Третье – интервал повторных наблюдений. В общем случае для выявления сезонных изменений нужны снимки более высокого разрешения, чем для выявления долговременных изменений.

Спектральные диапазоны электромагнитных колебаний. Как правило, основной объем информации при проведении мониторинговых наблюдений дают снимки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, а материалы съемок в радио- и инфракрасном тепловом диапазонах 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. Использование многозональной съемки (рис. 6.2), то есть одновременной съемки в нескольких каналах, фиксирующих излучение в разных участках спектра, основывается на различиях в спектральной яркости объектов. Перечень информативных комбинаций каналов для Landsat TM/ETM+, Sentinel-2 представлена в приложении К.

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, то есть постоянно изменяются. Масштабы происходящих изменений различны: суточные, сезонные, многолетние, вековые. Со временем меняются физиономические свойства объектов, их внешний облик, а значит,

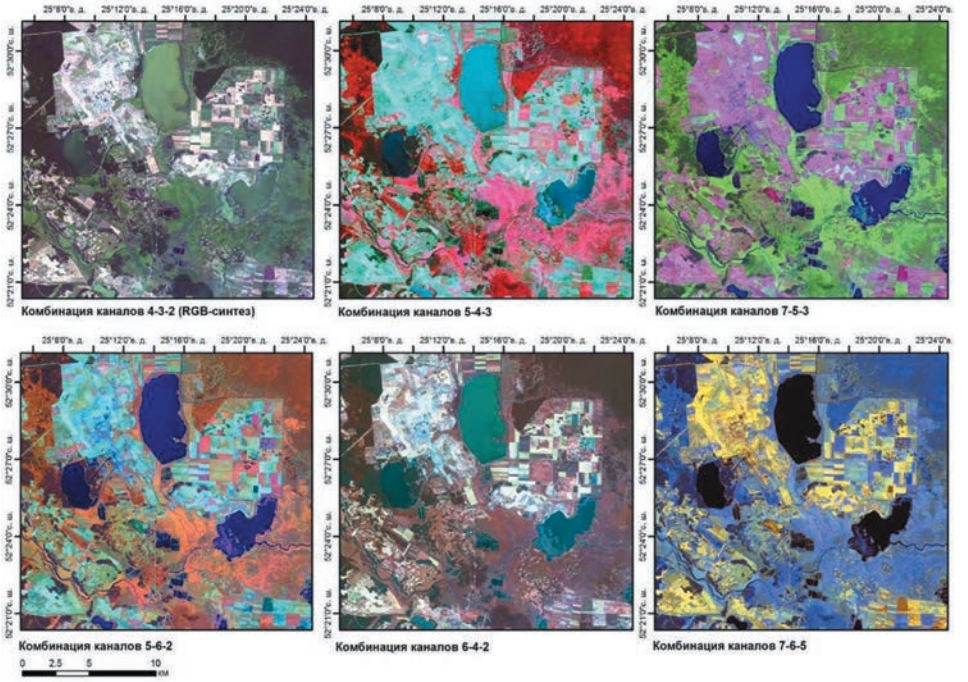


Рис. 6.2. Варианты синтеза изображений многозонального космического снимка Landsat-8 (дата съемки 08.08.2015; пространственное разрешение 30 м)

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 изучать 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 метеорологиче-

ские 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 программных средств

Выбор программ зависит от решаемых задач, объемов данных, предполагаемых к обработке, и квалификации исполнителей (*Лабутина, Балдина, 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 (США). 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 на основе данных дистанционного зондирования существует целый класс программных продуктов – это инструментальные геоинформационные системы. 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 оригинал-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 имеют средства поддержки внешних баз данных.

В настоящее время на рынке геоинформационных технологий лидируют программные продукты компаний Esri, QGIS и MapInfo. 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.

6.2.3. 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. С некоторыми из них можно ознакомиться по адресу *https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/.* Остановимся на наиболее важнейших разработках.

Global Forest Watch (*https://www.globalforestwatch.org/*) – это веб-приложение для мониторинга лесного покрова планеты (рис. 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).

Global Forest Watch 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 глобального годового продукта, отражающего изменения древесного покрова с разрешением 30 м за период с 2000 по 2012 г.; 2) выпуск ежегодных обновлений вышеуказанного набора данных за 2013 г. – настоящее время; 3) создание системы сигнализации обезлесения, основанной на снимках Landsat-7 и/или Landsat-8, которая будет выявлять и отображать изменения в древостое практически в реальном времени (рис. 6.4). Разработка позволяет создавать специальные тематические карты, оценивающие динамику растительного покрова исследуемой территории.

Land Degradation Neutrality in Europe and Central Asia (*https://project-geffao.users.earthengine.app/view/reu-ldn-assessment*) – сервис тематических картографических продуктов для расчетов индикаторов деградации земель, базирующийся на платформе Google Earth Engine (рис. 6.5). В основу оценки положен анализ состояния экосистем (земель) по следующим изменениям почвенно-растительного покрова; динамика продуктивности или функционирования земель (динамика продуктивности земель); изменения в запасах углерода над и под землей (запасы почвенного органического углерода).

Global surface water dynamics 1999 – настоящее время (*https://glad.earthengine.app/view/surface-water-dynamics*) – глобальные карты, полученные на основе всех снимков Landsat-5, 7 и 8 с 1999 г. (рис. 6.6). 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.

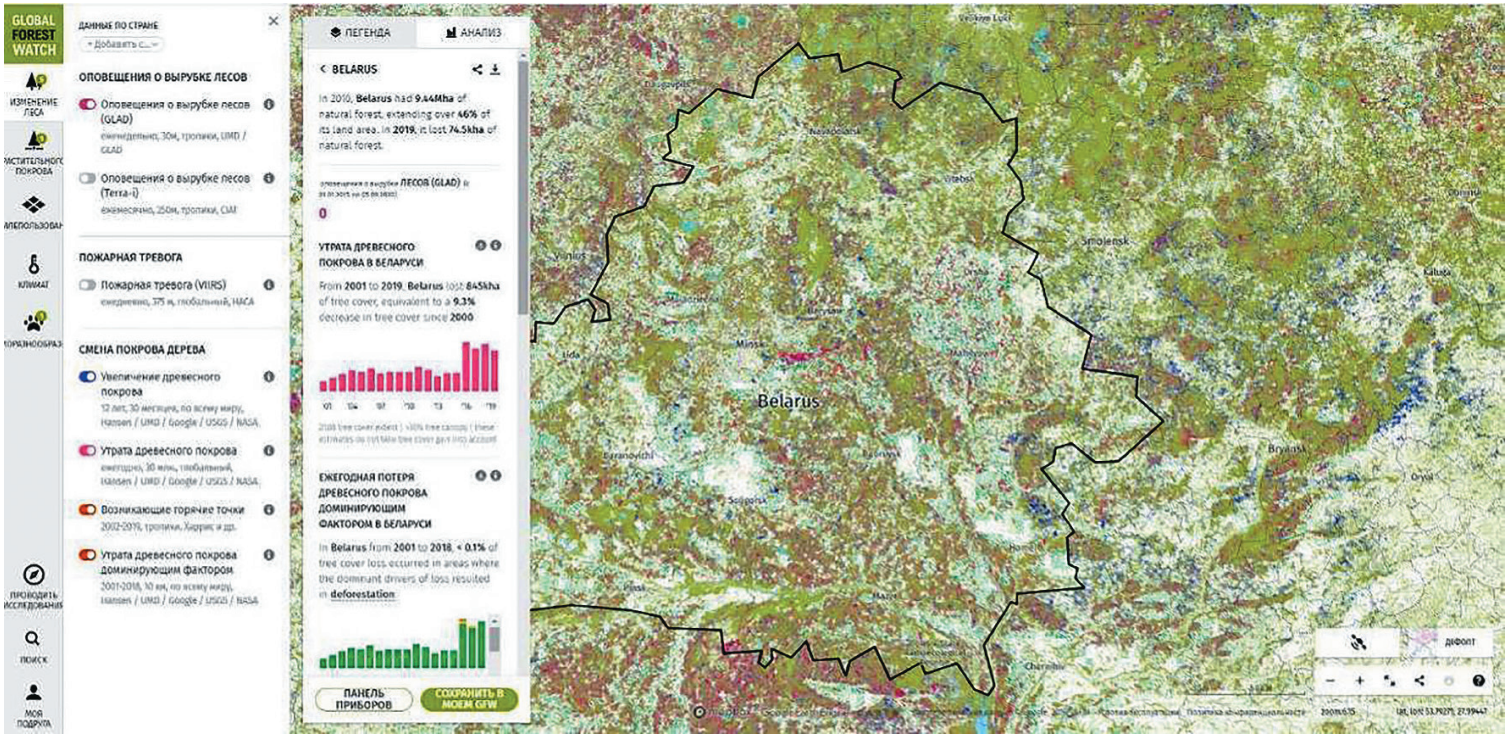


Рис. 6.3. Интерфейс тематического продукта Global Forest Watch – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (*https://www.globalforestwatch.org/*)

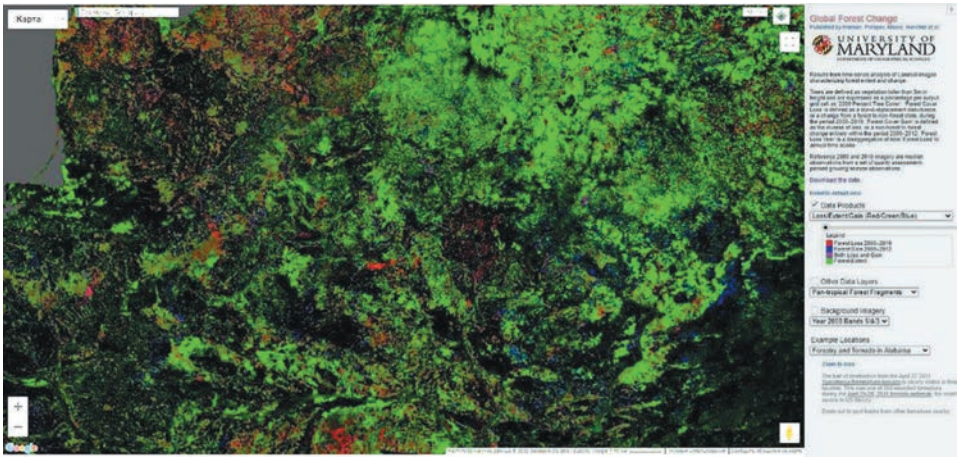


Рис. 6.4. Интерфейс тематического продукта Global Forest Change – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова (*http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest*)

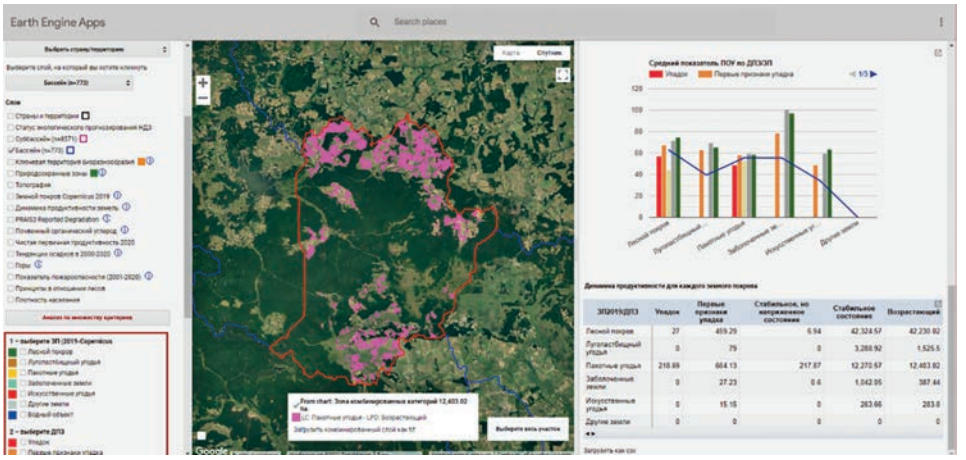


Рис. 6.5. Сервис Land Degradation Neutrality in Europe and Central Asia, размещенный на платформе Google Earth Engine (*https://projectgeffao.users.earthengine.app/view/reu-ldn-assessment*)

Copernicus Land Monitoring – продукт основанный на данных Sentinel-2 (рис. 6.7), обеспечивающий ежемесячный мониторинг растительности, почвенного покрова и водной поверхности, а также наблюдение за внутренними водными путями и прибрежными районами (рис. 6.8).

Global Wildfire Information System – глобальная информационная система о лесных пожарах (GWIS), направленная на объединение существующих источников информации на региональном и национальном уровнях, чтобы обеспечить всестороннее представление и оценку пожарных режимов и последствий пожаров на глобальном уровне и предоставить инстру-

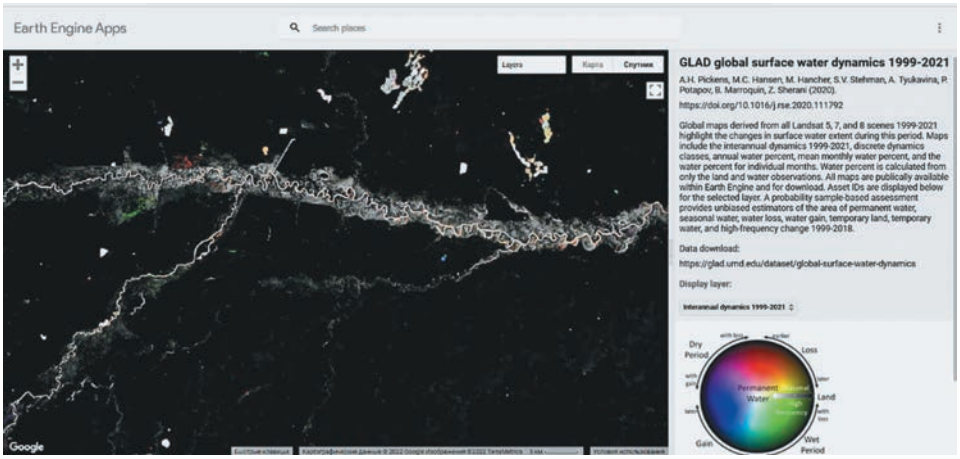


Рис. 6.6. Интерфейс тематического продукта Global surface water dynamics 1999–2021 (*https://glad.earthengine.app/view/surface-water-dynamics*)

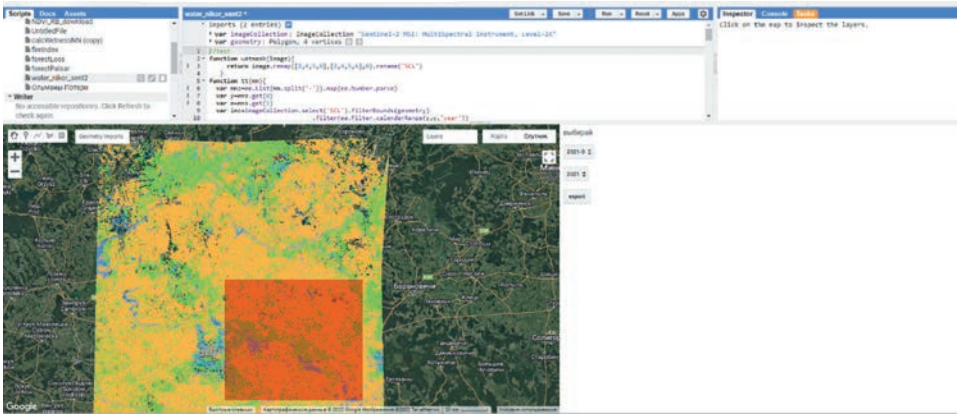


Рис. 6.7. Мониторинг изменения гидрологического режима Copernicus Land Monitoring на платформе Google Earth Engine

менты 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 *https://gwis.jrc.ec.europa.eu/* (рис. 6.9).

ВЕГА-Science (*http://sci-vega.ru/maps/*) – система, 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 пополняющимся архивам спутниковых данных и получаемым на их основе различным информационным продуктам,

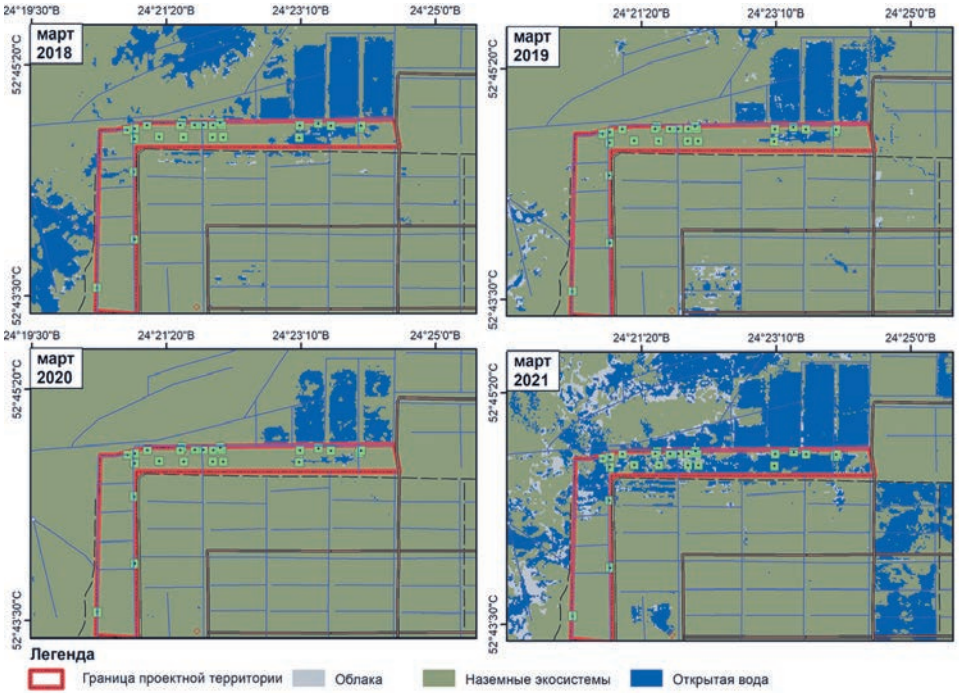


Рис. 6.8. Площадь открытой воды в границах проектной территории «Дикое» в период весеннего половодья по данным Copernicus Land Monitoring

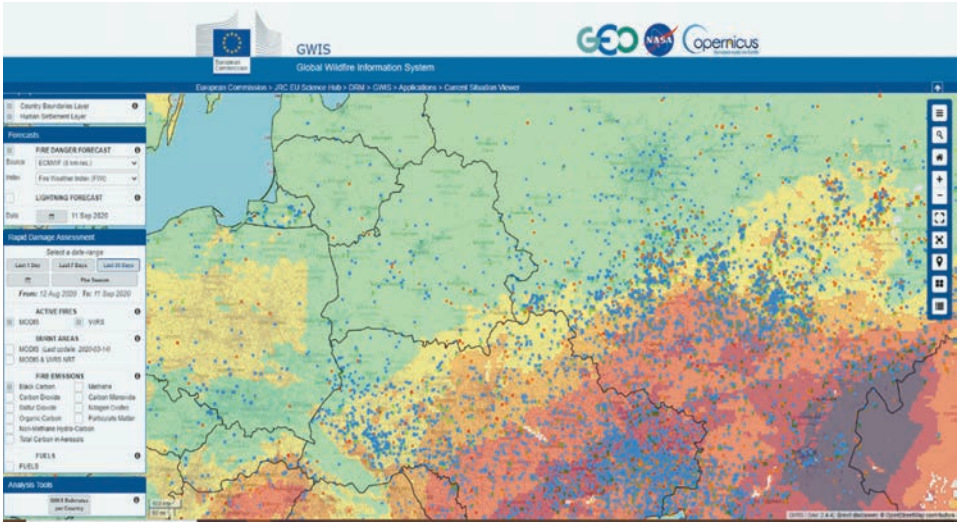


Рис. 6.9. Интерфейс тематического продукта Global Wildfire Information System (*http://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html*)

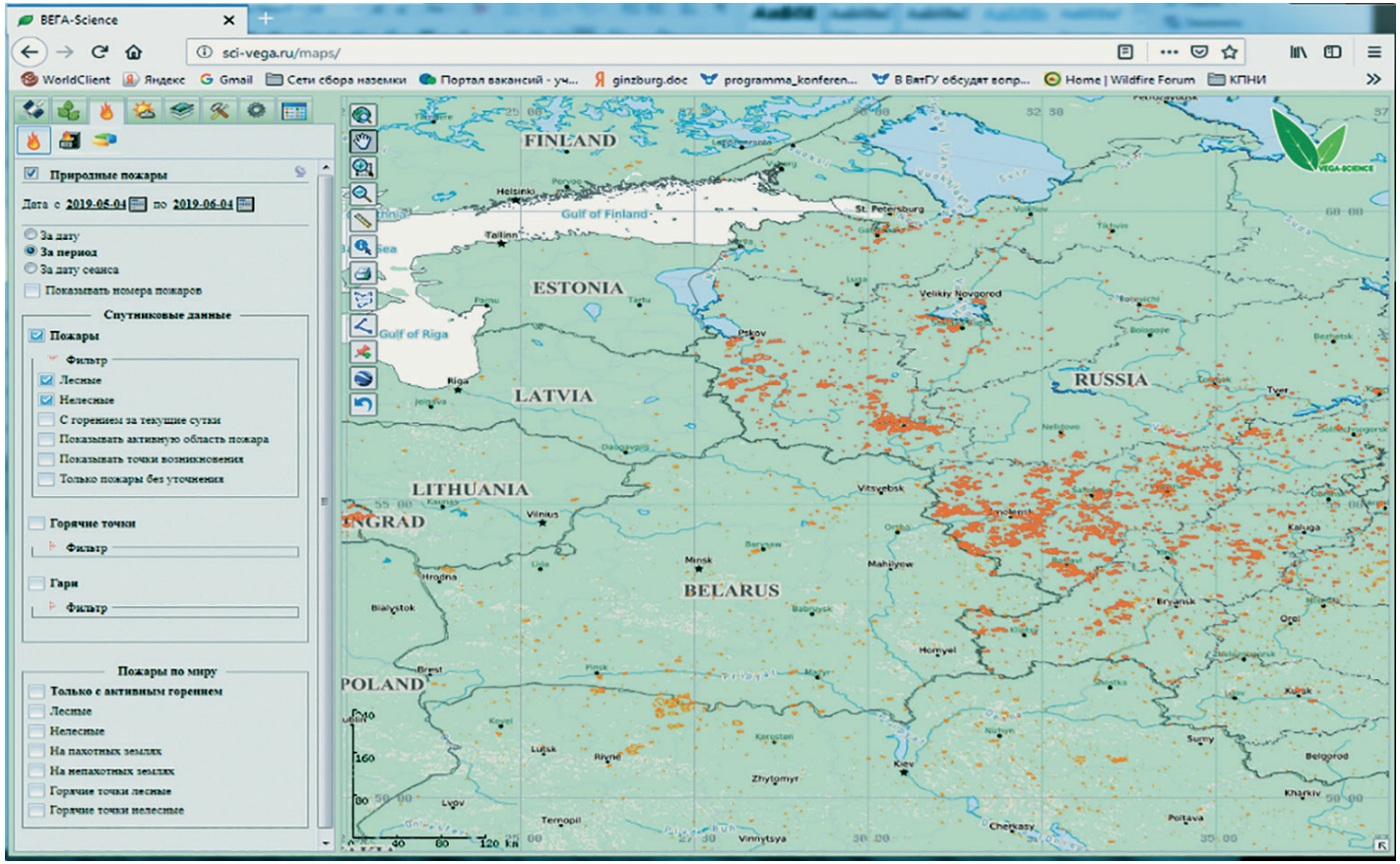


Рис. 6.10. Карта пожаров на лесных и нелесных землях приграничных территорий Республики Беларусь и прилегающих стран за период с 04 мая по 04 июня 2019 г. (источник – ЦКП «Мониторинг» ИКИ РАН)

в первую очередь ориентированным на характеризующие изучение и анализ состояния растительного покрова (рис. 6.10). «ВЕГА-Science» также предоставляет пользователям возможности по проведению удаленной обработки и анализу спутниковых данных и результатов их обработки с использованием вычислительных ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

6.2.4. 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 информационных слоев, создаваемых на ее основе.

Содержание карты должны составлять объекты, удовлетворяющие двум основным требованиям: иметь четкие контуры и быть физиономичными, то есть 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 пикселя 5–20 м. Желательно в качестве базового использовать многозональный 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 исходной 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, Топаз, 2012; Алейников [и др.], 2010*):

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

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

6.3.1. Предварительная обработка и улучшение изобразительных характеристик аэрокосмических снимков

Коррекция и улучшение аэрокосмических изображений обеспечивает преобразование снимков, направленное на облегчение визуального дешифрирования, повышение его объективности и достоверности, а также подготовку снимков к последующему автоматизированному дешифрированию и созданию тематической карты.

Эта группа методов является 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, Балдина, 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, Балдина, 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; устранении дефектов изображения (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004*).

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

Геометрические преобразования. К данной группе процедур относятся три типа преобразований: 1) устранение систематических искажений, обусловленных характеристиками датчика или бортовой платформы; 2) ортокоррекция 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 полиномальных преобразований*; *метод триангуляции* и др. (*Кравцов, 2008*).

Второй тип преобразований – ортокоррекция – устраняет искажения, вызванные рельефом местности, а также геометрией получения изображения (*Кравцов, 2008*).

Изменение картографической проекции также связано с геометрическими преобразованиями и необходимо, например, для совмещения различных картографических слоев или при составлении мозаик изображений.

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 прямо-

угольной 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 данных 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 черно-белых (панхроматических) и многозональных снимков. В первом случае применяются такие методы, как *контрастирование*, *подчеркивание контуров*, *квантование* и *цветокодировани*е. Наиболее распространенными способами яркостных преобразований многозональных снимков являются *синтез цветного изображения*, *синергизм снимков*, *математические операции* (отношение и вычитание, расчет вегетационных индексов, преобразование Каута – Томаса – Tasseled Cap) 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 с*оздания 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, Балдина, 2011*). Изображения получают путем простых преобразований снимков на основе арифметических и логических операций со значениями яркости в различных спектральных зонах (их сложения, вычитания, деления, умножения) (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 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; то есть 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, Дружинина, 2009*).

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Краткий обзор индексов представлен в табл. 6.2, 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.

Таблица 6.2. **Вегетационные индексы, наиболее часто используемые при автоматизированном дешифрировании космических снимков (по обобщенным данным *Программный комплекс ENVI, 2007; Черепанов, Дружинина, 2009; Черепанов, 2011*, и др.)**

Разновидность вегетационного индекса	Формула и краткое описание	Авторы
Индексы, рассчитываемые по значениям коэффициентов отражения в широких спектральных диапазонах		
Относительный вегетационный индекс (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, McVey, 1968; Jordan, 1969; Rouse [et al.], 1973; Tucker [et al.], 1979*
Нормализованный разностный вегетационный индекс (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 [et al.], 1973*; концепция впервые представлена *Kriegler [et al.], 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 ВИ (Difference VI, DVI)	$DVI = \rho_{NIR} - \rho_{RED}$ Индекс может принимать любые значения	*Tucker, 1979; Jackson, Slater, Pinter Jr., 1983; Richardson, Everitt, 1992*

Продолжение табл. 6.2

Разновидность вегетационного индекса	Формула и краткое описание	Авторы
Усовершенствованный индекс растительности (Enhanced Vegetation Index, EVI)	$$EVI = \frac{2{,}5(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7{,}5\rho_{BLUE} + 1)}$$ Индекс может принимать значения от –1 до 1, где зеленая растительность находится в диапазоне значении EVI от 0,20 до 0,80	*Rouse [et al.], 1973; Tucker, 1979; Jackson, Slater, Pinter Jr., 1983; Kriegler [et al.], 1969; Sellers, 1985; Huete [et al.], 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 [et al.], 1979*
Почвенный вегетационный индекс (Soil Adjusted VI, SAVI)	$$SAVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L}\right)(1 + L),$$ где L = (0; 1), L = 0 для очень густого растительного покрова, L = 1 для очень разреженного, чаще всего используют значение L = 0,5 (*Huete, Justice, Liu, 1994*). Значения индекса изменяются от –1 до 1	*Huete, 1988; Huete, Justice, Liu, 1994; Qi [et al.], 1994*
Индексы, устойчивые к влиянию почвы		
Индекс глобального мониторинга окружающей среды (Global Environmental Monitoring Index, GEMI)	$$GEMI = E(1 - 0{,}25E) - \left(\frac{\rho_{RED} - 0{,}125}{1 - \rho_{RED}}\right)$$ $$E = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{RED}^2) + 1{,}5\rho_{NIR} + 0{,}5\rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + 0{,}5}$$ GEMI – индекс глобального мониторинга окружающей среды, разработанный *Pinty, 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, Verstraete, 1991; Leprieur, Verstraete, Pinty, 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 $\rho_b = \rho_{RED} - \alpha(\rho_{RED} - \rho_{BLUE})$, как правило, α = 1, при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы α = 0,5 (*Kaufman, Tanré, 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, Tanré, 1992; Kaufman, Tanré, 1996; Huete, Justice, Liu, 1994*

Продолжение табл. 6.2

Разновидность вегетационного индекса	Формула и краткое описание	Авторы
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 вегетационный индекс 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, Merzlyak, 1994; Sims, Gamon, 2002*
Модифицированный относительный вегетационный индекс 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, 1999; Sims, Gamon, 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, Baret, Filella, 1995; Champagne [et al.], 2003*
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, 1996*

Окончание табл. 6.2

Разновидность вегетационного индекса	Формула и краткое описание	Авторы
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 [et al.], 1986; Hunt, Rock, 1989; Ceccato [et al.], 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, Klemas, Smart, 1983; Jackson [et al.], 2004*

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, Kiefer, Chipman, 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, Дружинина, 2009*).

Алгоритмы расчета ВИ встроены практически во все распространенные программные пакеты и веб-инструменты, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (рис. 6.11–6.13).

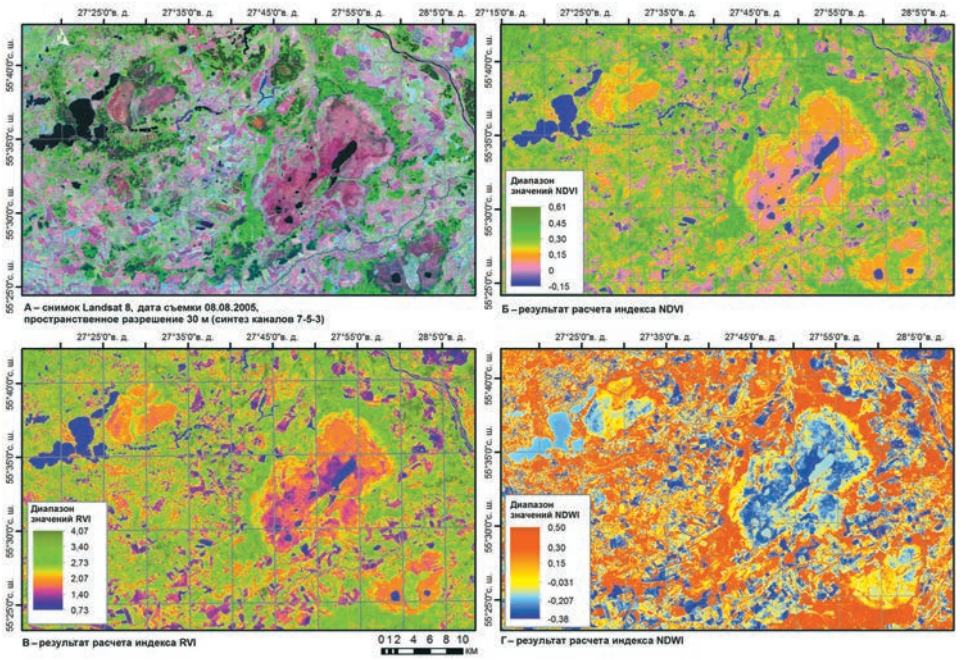
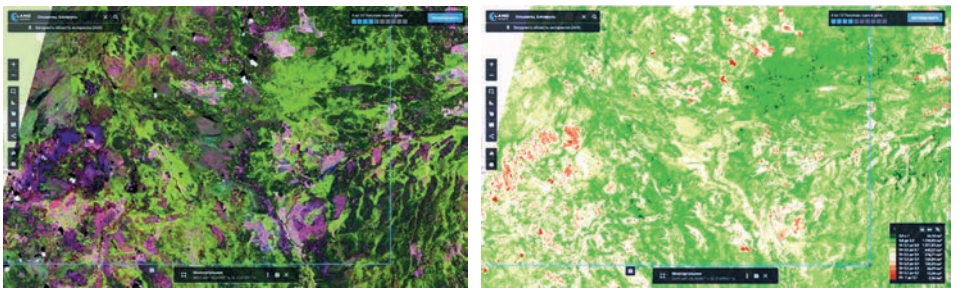
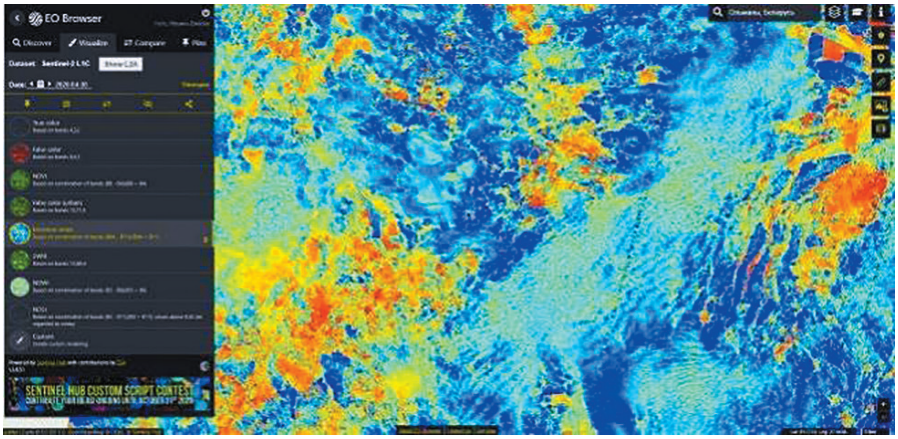


Рис. 6.11. Многозональный снимок Landsat (А) и растровые карты (Б–Г), составленные на основе распределения значений вегетационных индексов (рассчитаны с использованием ArcGIS Desktop и раскрашены в псевдоцвета)

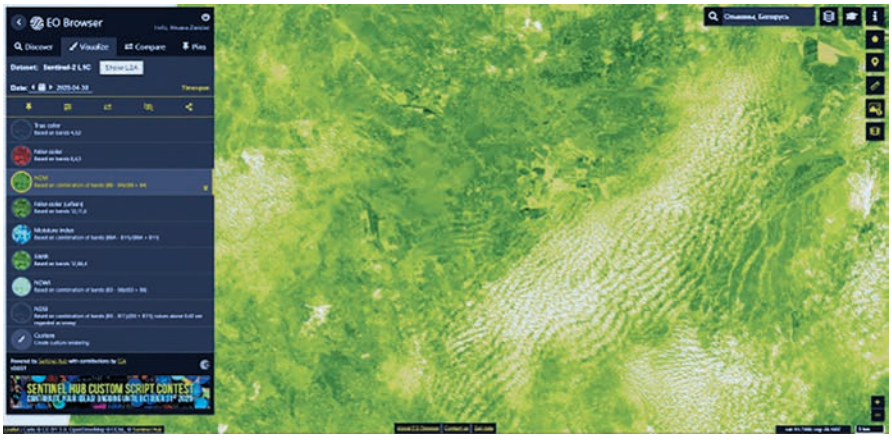


а *б*

Рис. 6.12. Многозональный снимок Sentinel-2 L2 (*а*) (15.06.2019 г., синтез каналов B11, B8A, B04) и растровая карта значений NDVI (*б*) (рассчитаны с использованием веб-платформы *https://eos.com/landviewer/*)



а



б

Рис. 6.13. Растровая карта индекса NDWI (*а*) и NDVI (*б*), рассчитанные на основе спутниковой съемки Sentinel-2 L2A (30.04.2020 г.) с использованием веб-платформы *https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/*

Кроме расчета вегетационных индексов, довольно часто при оценке состояния растительности создают сложные 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 (рис. 6.14, 6.15) для оценки сельскохозяйственного стресса (agricultural stress), пожароопасности (fire fuels) и здоровья лесов (forest health).

Например, для оперативного мониторинга пожарной опасности инструмент Fire Fuel Tool программного комплекса ENVI позволяет создать на основе данных дистанционного зондирования пространственную карту, показывающую распределение горючего растительного топлива (ГРТ) и опасности возгорания в регионе. Карта построена на основе расчета 3 веге-

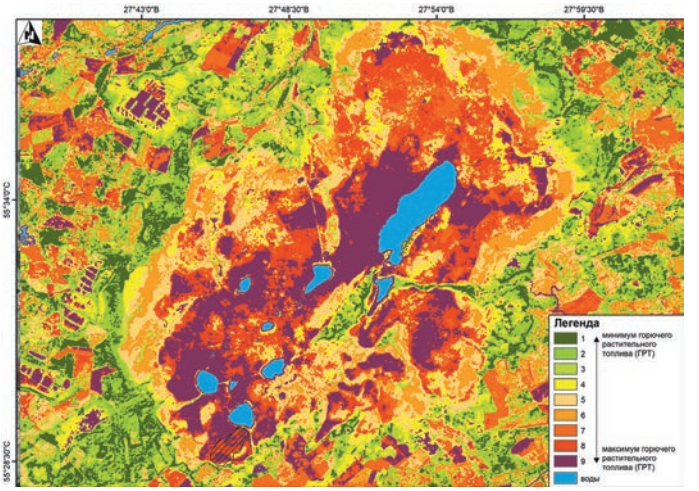


Рис. 6.14. Пример создания сложных производных индексных изображений для прогнозирования потенциала возникновения пожароопасной ситуации в программном комплексе ENVI (инструмент Fire Fuel Tool) по состоянию на 08.08.2015 г.

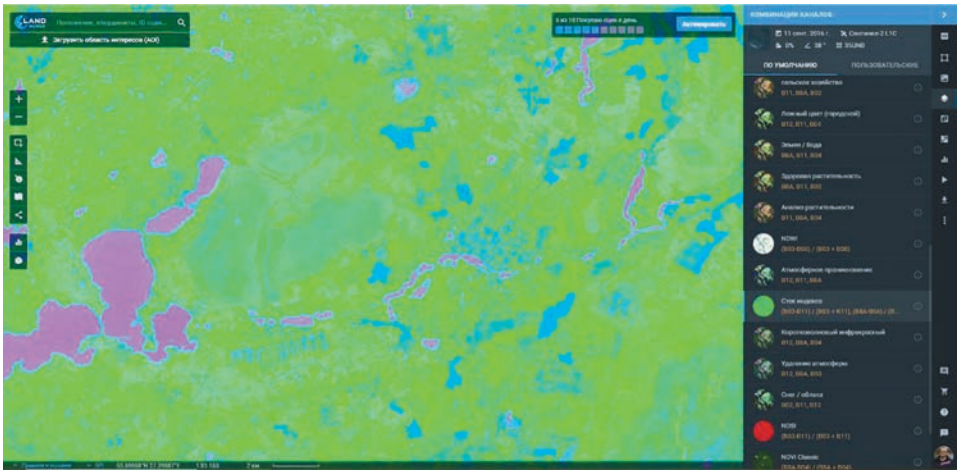


Рис. 6.15. Пример создания сложных производных индексных изображений (Index Stack) с использованием веб-платформы *https://eos.com/landviewer/*

тационных индексов: NDVI (нормализованный относительный индекс растительности); WBI (водный индекс, показывающий содержание воды в растительности); PSRI (индекс «старения», или «сухости», выделяющий нефотосинтезирующую часть растительности).

В результате анализа производных индексных изображений формируется картографическое представление территории с разделением на 9 классов с различной потенциальной пожарной опасностью, где 1 – представляет минимальную пожарную опасность, а 9 – максимальную.

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.

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 или с помощью оптических приборов (*Алейников [и др.], 2010*). Успех дешифрирования зависит не только от качества используемых материалов, но и от исследователя, особенностей его зрительного и логического восприятия.

Процесс визуального анализа изображения принято делить на три стадии: *обнаружение*, *опознавание* и *интерпретация*. Последняя процедура предполагает выявление сущности объекта, отнесение его к какой-либо категории, предусмотренной легендой карты или ранее известной дешифровщику, то есть связана с логическим восприятием. Две первые представляют особенности зрительного восприятия (восприятие яркости, цвета, размера и объема). Дешифрирование и оцифровка в стереоскопическом режиме выполняются 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 распознания 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 дешифри-

рования опосредованно, через какой-либо прямой дешифровочный признак других природных или антропогенных объектов, или их комплекс (*Лабутина, Балдина, 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, то есть 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, Балдина, 2011*).

Тень – дешифровочный признак, позволяющий судить о пространственной форме объектов на одиночном снимке. Различают собственную тень, то есть 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, 2011*).

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.

Фототоном, 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 изобразительных 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 – 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 участков 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. К примеру, 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 раз-

мещению 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 зависимости от конкретных условий меняется относительная значимость дешифровочных признаков, да и сами признаки. Начинающий дешифровщик больше работает с прямыми признаками; умелое использование косвенных признаков – свидетельство высокой квалификации специалиста (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 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 (*Алейников [и др.], 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 древостои, а вероятность распознавания чистых лиственных насаждений колеблется от 0,6 до 0,8 (*Жирин [и др.], 2012; Жирин, Князева, Эйдлина, 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 (рис. 6.16). Несмотря на четкие цветовые контрасты в изображении древесного полога, достоверность классификации преобладающих пород остается невысокой: преобладание березы определяется с вероятностью примерно 0,7; ели – 0,6–0,7; сосны – 0,5–0,7; осины – 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 (*Алейников [и др.], 2010*).

Структура (текстура) – другой важный дешифровочный признак лесных земель, 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 (*Алейников [и др.], 2010*).

Для древесной и кустарниково-травянистой растительности характерна нерегулярная текстура фотоизображения, которая выражается в зернистости неправильной формы, создаваемой чередованием округлых пятен

Рис. 6.16. Отображение лесных земель (ГЛХУ «Быховский лесхоз», материалы космической съемки IKONOS, пространственное разрешение 1 м)

(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 семенными деревьями или подростом. 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 молодняков. Зернистая структура образует совокупность зерен среднего размера, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее удвоенного диаметра зерен. Этот тип структуры характерен для изображений чистых по составу или равномерно смешанных средневозрастных сомкнутых насаждений (*Алейников [и др.], 2010*).

Крупнозернистая структура образует совокупность зерен крупного размера, равномерно размещенных по полю изображения и удаленных друг от друга на расстояние, не превышающее 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 (*Алейников [и др.], 2010*).

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 рис. 6.17 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;

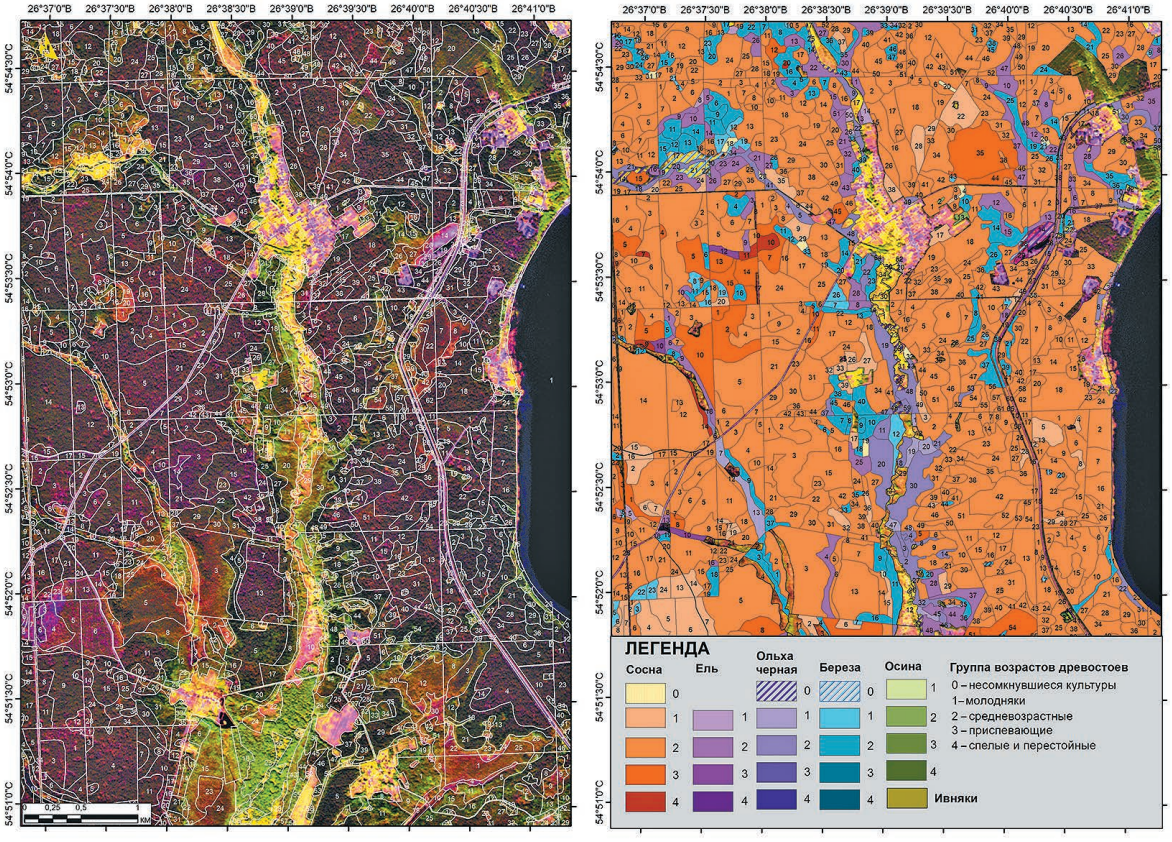
лесным насаждениям III класса возраста соответствует зернистый тип структуры;

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 (>V класса возраста).

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



а *б*

Рис. 6.17. Фрагмент космического снимка лесной территории Национального парка «Нарочанский» (*а*) и результаты его дешифрирования (*б*)

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 (*Алейников [и др.], 2010*).

Спутниковые 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 табл. 6.3 приведены сведения о точности определения характеристик лесов при использовании аэрофотоснимков и космических снимков разного пространственного разрешения в сравнении с наземными методами обследования лесов.

Таблица 6.3. **Возможная точность определения по прямым дешифровочным признакам параметров и характеристик отдельных участков лесного фонда (таксационных выделов) (по *Сухих, Жирин, 2005*)**

<table>
<tr><th rowspan="2">Категории земель, классы объектов и их характеристики</th><th colspan="4">Значения ошибок при определении характеристик лесов (при достоверности 0,68)</th></tr>
<tr><th>Наземные работы</th><th>По аэрофото-снимкам</th><th>По космическим снимкам с разрешением 7–10 м</th><th>По космическим снимкам с разрешением 10–40 м</th></tr>
<tr><td colspan="5">Лесные земли</td></tr>
<tr><td>Покрытые лесом земли</td><td>Точно</td><td>5 %</td><td>10 %</td><td>20 %</td></tr>
<tr><td>Несомкнувшиеся лесные культуры</td><td>Точно</td><td>30%</td><td colspan="2">Не распознаются</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Редины (в т. ч. естественные)</td><td rowspan="2">20 %</td><td>30 %</td><td>40 %</td><td>50 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Перепутываются с насаждениями низкой полноты, старыми гарями, вырубками</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Вырубки</td><td rowspan="2">Точно</td><td>10 %</td><td>20 %</td><td>30 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Перепутываются со старыми гарями, прогалинами, рединами</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Гари (через 1–2 года после пожара)</td><td rowspan="2">Точно</td><td rowspan="2">Точно</td><td>20 %</td><td>30 %</td></tr>
<tr><td colspan="2">Перепутываются с рединами, старыми вырубками</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Прогалины, пустыри</td><td rowspan="2">Точно</td><td>30 %</td><td>50 %</td><td>50 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Перепутываются с сенокосами, болотами</td></tr>
<tr><td colspan="5">Нелесные земли</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Болота</td><td rowspan="2">Точно</td><td>10 %</td><td>20 %</td><td>30 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Перепутываются с прогалинами, сенокосами</td></tr>
<tr><td>Воды</td><td>Точно</td><td>Точно</td><td>Точно</td><td>Точно</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Сенокосы, пойменные луга</td><td rowspan="2">Точно</td><td>20 %</td><td>50 %</td><td>50 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Перепутываются с прогалинами, болотами, песками, старыми вырубками</td></tr>
</table>

Окончание табл. 6.3

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
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 %	Не определяется	Не определяется
Возраст, лет	10–40	10–60	Не определяется	Не определяется
Группа возраста	Точно	1	1–2	Не определяется
Полнота (0,3–1,0)	0,1–0,2	0,1–0,2	0,2–0,3	Не определяется
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 %	Не определяется	Не определяется
Группы насаждений (хвойные, лиственные, смешанные)	Точно	Точно	10 %	30 %

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;

вторичные 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 распознания болот составляет 70–80 %, с разрешением от 10–40 м – до 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 относится структура фотоизображения: зернистость, извилисто-полосатый рисунок, различная тональность отдельных участков космических снимков, изображение гидрографии. В косвенные дешифровочные признаки болот входят 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 (рис. 6.18).

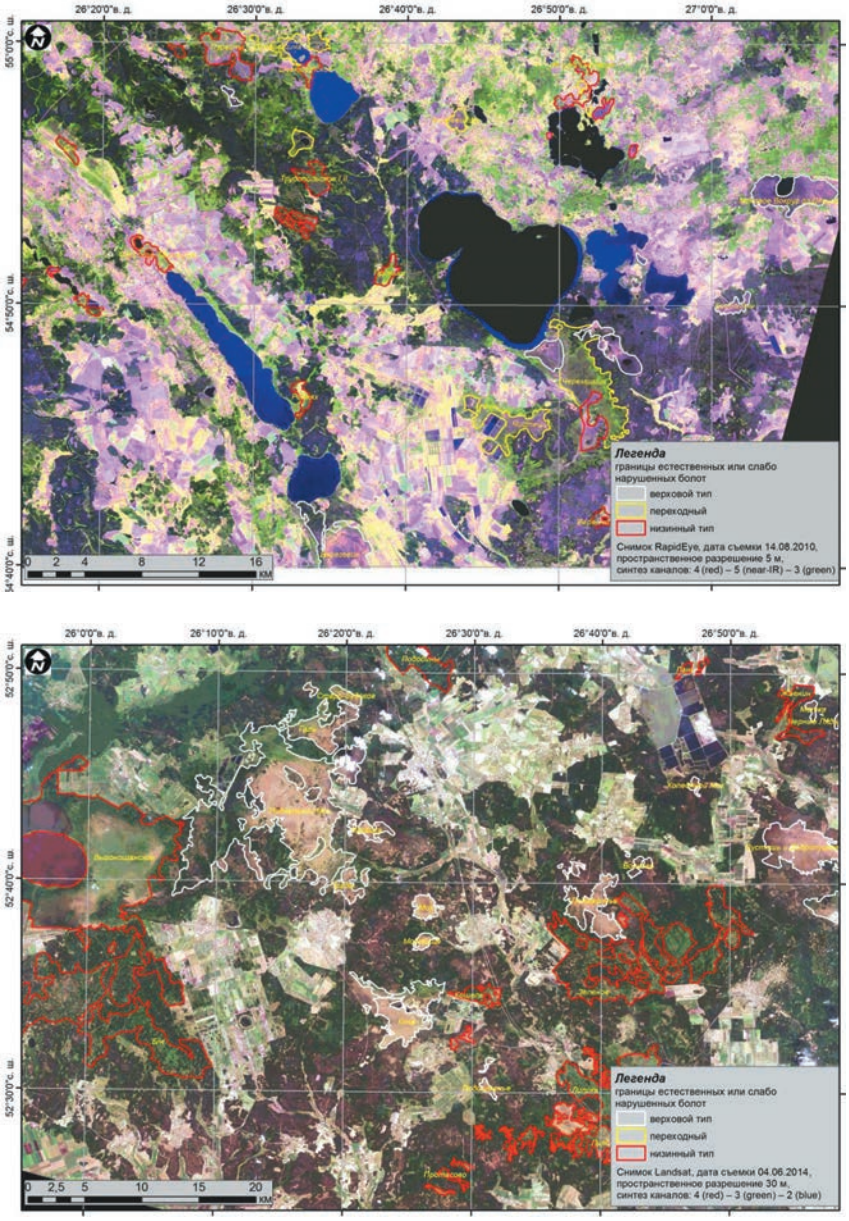


Рис. 6.18. Пример картографирования болот различного типа в пределах тестовых полигонов

Дешифрирование космоснимков верховых болот. Верховые болота довольно хорошо дешифрируются на космоснимках. Они определяются по более мелкой зернистости рисунка и более светлому тону фотоизображения по сравнению с изображениями 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.

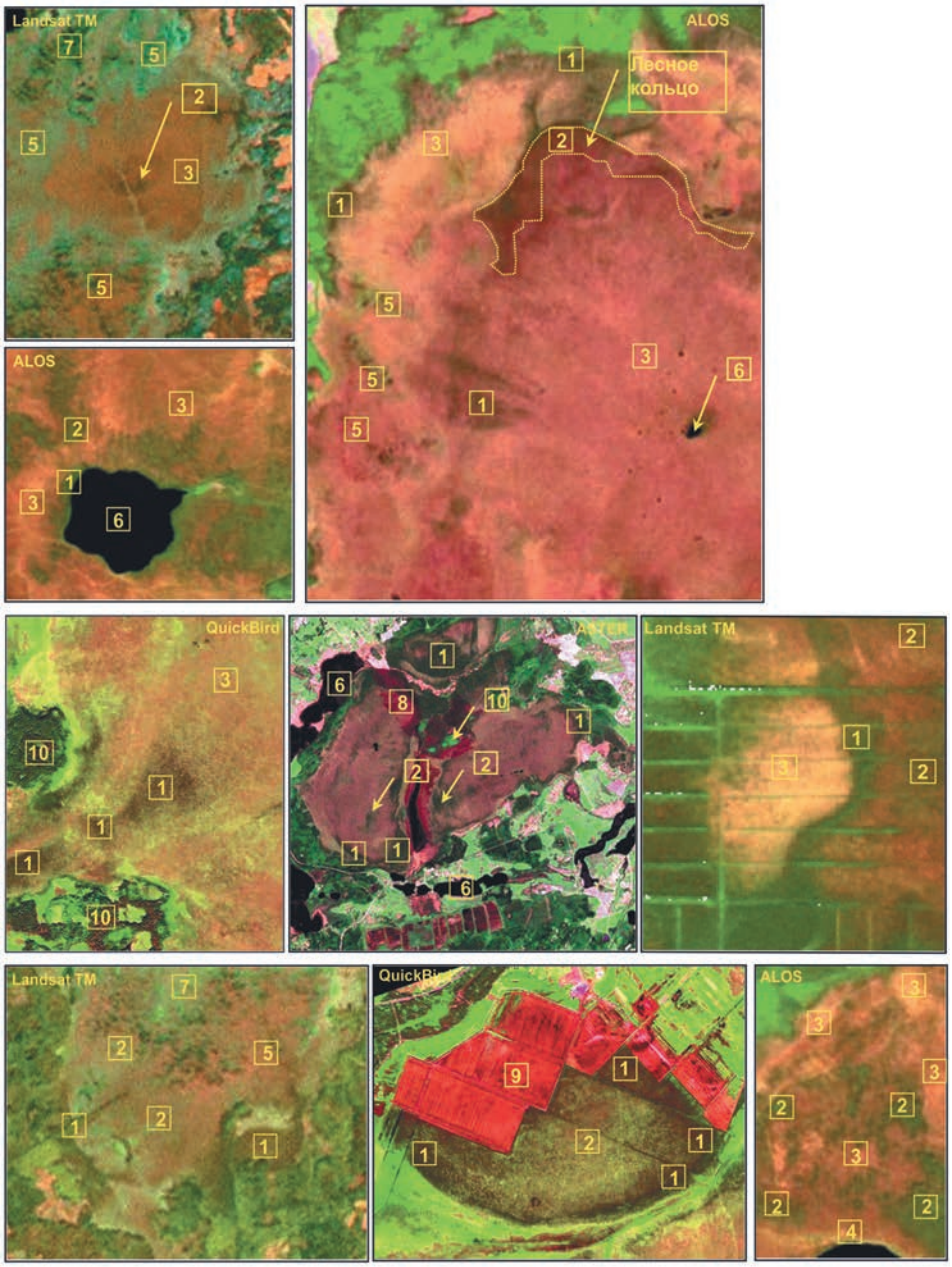
При визуальном дешифрировании верховых болот по преобладающему типу растительности выделяются 5 групп болотных микроландшафтов (лесные, мохово-лесные, моховые, мохово-травяные и комплексные). На рис. 6.19, 6.20 представлены фрагменты космических снимков верховых болотных массивов с фотоизображением групп болотных микроландшафтов (*Усова, 2009*).

Лесные[1] 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, голубика), местами встречаются пушица и осоки. 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. Сомкнутость 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 сложен из сфагнов. Распространены по окрайке болот, полосами вдоль внутриболотных рек и озер, по склонам болота, где образуют лесные кольца.

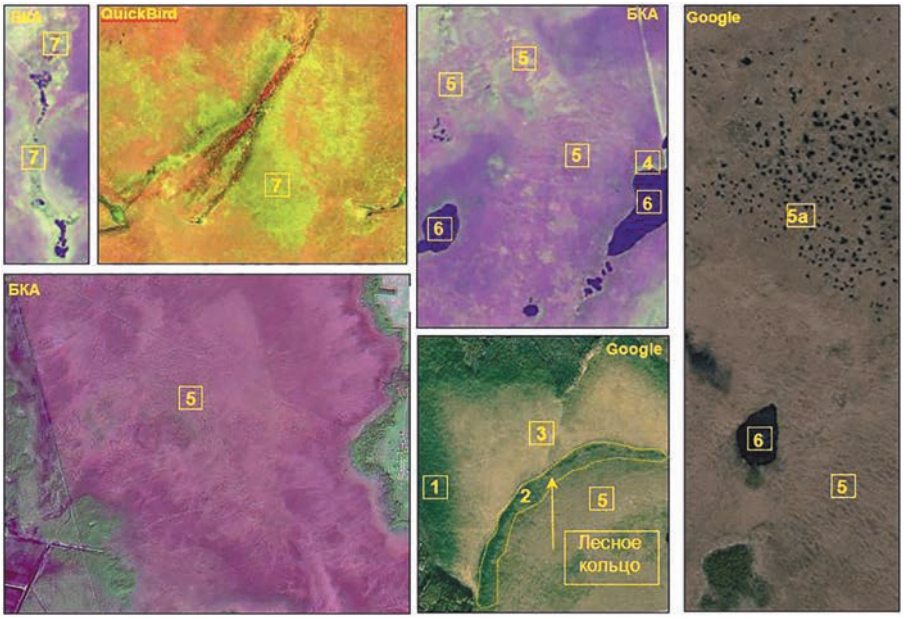
---

[1] Следует отметить, что при классификации растительности и ее картировании необходимо подразделять на собственно болотные леса и облесенные болота, то есть 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 м^3/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.



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; 8 – гари; 9 – выработанные торфяники; 10 – минеральные острова.

Рис. 6.19. 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; *5а* – грядово-мочажинно-озерковые; *6* – озера; *7* – топи.

Рис. 6.20. Фрагменты космоснимков с изображением микроландшафтов верховых болот

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) (*Усова, 2009*).

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: определяются 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 (RGB-синтез) 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 (*Усова, 2009*).

Проточные топи – мазки темно-зеленого цвета (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 (*Усова, 2009*).

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 ошибочно принимают за верховые или низинные болота, 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 относится 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 (табл. 6.4).

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 цвет, при преобладании лиственных пород в цветовой мозаике преобладает зеленоватая окраска.

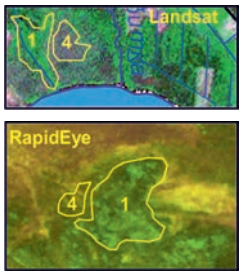
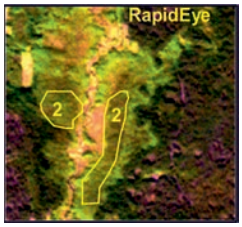
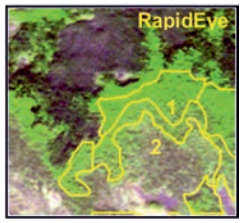
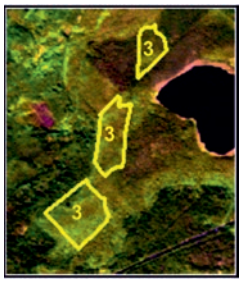
Мохово-лесные микроландшафты характеризуются развитым моховым ярусом. Основным доминантом являются сосна, береза пушистая. Бонитет насаждений очень низкий – V–V^6 классы, высота (в возрасте 80–100 лет) – 5–9 м, запас – 30–80 $м^3$/га. Ярус подлеска не выражен. В травяно-кустарничковом ярусе основной 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 от яркостных преобразований светло-коричневый, с увеличением доли березы преобладает зеленоватая окраска (*Усова, 2009*).

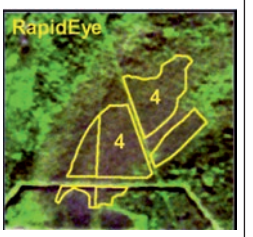
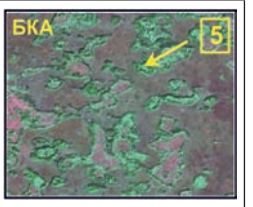
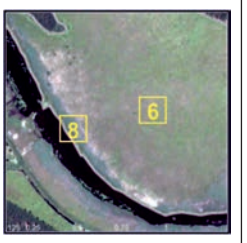
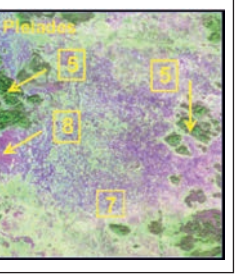
Моховые микроландшафты характеризуются хорошо развитым моховым покровом и слабо развитым древесным ярусом. Древесный ярус (с преобладанием березы пушистой) имеет сомкнутость крон 0,1–0,2 и высоту деревьев 0,5–4 м. Моховой и кустарничковый ярусы хорошо развиты. Встречаются на окрайках и переувлажненных 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 табл. 6.4 и показаны на рис. 6.21, 6.22.

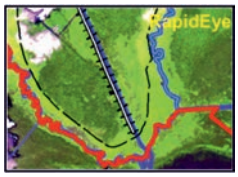
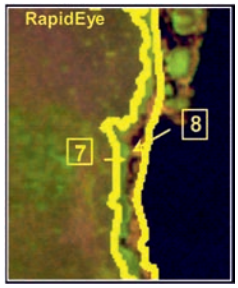
Таблица 6.4. **Фрагменты космоснимков с изображением болотных микроландшафтов**

№ п/п	Группа и тип болотного микроланд-шафта	Дешифровочные признаки на аэрофотоснимках	Приуроченность	Фотоизображение
Лесные				
1	Березовые эвтрофно-болотно-травяные	Однородная мелкая зернистость, округлой формы зеленого тона	Распространены на небольших по площади болотах, часто по окрайке эвтрофных травяных болот, иногда вдоль водотоков	
2	Черно-ольховые гигро-фитно-травяно-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	

Продолжение табл. 6.4

№ п/п	Группа и тип болотного микроланд-шафта	Дешифровочные признаки на аэрофотоснимках	Приуроченность	Фотоизображение
4	Сосновые гигрофитнотравяно-осоковые	Мелкозернистый неоднородный рисунок; зернистость темно-коричневого цвета	Распространены по окраикам болот и вдоль внутриболотных речек, иногда занимая всю площадь болот	
Кустарниковые				
5	Ивняки осоковые	Однородная очень мелкая зернистость серо-зеленого тона с рисунком, похожим на губчатую структуру, создаваемую куртинами ивняка округлой формы	Распространены вдоль внутриболотных водотоков и встречаются среди травяных эвтрофных болот	
Травяно-моховые				
6	Осоково-гипновые, осоково-вейниково-гипновые	Тон снимка светло-зеленый однородный, иногда со светлыми вкраплениями, создаваемыми слабозаметной мозаичностью	Распространены повсеместно на территории низинных болот	 
Травяные				
7	Осоковые	Тон снимка в зависимости от 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 речек, в приозерных котловинах при богатом минеральном питании	

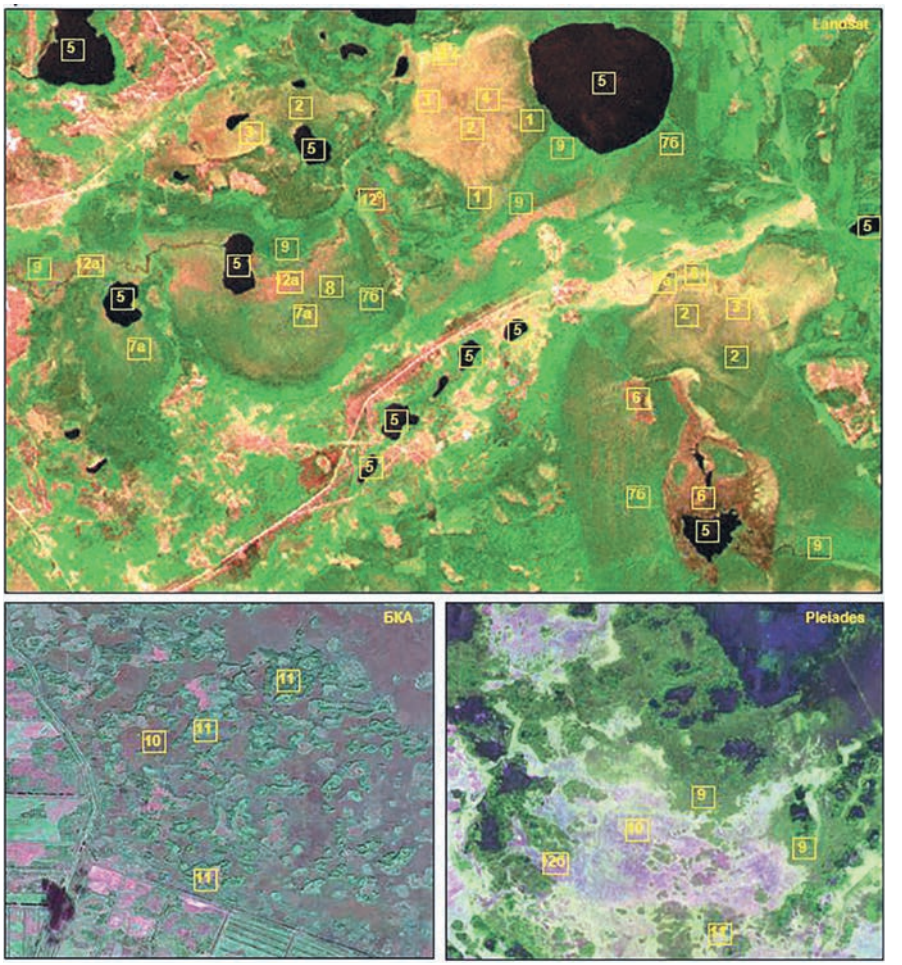
Окончание табл. 6.4

№ п/п	Группа и тип болотного микроланд-шафта	Дешифровочные признаки на аэрофотоснимках	Приуроченность	Фотоизображение
				
8	Тростниковые	Темно-красные (темно-коричневые) фрагменты, расположенные ближе к водоемам или водотокам	Распространены вдоль водоемов и водотоков	

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 (рис. 6.23). Так, луговые земли, используемые под сенокосы, отличает 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.).

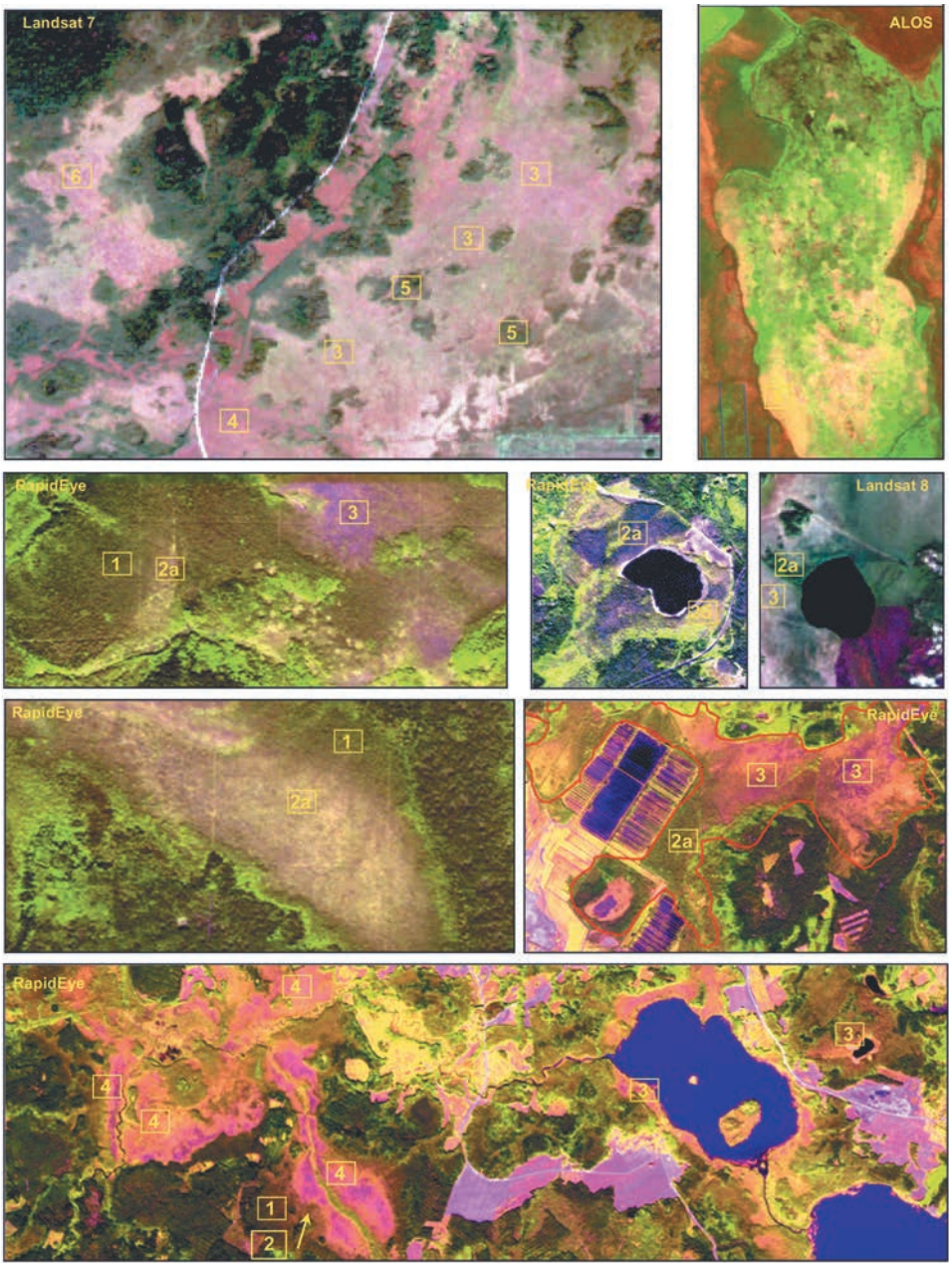
Пахотные земли отличаются на снимках четкостью границ, определенной «геометричностью» формы (см. рис. 6.23). Тон изображения земельных участков, занятых пашней, преимущественно светлый, однако он не может быть достаточно надежным самостоятельным признаком. Даже на одном снимке тон различных участков пашни может изменяться, что связано с различным видовым составом культур и особенностью их отображения



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 преобладанием сосны, *7б* – с преобладанием лиственных пород); *8* – моховые.
Микроландшафты на низинных болотах: *9* – лесные; *10* – травяно-моховые; *11* – кустарниковые; *12* – травяные (*12а* – осоковые, *12б* – тростниковые).

Рис. 6.21. Фрагменты космоснимков с изображением микроландшафтов низинных и верховых болот

на ДДЗ, сезоном выполнения съемки. Информативность цвета изображения пашни значительно больше. Характерна полосчатая текстура, 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.



Микроландшафты на переходных болотах: 1 – лесные; *2* – мохово-лесные (*2а* – с преобладанием сосны, *2б* – с преобладанием лиственных пород); *3* – моховые. *Микроландшафты на низинных болотах: 4* – травяно-моховые микроландшафты; *5* – кустарниковые; *6* – травяные.

Рис. 6.22. Фрагменты космоснимков с изображением микроландшафтов низинных и переходных болот

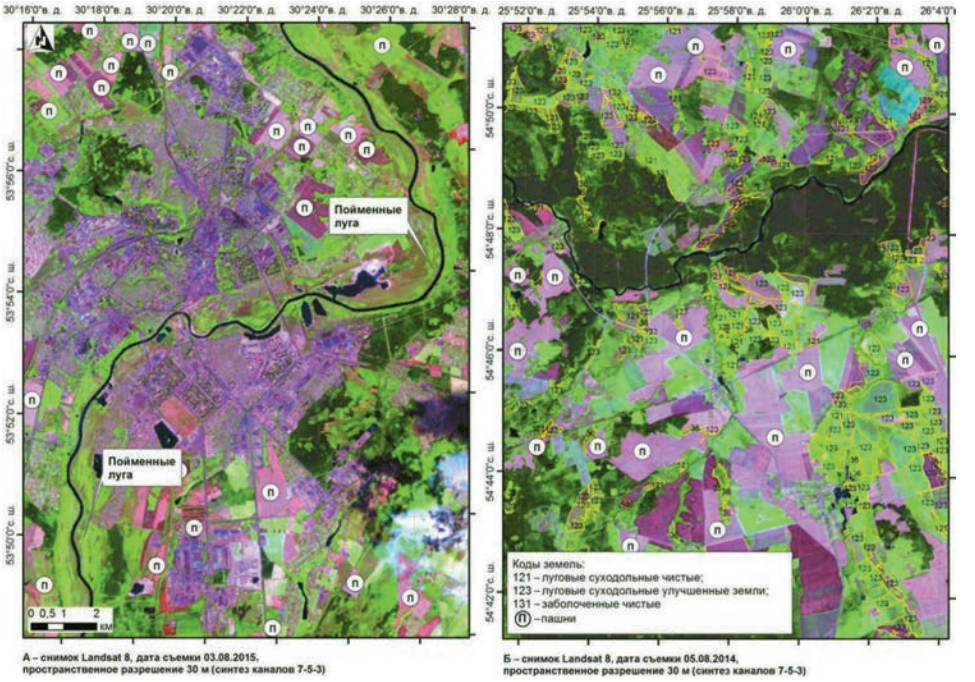


Рис. 6.23. Фрагменты космоснимков с изображением луговых и пахотных земель

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 распознании 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 и тематической обработки.

Основой компьютерного дешифрирования является классификация изображений. Она представляет собой автоматизированный процесс численных операций, группирующих единичные элементы цифрового изображения (пиксель, группы пикселей) в кластеры (классы) на основе их спек-

тральных характеристик (*Рачковская, Темирбеков, Садвокасов, 2000*). Поскольку классификация является одной из основных задач обработки спутниковых изображений, требующая применения специализированных компьютерных алгоритмов и программных пакетов, то очевидна необходимость рассмотрения ее применения при использовании специализированного программного обеспечения.

Классификация бывает двух типов: *классификация без обучения* (неконтролируемая классификация), *классификация с обучением* (контролируемая классификация) (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004*).

Неконтролируемая классификация (кластеризация). 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, Темирбеков, Садвокасов, 2000; Лабутина, Балдина, 2011*).

Наиболее популярными среди алгоритмов неконтролируемой классификации (кластеризации) являются алгоритмы: K-Means и ISODATA (*Зубков, Скрипачев, 2007*).

Алгоритм K-Means пригоден для быстрого разделения многозонального снимка на пространственно и спектрально однородные области. Центр (средние значения) первого кластера задается значениями яркости первого пикселя кластеризуемого изображения. Далее все изображения последовательно анализируются пиксель за пикселем по строкам или по столбцам и при необходимости образуются новые кластеры. В процессе анализа рассчитывается спектральное расстояние *d* от значений спектральной яркости текущего пикселя до средних значений яркости по кластеру. Решение, присоединить ли пиксель к кластеру или образовать новый, принимается в результате сопоставления вычисленного спектрального расстояния и специально заданного порога яркости. После образования второго кластера значения каждого последующего пикселя сравниваются уже с двумя набо-

рами 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, Кравцова, Тутубалина, 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 (рис. 6.24). 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 использова-

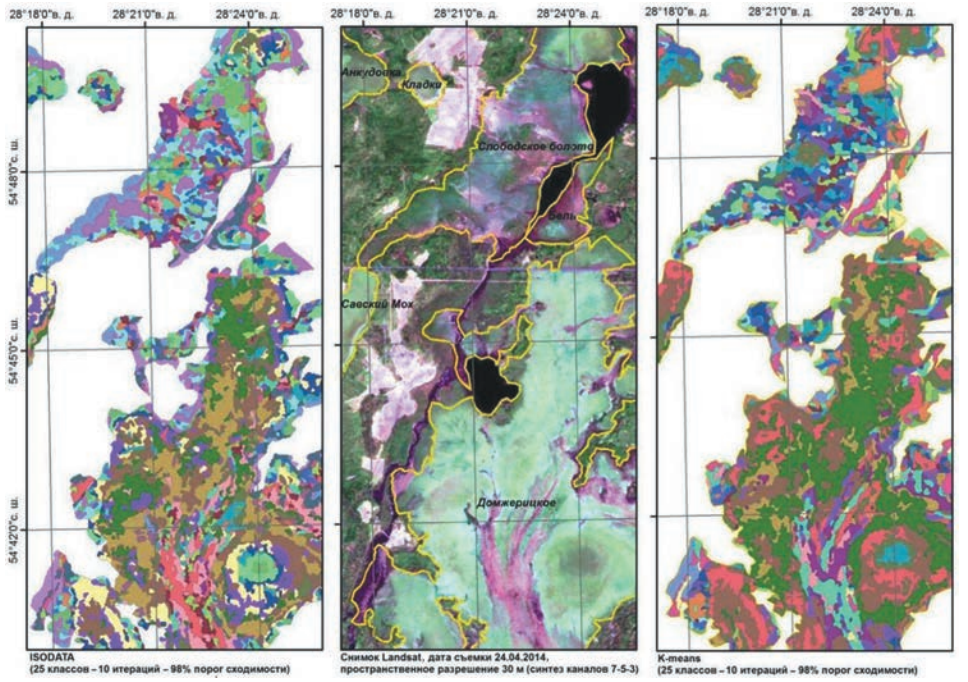


Рис. 6.24. Пример кластеризации многозонального снимка болот Березинского биосферного заповедника (алгоритм ISODATA)

нием евклидовой метрики. После этого вычисляются вектора средних значений и находят среднеквадратическую ошибку. Каждый пиксель относят в определенный кластер (*Программный комплекс ENVI, 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), то есть 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, Кравцова, Тутубалина, 2004*).

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 к 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 параметр, как среднее значение спектральной сигнатуры. При такой классификации спектральные классы соответствуют природным классам окончательно принятой легенды (*Рачковская, Темирбеков, Садвокасов, 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 признаки текущего пикселя сравниваются с эталонными, и на основании этого сравнения пикселей текущий относится к наиболее подходящему классу объектов. После проведения классификации по имеющимся наземным данным оценивается качество проведенной классификации (*Зубков, Скрипачев, 2007*). Обычно контролируемая классификация применяется, когда классы хорошо различаются на снимке и их число варьируется от 25 и выше (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004*).

В последнее время, в связи с бурным ростом интереса к машинному обучению, получило распространение множество различных алгоритмов классификации, таких как: деревья решений, метод ближайших соседей, метод максимального правдоподобия, метод спектрального угла, метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, ансамблевые методы и методы, основанные на нейросетевых архитектурах. Все они могут быть использованы для построения классификаторов спутниковых изображений, а выбор конкретных методов зависит от сложности задачи, доступности вычислительных ресурсов и предпочтений аналитика. 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, Кравцова, Тутубалина, 2004; Лабутина, Балдина, 2011*):

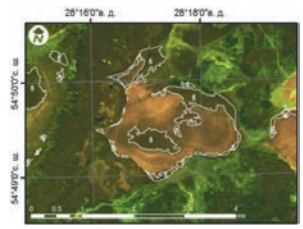
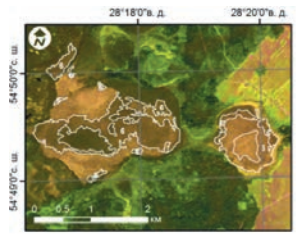
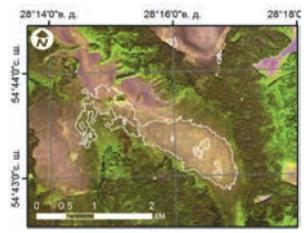
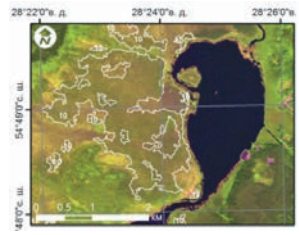
1. На этапе планирования классификации формулируют конкретную задачу компьютерной обработки снимков, определяют список дешифрируемых объектов, анализируют характер распределения значений их спектральных и других (текстурных, пространственных) признаков, выбирают способ классификации.

2. Этап выбора эталонных участков включает создание обучающих выборок для каждого класса по эталонным участкам и оценку их качества (табл. 6.5). Напомним, что эталонные участки получают оцифровкой гра-

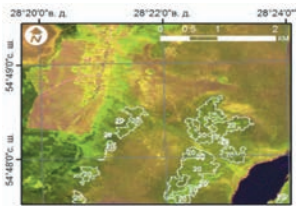
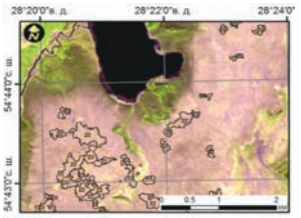
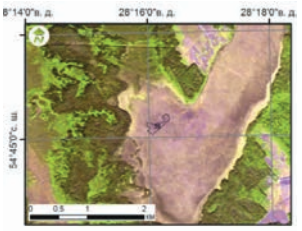
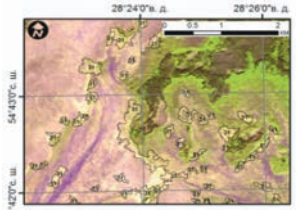
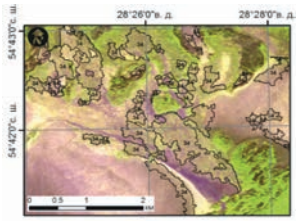
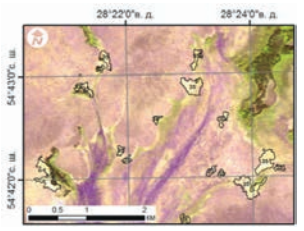
ниц однородных по яркости фрагментов изображения, типичных для данного класса по значениям яркости и расположению. Обучающие выборки – это совокупности значений признаков в пределах эталонного участка, по которым получают эталонные значения классов, например средние значения яркости для классификации 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 используемых признаков (см. табл. 6.5).

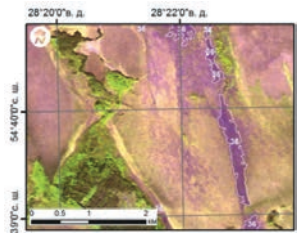
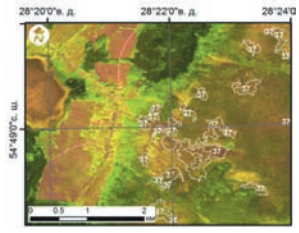
Таблица 6.5. **Фрагмент каталога эталонных участков болот Березинского биосферного заповедника**

Области интереса*	Фотоснимок	Наименование
		Сосновые кустарничково-сфагновые леса
		Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые леса
		Сосновые и пушистоберезово-сосновые с неоднородным покровом: кустарничково-пушицево-сфагновые кочки и осоково-травяно-сфагновые межкочья
		Сосновые и пушистоберезово-сосновые с елью и ольхой черной осоково-травяно-гипново-сфагновые леса на болотах богатого минерального питания

Продолжение табл. 6.5

Области интереса*	Фотоснимок	Наименование
		Пушистоберезовые эвтрофные болотно-травяные леса
		Пушицево-кустарничково-сфагновые болотные сообщества
		Грядово-мочажинный комплекс
		Осоково-пушицево-травяно-сфагновые ковры с разреженным ярусом березы
		Осоково-вахтово-гипново-сфагновые сообщества на болотах богатого минерального питания с разреженным древесно-кустарниковым ярусом
		Сфагновые переходные топи

Окончание табл. 6.5

Области интереса*	Фотоснимок	Наименование
		Травяно-осоковые сообщества
		Травяно-осоковые сообщества на болотах богатого минерального питания

* Для составления каталога использован космический снимок Rapid Eye (дата съемки 03.09.2009 г.; пространственное разрешение 5 м, синтез каналов: 4 (red) – 5 (near-IR) – 3 (green).

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, Кравцова, Тутубалина, 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 также, 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 при-

сущий 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 (рис. 6.25).

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

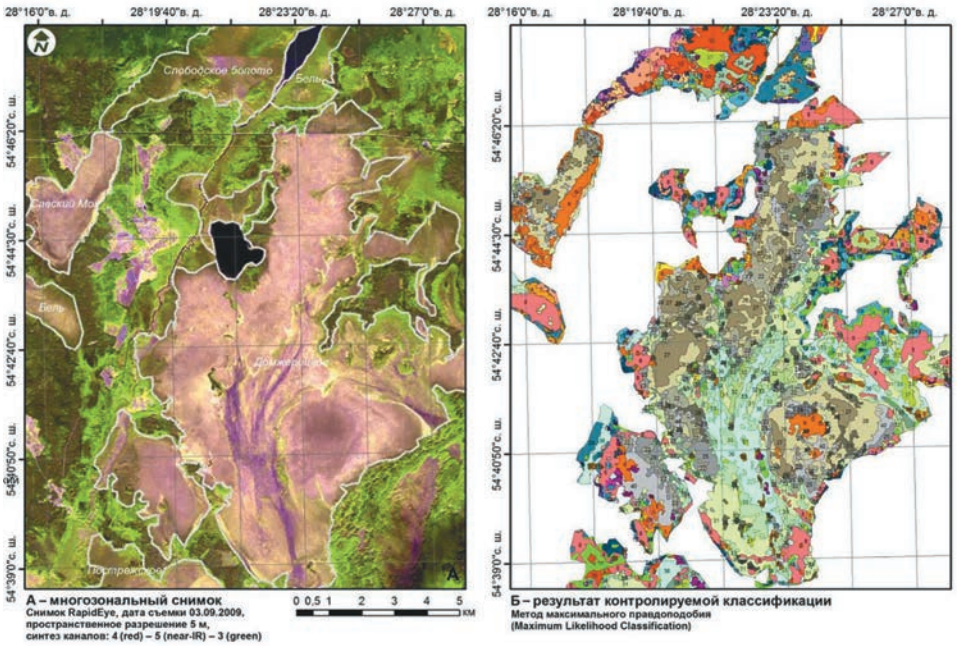


Рис. 6.25. Пример автоматической контролируемой классификации многозонального снимка лесоболотных комплексов Березинского биосферного заповедника (*Груммо [и др.], 2015*)

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, Кравцова, Тутубалина, 2004; Лабутина, Балдина, 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 омиссии (количество пикселей, ошибочно не попавших в данный класс); ошибки комиссии (количество пикселей, ошибочно присоединенных к данному классу); достоверность классификации (процент 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), изменяет алгоритм классификации либо варьирует его параметры 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, Балдина, 2011*).

Результатом классификации (как с обучением, так и без него) служит растровое изображение, каждый из пикселей которого отнесен к определенному классу (см. рис. 6.25). 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.

В последние годы широко используется *контролируемая классификация изображения с предварительной сегментацией* (рис. 6.26, 6.27).

Этот объектно-ориентированный процесс похож на традиционный подход к классификации пиксельного изображения, использующий методы контролируемой и неконтролируемой классификации. Однако вместо

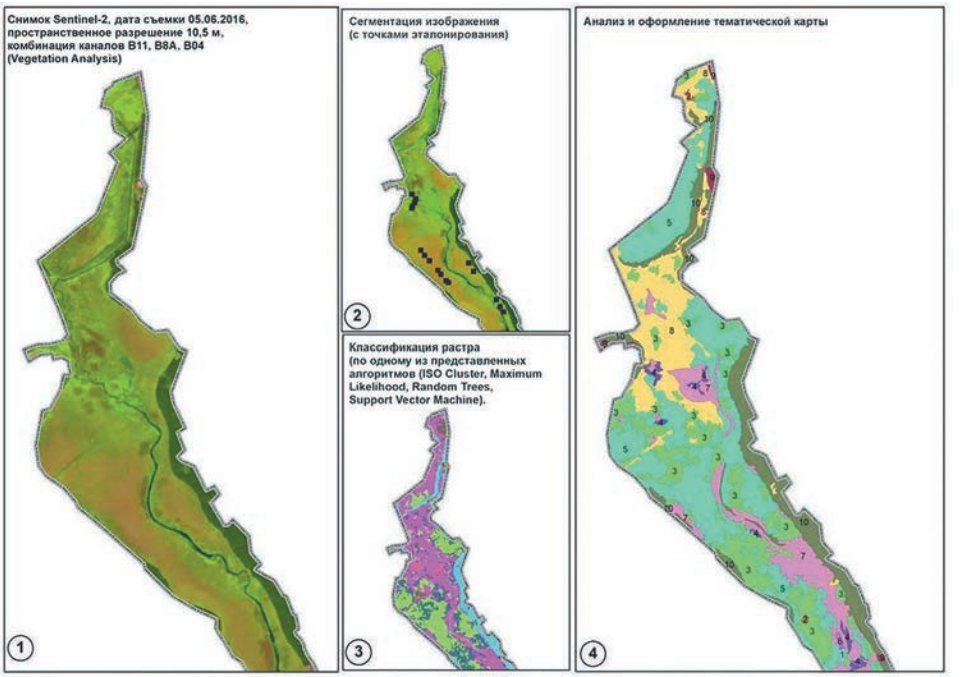


Рис. 6.26. Этапы проведения автоматической контролируемой классификации (с предварительной сегментацией) многозонального снимка (территория Республиканского заказника «Споровский»)

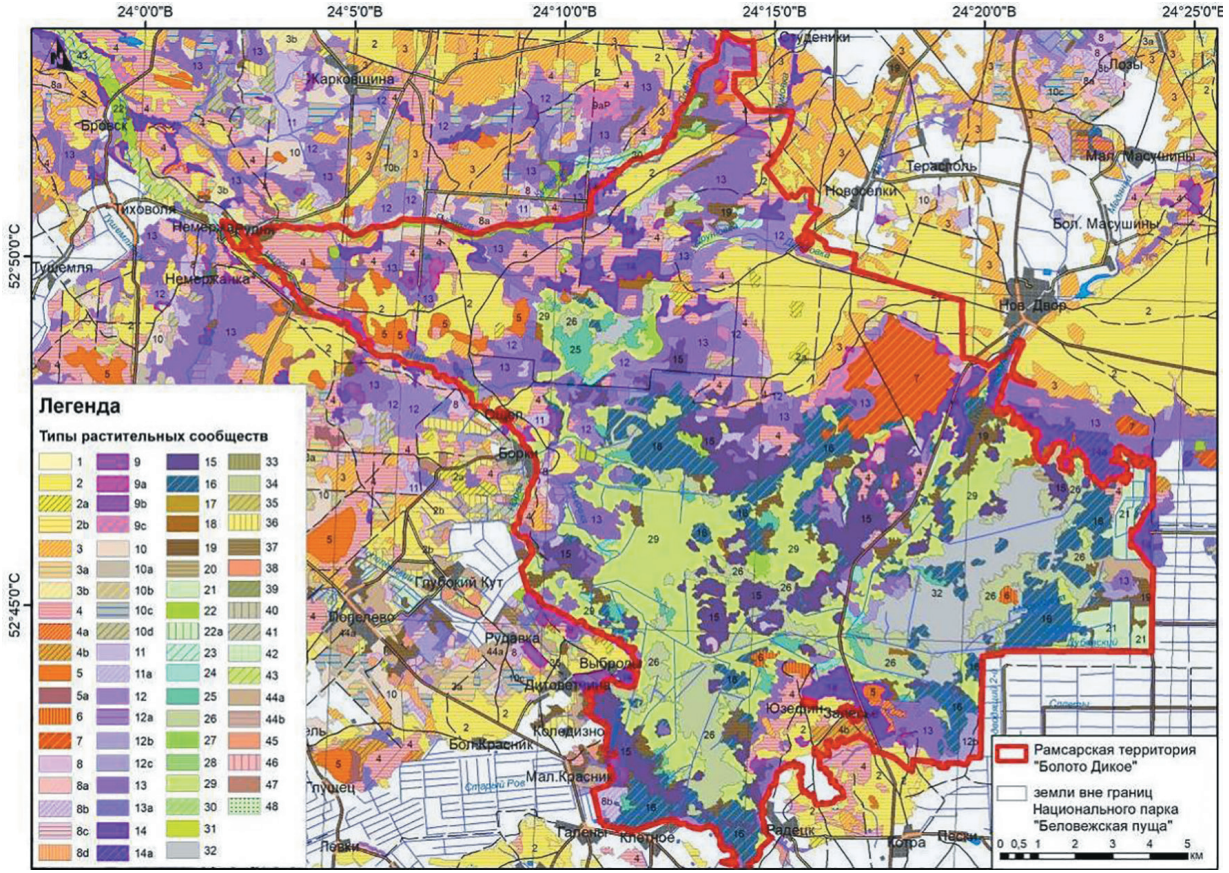


Рис. 6.27. Фрагмент карты растительности Национального парка «Беловежская пуща», составленной методом автоматической контролируемой классификации с предварительной сегментацией многозонального снимка

того, чтобы классифицировать пиксели, процесс классифицирует сегменты, которые можно рассматривать как суперпиксели.

В отличие от методов попиксельной классификации, здесь первым этапом выполняется процесс группировки соседних пикселей со сходным цветом и геометрическими характеристиками. После чего эти суперпиксели классифицируются с применением описанных выше алгоритмов.

Оформление результатов классификации включает следующие операции (*Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004; Лабутина, Балдина, 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.).

6.3.5. Методы обработки съемки БПЛА

Обработка данных аэрофотосъемки БПЛА для получения картографических материалов заключается в получении пакета фотоизображений местности и связанной метаинформации с бортовых датчиков летательного аппарата. Для обеспечения качества получаемых фотоматериалов на этапе планирования полета используется специализированное ПО, позволяющее сформировать полетное задание, отвечающее заранее заданным критериям: охват территории, детальность съемки, перекрытие фотоизображений и др.

Для обработки результатов съемки существует множество специализированных пакетов прикладного ПО для фотограмметрической обработки, такие как проприетарный Agisoft Metashape или свободный OpenDroneMap.

Этапы построения модели и привязка к местности в этих программных пакетах весьма сходны и состоят из трех этапов:

1. ***Построение грубой модели***. На этом этапе производится определение общих точек на перекрывающихся снимках в автоматическом режиме, восстановление проектирующих 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 ориентиро-

вания 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 (табл. 6.6, рис. 6.28). На основе ортофотопланов в программе ГИС можно получить цифровую карту местности.

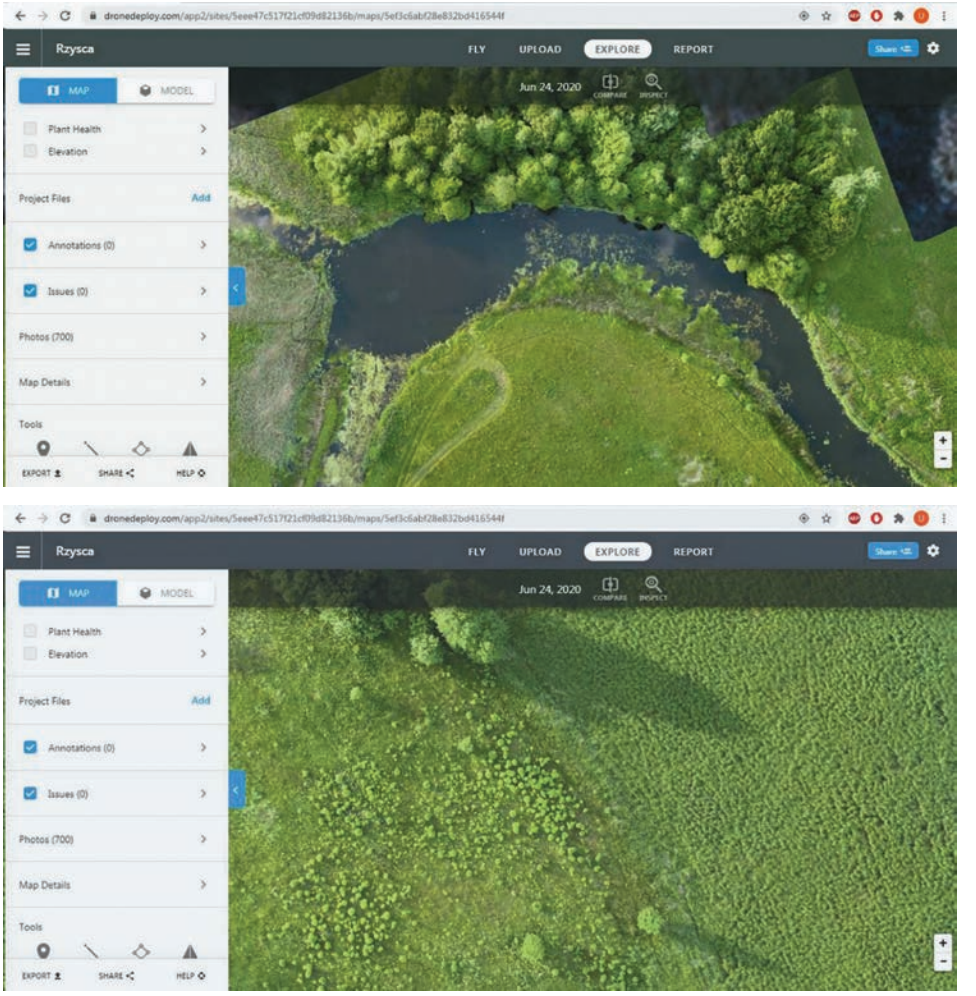
В последние годы активно развиваются удаленные средства фотограмметрической обработки, позволяющие через сеть Интернет обрабатывать и формировать фотопланы. Ниже приведен пример создания ортофотопланов с использованием квадрокоптера DJI Phanton 4 Pro v 2.0, имеющего механический затвор камеры, позволяющий получать серии четких снимков в движении (см. табл. 6.6, рис. 6.28).

Таблица 6.6. **Параметры съемки и полученных карт**

Параметр	Тестовые участки					
	Черновка	Великий мох (север)	Великий мох (запад)	Пойма р. Птичь	Черновка	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
Количество аккумуляторов	3	3	3	3	2	1
Количество 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 *.tif, 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



Высота съемки – 75 м, разрешение – 2,1 см/пиксель.

Рис. 6.28. Фрагменты фотоплана низинного болота в пойме р. Птичь (окрестности д. Ржище Пуховичского района Минской области)

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.

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 табл. 6.6.

6.3.6. 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, 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 (полу-

чение «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 геопространственными методами.

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. 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, то есть 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 отдешифрированных (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.

6.4. Примеры использования ДДЗ, спутниковых тематических продуктов 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. Обнаружение 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 (то есть 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 – выделение 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 классификаций. Также целесообразно использовать готовые спутниковые тематические продукты.

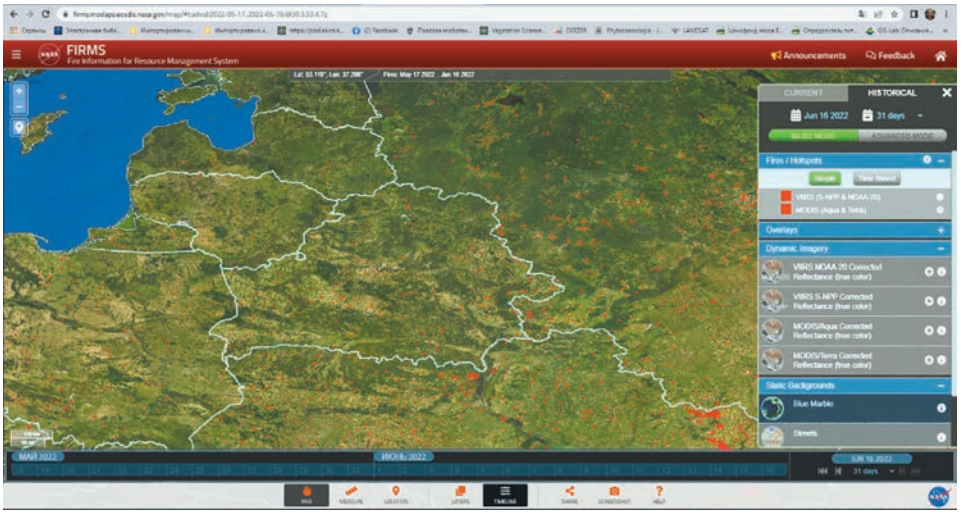
Рассмотрим подробнее применение некоторых методических приемов в практике мониторинга ООПТ.

6.4.1. Лесные и торфяные пожары

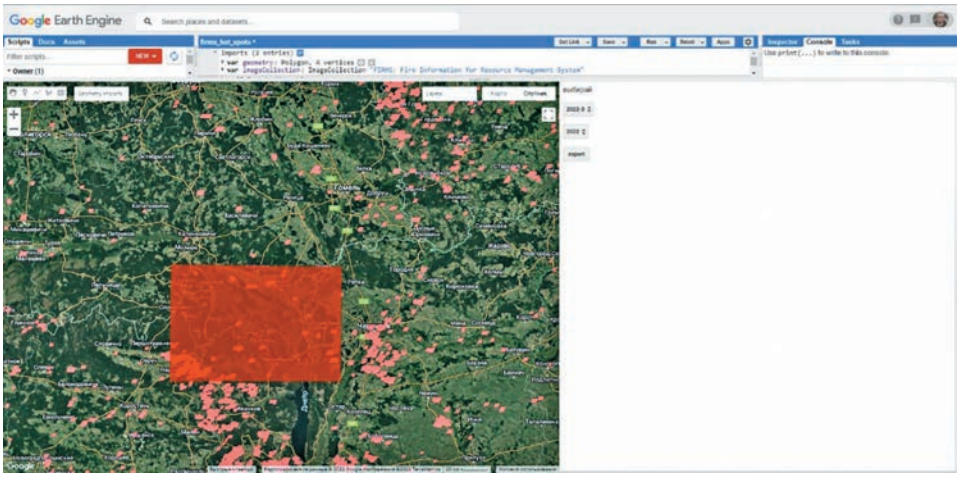
Для предоставления активных данных о пожаре для мониторинга в режиме, близком к реальному времени, в свободном доступе имеется большое количество сервисов. Один из наиболее популярных – The Fire Information for Resource Management System (FIRMS) – представляет данные об активных пожарах в режиме, близком к реальному времени. Идентификация точек пожаров производится в результате 3-часового спутникового наблюдения с помощью спектрорадиометра с формированием изображений среднего разрешения (MODIS) на борту спутников Aqua и Terra и комплекта радиометров с визуальным инфракрасным изображением (VIIRS) на борту S-NPP и NOAA 20 (официально известный как JPSS-1).

Данные об активных пожарах/горячих точках можно отслеживать на Firms Fire Map, Nasa's Worldview, Google Earth Engine (рис. 6.29), а также получать в виде предупреждений по электронной почте или загрузить в следующих форматах: *.shp, *.kml, *.txt, *.wms.

Для оценки площадей пожаров используются средства как визуального, так и автоматизированного дешифрирования. С использованием мате-



Firms Fire Map



Google Earth Engine

Рис. 6.29. Предоставление активных данных о природных пожарах для мониторинга в режиме, близком к реальному времени, с использованием различных сервисов по данным системы Firms

риалов спутниковой съемки достаточно оперативно можно получить как контур прошедшего пожара, так и легко с использованием стандартного модуля ГИС рассчитать площадь, увязать с материалами лесоустройства и оценить масштабы ущерба.

При дешифрировании по космическим снимкам последствий пожаров основным признаком распознавания служат темный цвет изображения, своеобразные формы пожарищ и изрезанный периметр границ выгоревших площадей (рис. 6.30, 6.31).

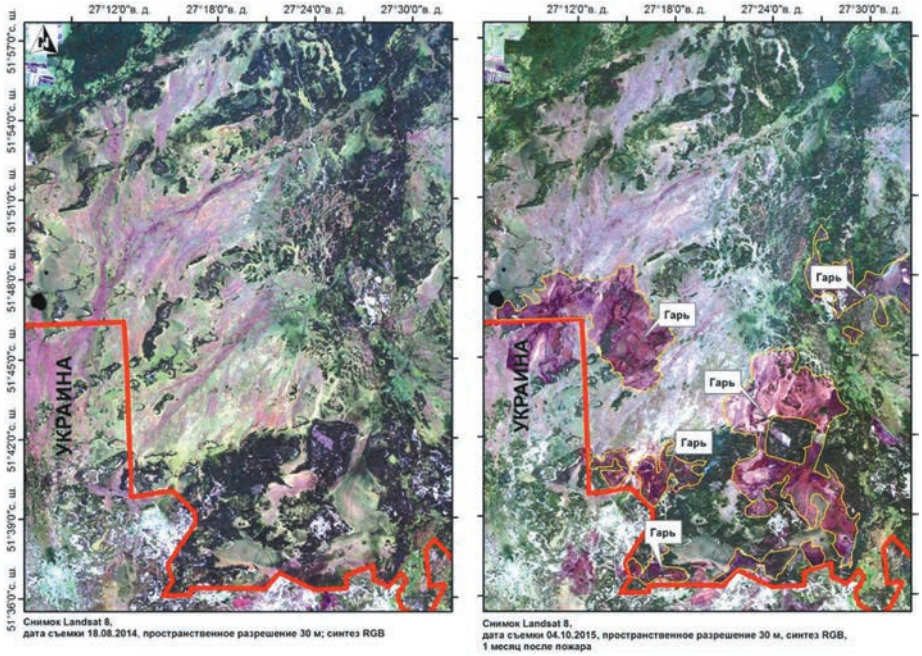


Рис. 6.30. Пример визуального определения гарей на космическом снимке (территория Республиканского заказника «Ольманские болота»)

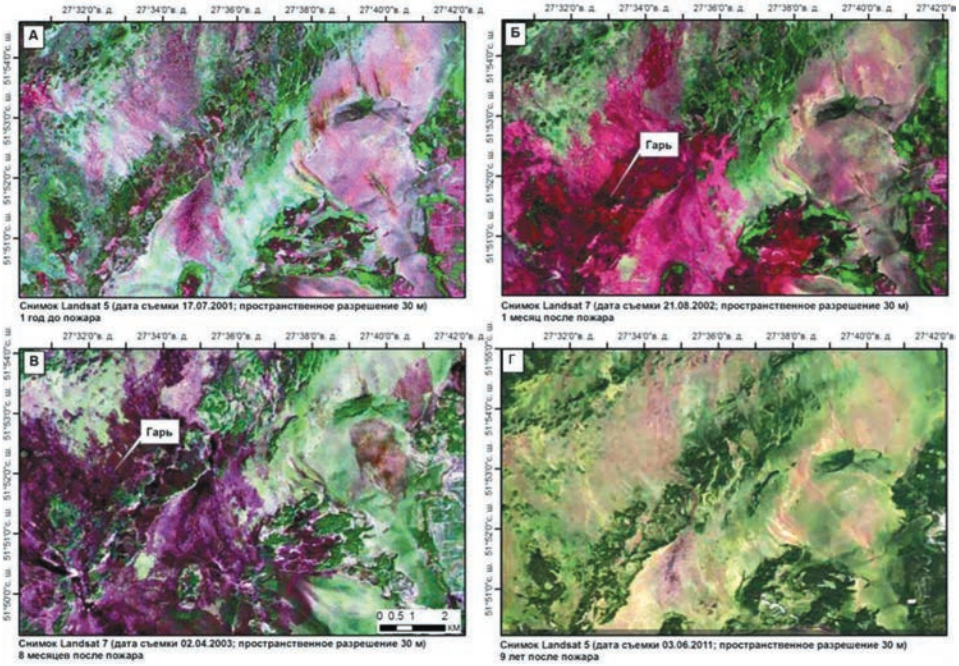


Рис. 6.31. Пример визуального изменения фотоизображения территории, пройденной пожаром (территория Республиканского заказника «Старый Жаден»)

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 опознания снижается до 0,5 (*Алейников [и др.], 2010*), а в последующие годы (7–10 лет) на снимках практически не опознаются как визуально (рис. 6.32), так и с использованием автоматизированных методов дешифрирования (рис. 6.32, А, Б). Однако наземные исследования показывают, что послепожарное восстановление природной растительности еще не произошло (рис. 6.32, В, Г).

С использованием архива космических снимков исследуемой территории можно провести ретроспективную историю пожаров (рис. 6.33). Ниже приводится пример динамики торфяных пожаров в северо-западной части Беларуси за период 1975–2015 гг. (рис. 6.34, 6.35). Для этих целей нами использована база архивных космоснимков программы Landsat. Участки свежих гарей определяли на спутниковом снимке визуально (по темно-фиолетовой окраске; RGB-синтез).

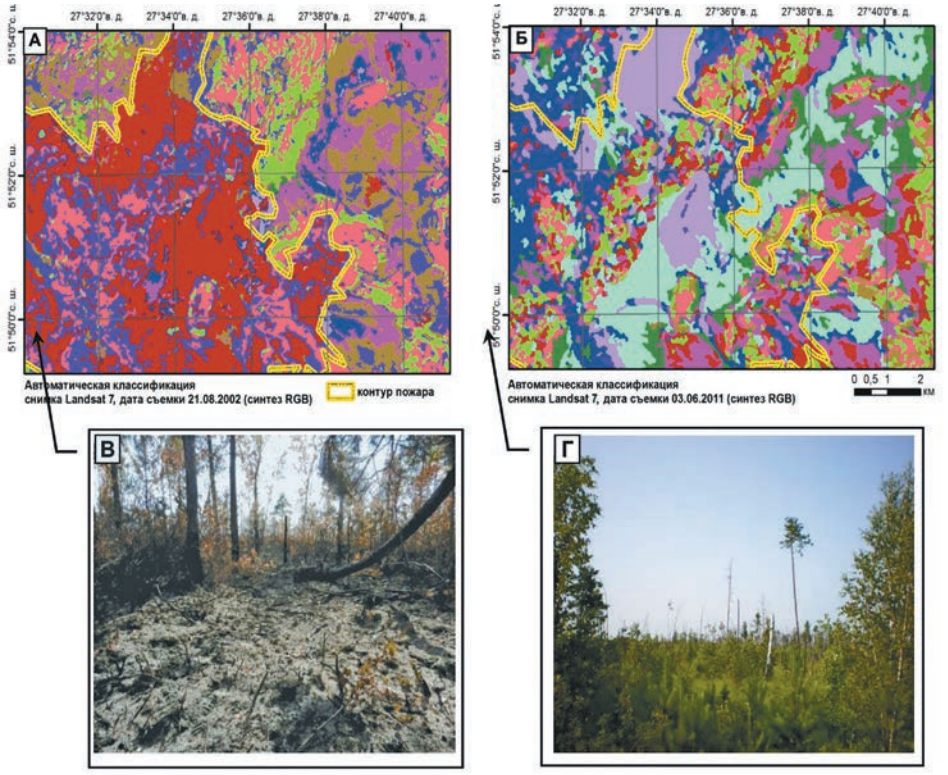


Рис. 6.32. Постклассификационное сравнение (неконтролируемая классификация) спутниковых снимков Landsat территории, пройденной пожаром спустя 1 месяц (А) и 9 лет (Б), а также результаты наземных обследований территории в эти периоды (В, Г) (территория Республиканского заказника «Старый Жаден»)

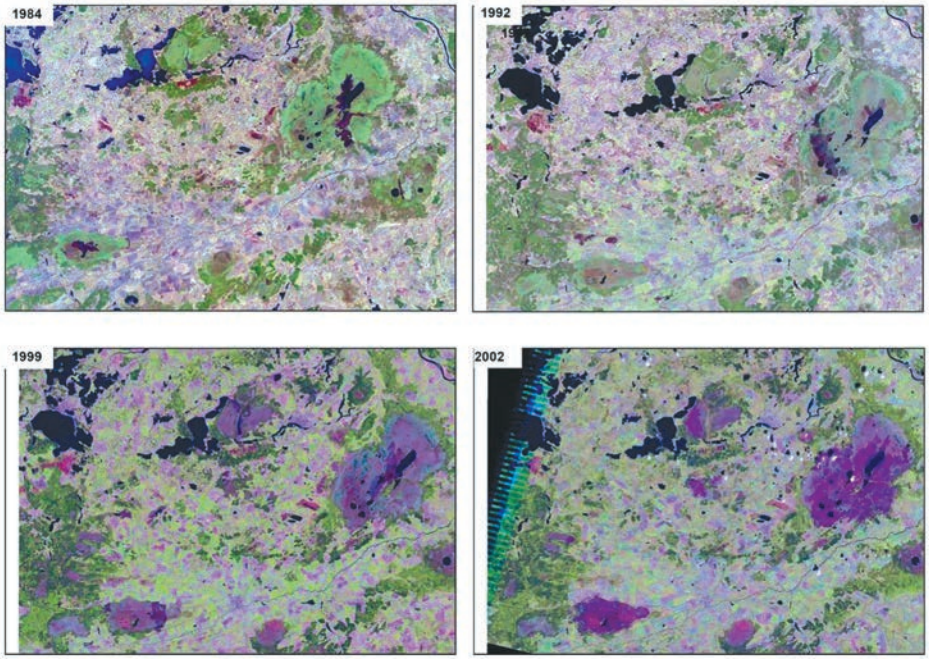


Рис. 6.33. Пример использования архивных материалов спутниковой съемки Landsat для ретроспективной оценки площадей торфяных пожаров

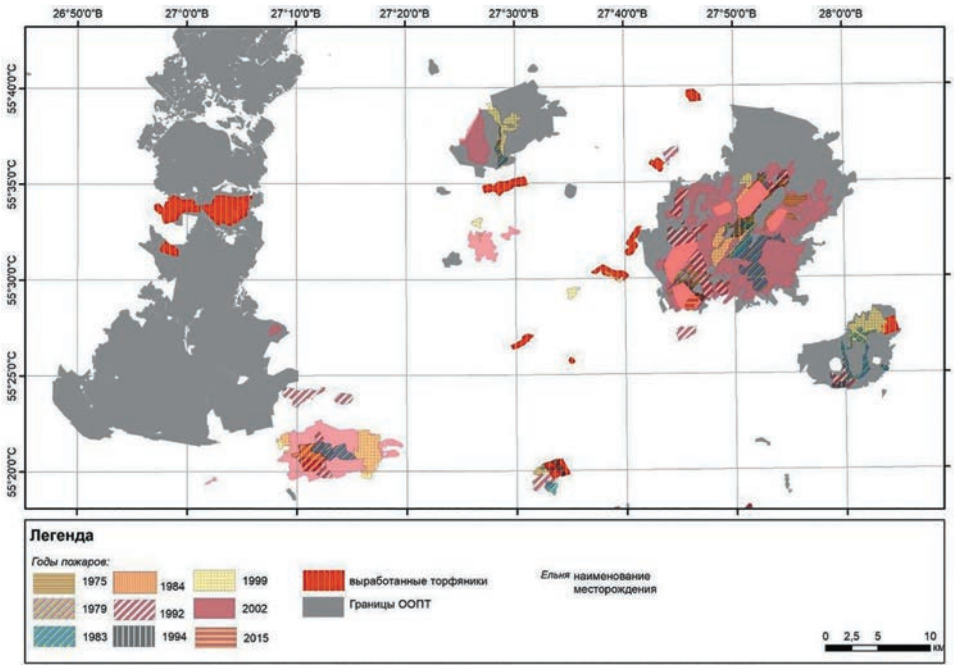


Рис. 6.34. Реконструкция истории пожаров на особо охраняемых природных территориях северо-западной части Беларуси (1975–2014 гг.)

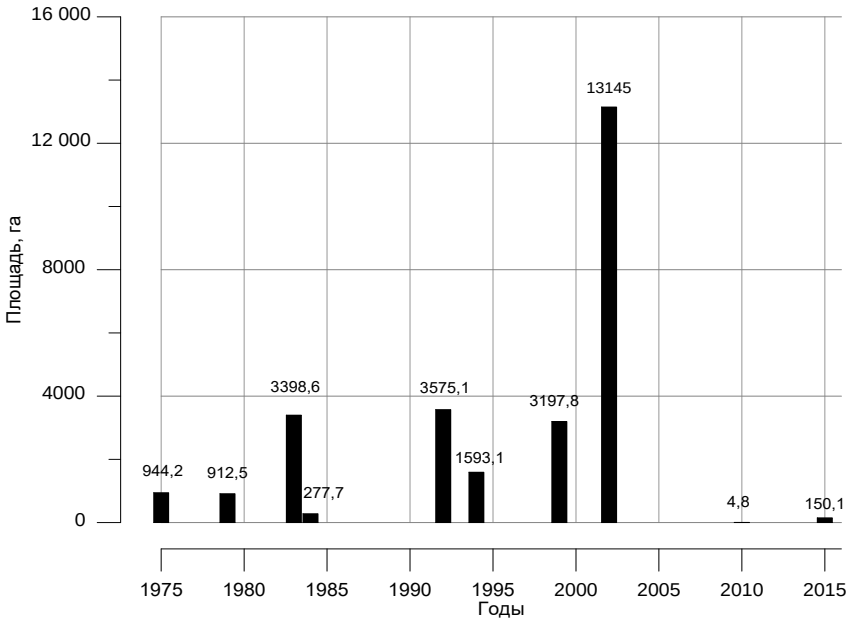


Рис. 6.35. Динамика площадей торфяных пожаров на особо охраняемых природных территориях северо-западной части Беларуси

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» – лесоболотного комплекса (ЛБК).

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. Для реконструкции истории пожаров нами были использованы архивные

данные из коллекций Landsat-5 SR, Landsat-7 SR и Landsat-8 SR, с пространственным разрешением 30 м, и включающие помимо видимых (red, green, blue) также 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, были рассчитаны индексы: NDVI, NBR, BAI (табл. 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	(NIR – Red) / (NIR + Red)
NBR (Normalized Burn Ratio)	Выделяет выгоревшую землю, усиливает «углеродный» сигнал на интервале NIR – SWIR	(NIR – SWIR) / (NIR + SWIR)
BAI (Burn Area Index)	Выделяет выгоревшую землю, усиливает «углеродный» сигнал на интервале Red – NIR	$((0{,}1 - \mathrm{Red})^2 + (0{,}06 - \mathrm{NIR})^2)^{-1}$

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:

$$Ind = a_1 + a_2 \cos(\mathrm{year} \cdot 2\mathrm{pi}) + a_3 \sin(\mathrm{year} \cdot 2\mathrm{pi}), \quad (6.1)$$

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 (рис. 6.36).

Таким же образом была построена сезонная модель динамики стандартных отклонений (того же вида) для каждого индекса и эмпирически подобраны пороги отсечения 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

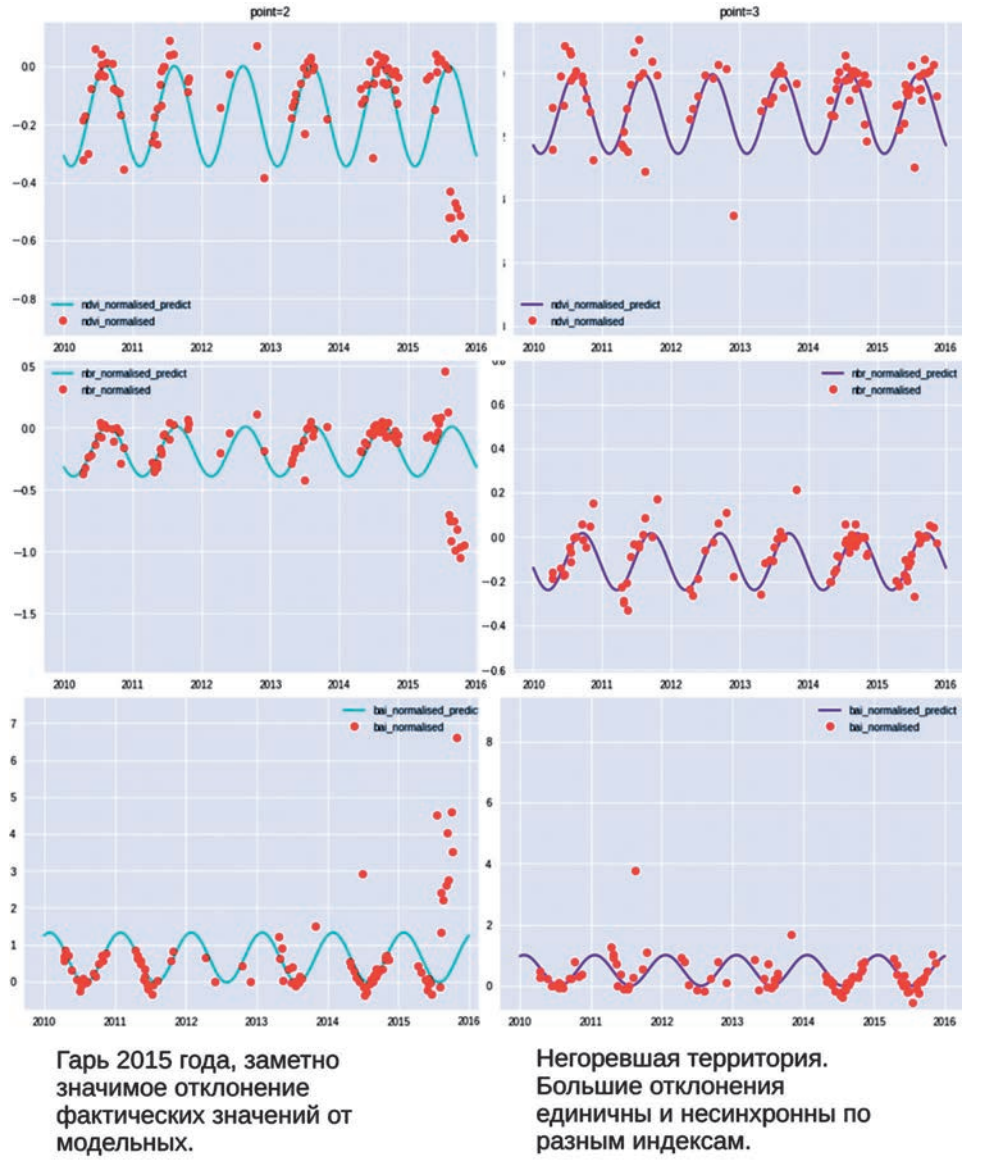


Рис. 6.36. Верификация модели сезонной динамики спектральных индексов и сравнение теоретических и фактических значений

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 (рис. 6.37).

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) (рис. 6.38, 6.39). С использованием стандартных модулей ГИС рассчитывались площади пожаров по годам (рис. 6.40) и периодам (рис. 6.41).

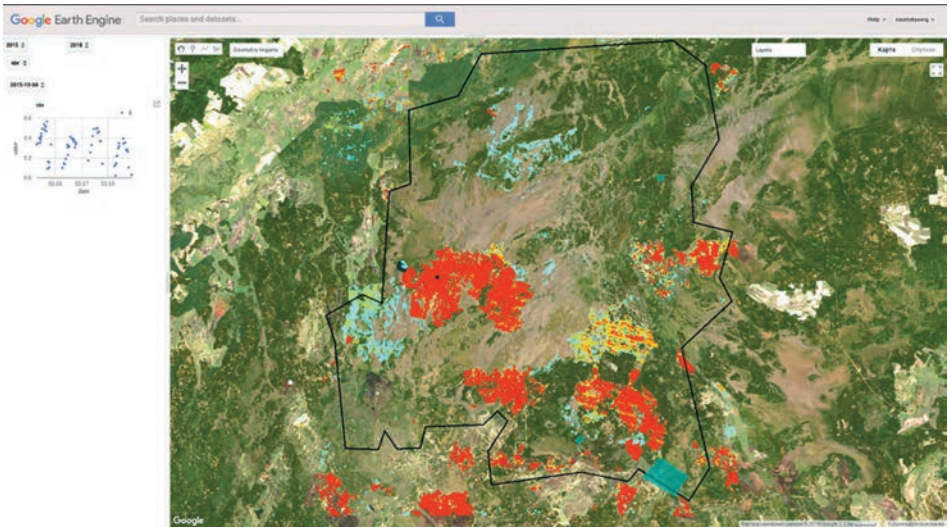


Рис. 6.37. Интерактивное редактирование погодичных композитов с выявленными гарями с использованием платформы Google Earth Engine

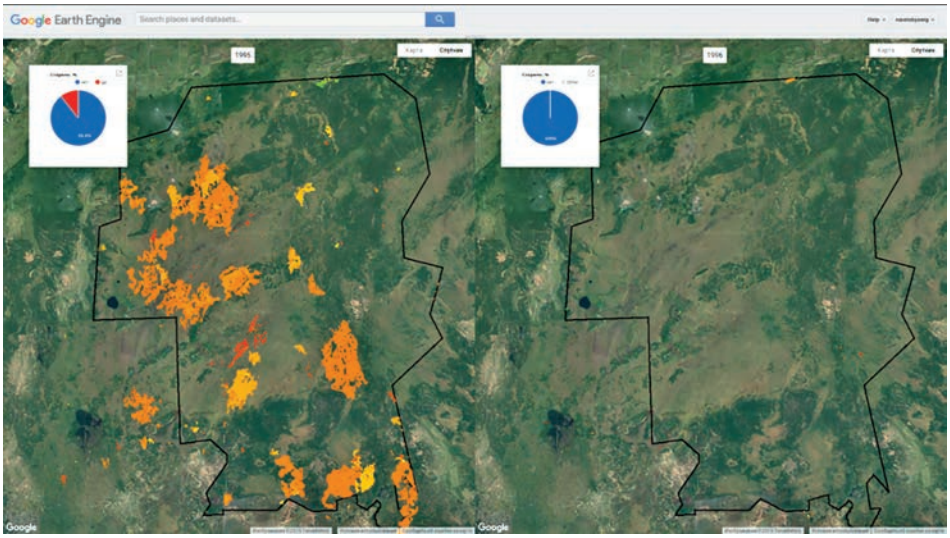


Рис. 6.38. Пожары на территории Республиканского заказника «Ольманские болота» в 1995 г. (10 969,1 га) и 1996 г. (46,9 га)

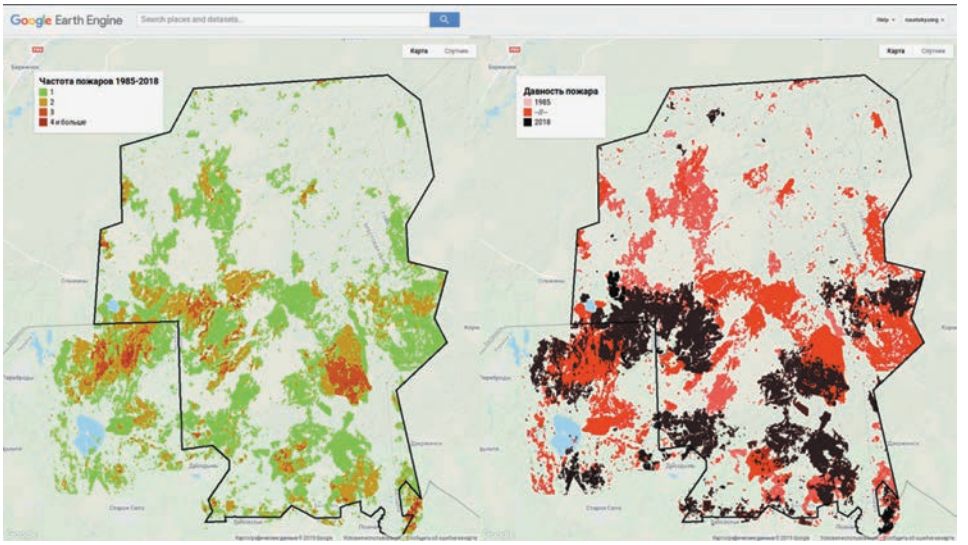


Рис. 6.39. История пожаров (за период 1985–2018 гг.) на территории Республиканского заказника «Ольманские болота»

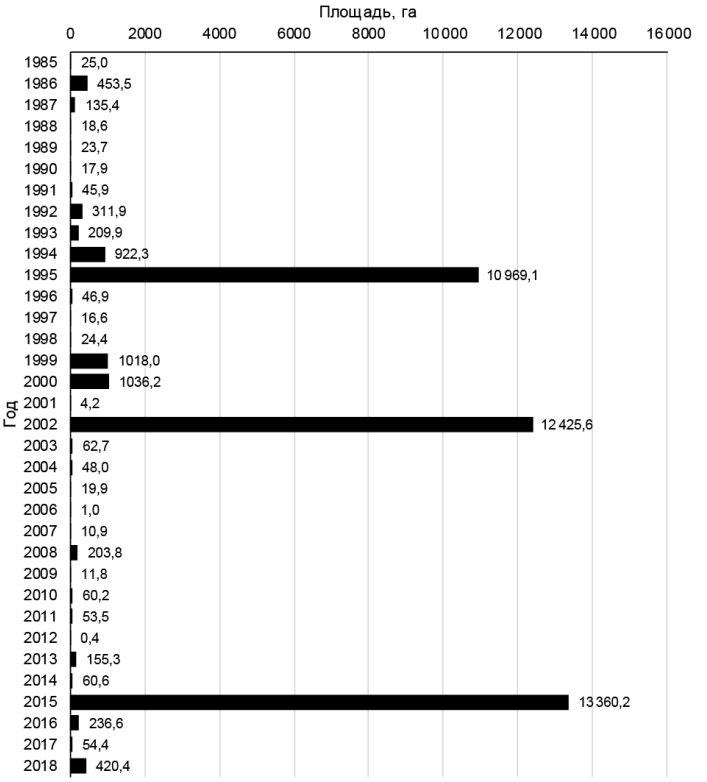


Рис. 6.40. Динамика площадей пожаров в пределах Республиканского заказника «Ольманские болота»

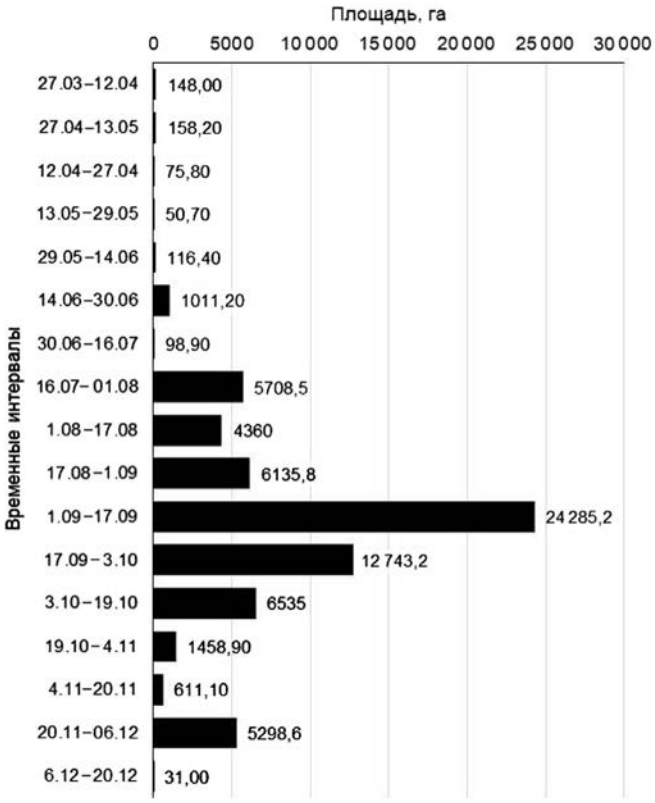


Рис. 6.41. Распределение площадей, поврежденных пожарами по временным периодам (суммарно за 1985–2018 гг.)

Результаты исследований обобщим в виде следующих выводов.

1. На территории Республиканского заказника «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-й классы) и средней (3-й класс) природной устойчивости растительности к пожарам. Природные барьеры (растительности 4-го и 5-го классов пожарной устойчивости) ограничивают 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), во-вторых, с массовым посещением болот людьми в период сбора клюквы (конец августа–октябрь).

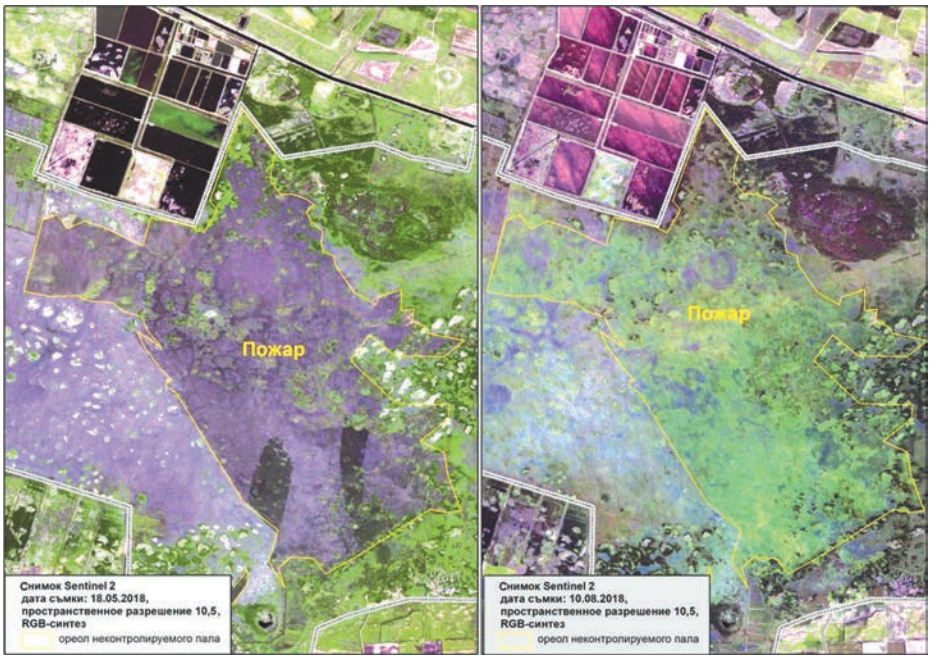


Рис. 6.42. Неконтролируемые палы на разновременных космических снимках (территория Республиканского заказника «Званец»)

Процедура детектирования по космическим снимкам неконтролируемых палов (выжигание сухих масс травы на лугах и болотах) существенно не отличается от дешифрирования лесных и торфяных пожаров. Однако следует учитывать, что свежие пожарища на лугах и болотах в течение 3–4 месяцев после пожара вследствие активного зарастания травянистой растительностью практически не опознаются ни визуально, ни с использованием автоматизированных методов дешифрирования (рис. 6.42). В связи с чем снимки при проведении мониторинга необходимо подбирать с наименьшим интервалом от момента прохождения пожара.

6.4.2. Мониторинг природных пожаров на основе спутниковых тематических продуктов

Наряду с возможностью обрабатывать отдельные спутниковые изображения пользователям доступны долговременные серии информационных продуктов по выгоревшим территориям на глобальном и региональном уровне с различным пространственным разрешением, в том числе: 1 км – L3JRC и EKA GLOBCARBON SPOT-ENVISAT; 500 м – MODIS Burned Area MCD45, MCD64; 300 м – Copernicus PROBA-V Burnt Area и Fire_cci v4.1 MERIS; 250 м – Fire_cci v5.0 MERIS/MODIS (*Giglio [et al.], 2018*) и другие (*Бондур, Цидилина, Черепанова, 2019; Chu, Guo, 2014; Mouillot [et al.], 2014*).

Согласно исследованию (*Humber [et al.], 2019*), в котором сравнивались продукты MCD64A1, MCD45A1, Copernicus Burnt Area и Fire CCI, наилучшие результаты по обнаружению выгоревших площадей продемонстрировали продукты MCD64A1 и Fire CCI. Вместе с тем в продукте Fire CCI были выявлены крупные артефакты по краям изображений, что иногда приводило к возникновению необоснованно больших площадей горения (*Humber [et al.], 2019*). Следует отметить также, что, в отличие от 5-й коллекции, данные MCD64A1 6-й коллекции менее чувствительны к облачности и аэрозольному загрязнению. Это позволяет выявить на 25 % больше выгоревших территорий, включая участки с площадью менее 1 км^2 (*Бондур, Цидилина, Черепанова, 2019; Giglio [et al.], 2018; Humber [et al.], 2019*).

Далее представлен анализ динамики природных пожаров на территории Беларуси за период 2001–2020 гг. Исследования включали решения следующих задач: 1) выполнить анализ истории пожаров за 20-летний цикл; 2) выделить основные проблемные территории в разрезе административного районирования, а также ООПТ; 3) оценить сезонную изменчивость частоты и площади повреждения пожарами; 4) на примере модельных территорий провести анализ выгоревших площадей с различным типом растительности; 5) провести оценку точности определения площадей выгоревших территорий.

Количественные оценки пожаров за 20-летний цикл исследований проводили для всей территории Беларуси. Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ состоит из 5 этапов.

1. *Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.* Для выявления пространственно-временных вариаций площадей участков, выгораемых в результате природных пожаров на территории Беларуси, был выбран ежемесячный продукт MCD64A1 «Burned Area» 6-й коллекции (аппаратура MODIS, спутники Terra/Aqua). В этом продукте применяется гибридный алгоритм, работающий на совместном использовании данных тепловых аномалий и измерений отражательной способности в ближних ИК-каналах (*Giglio [et al.], 2018*). Алгоритм определяет дату пожара для 500-метровых ячеек сетки в каждом отдельном тайле MODIS (*Giglio [et al.], 2018*).

Следует отметить, что продукт MODIS не всегда подходит для надежного мониторинга на региональном и локальном уровнях и точного расчета площадей палов сельскохозяйственных земель, которые характеризуются небольшими площадями, скоротечностью пожаров и сложным мозаичным характером границ участков. Вместе с тем анализ этих данных в разрезе сезонных и многолетних циклических компонент позволит выделить основные пожароопасные территории в пределах Беларуси, выявить сезонные пики пожарной активности, оценить масштабы природных пожаров на территории страны за последние 20 лет.

Для оценки повторяемости пожаров используется индекс (Fire Recurrence Index), который рассчитывается как количество событий (годы, когда были пожары), разделенное на продолжительность серии мониторинга (в данном случае составляет 20 лет). Значения горения, близкие к 1, означают по крайней мере одно горение каждый год, а значения 0,1 указывают на 1 горение каждые 10 лет (*Overview of land…, 2022*). Тематический продукт, отражающий пространственное распределение значений Fire Recurrence Index (FRI), представлен на платформе облачных вычислений Google Earth Engine.

Для обработки и анализа были выбраны не только данные на пожароопасный период (с апреля по октябрь), но и на весь год в целом. На основании анализа спутниковых продуктов для территории Беларуси создавалась база данных истории пожаров за период 2001–2020 гг., а также составлялись тематические карты (рис. 6.43, 6.44).

2. *Оценка точности определения площадей выгоревших территорий.* Существуют различные подходы к валидации результатов, получаемых при космическом мониторинге. Большинство из них основаны на сопоставлении с наземными данными. Однако такой подход требует значительных временных и трудовых затрат на получение и обработку информации, а получение наземных данных зачастую просто невозможно. При проведении работ по валидации результатов мониторинга на глобальном и региональном уровне дополнительного решения требует вопрос сопоставления масштабов данных, так как наземные данные локальны, более детальны и дискретны, чем космические данные.

Для валидации использовался подход, при котором космические данные низкого пространственного разрешения (MCD64A1, 500 м) сравнивались с данными, полученными на основе обработки данных спутников более высокого пространственного разрешения (спутников серии Landsat) с построением модели на основе динамики вегетационных индексов NDVI, NBR, BAI (*Русецкий, Жилинский, Груммо, 2020*).

Модельными полигонами были выбраны 4 лесоболотных комплекса в Миорском (ЛБК «Ельня», «Болото Мох»), Шарковщинском (ЛБК «Долбенишки») и Столинском (ЛБК «Ольманские болота») районах, поврежденные пожарами в 2002–2019 гг. (*Флора и растительность…, 2010; Русецкий, Жилинский, Груммо, 2020*). Преимуществом рассматриваемого подхода является общий/единый пространственно-временной охват и сопоставимый масштабный ряд данных (*Бондур, Цидилина, Черепанова, 2019*).

В пределах модельных территорий было использовано 1000 контрольных точек (референсные значения). В результате сопоставления были получены значения точности и ошибки классификации по 2 классам (выгоревшие участки, фон).

Для подтверждения гарей для отдельных лесных территорий также был привлечен ежегодный продукт Global Forest Change 2000–2020 Data

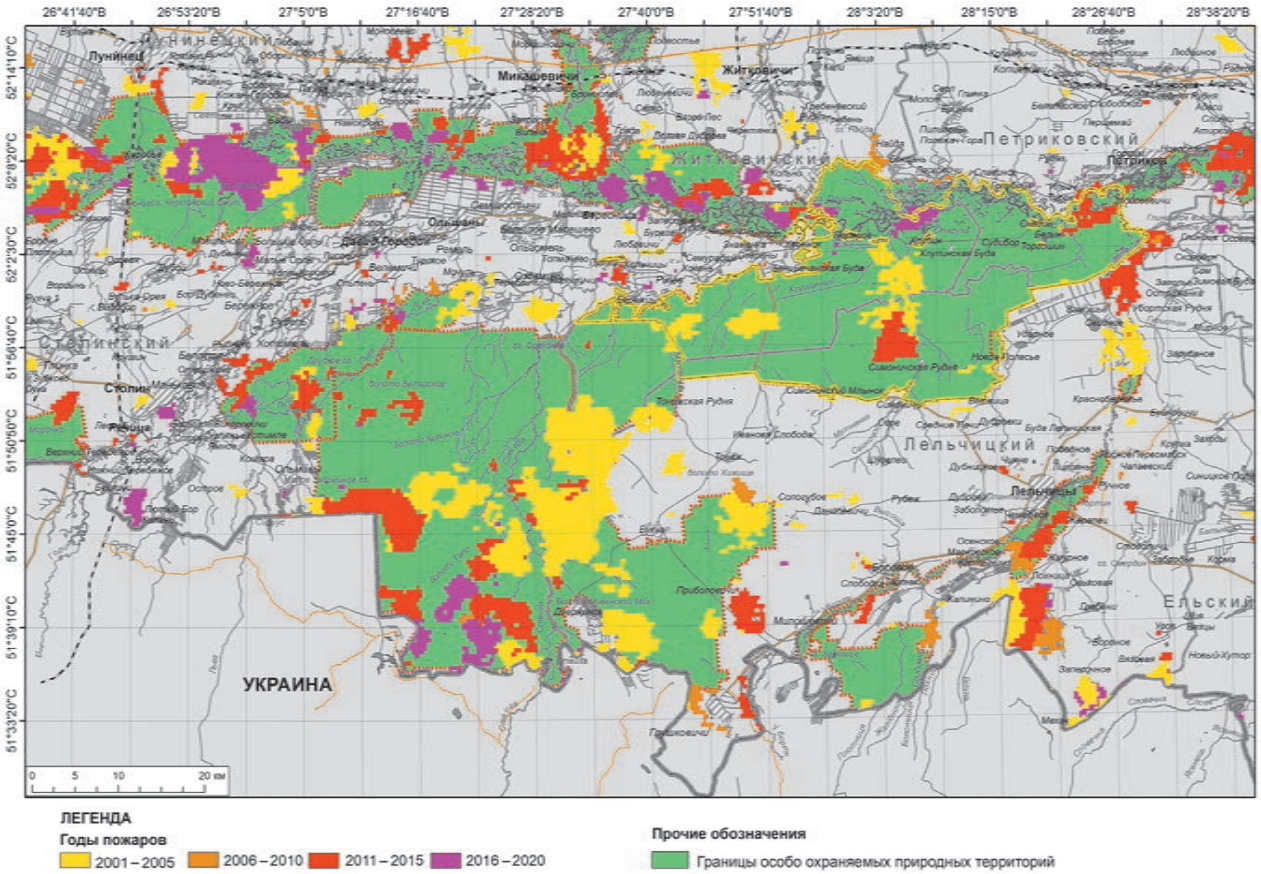


Рис. 6.43. Фрагменты карты пожаров (2001–2020 гг.) на территории Беларуси, составленная на основе данных MCD64A1 (районы Припятского Полесья)

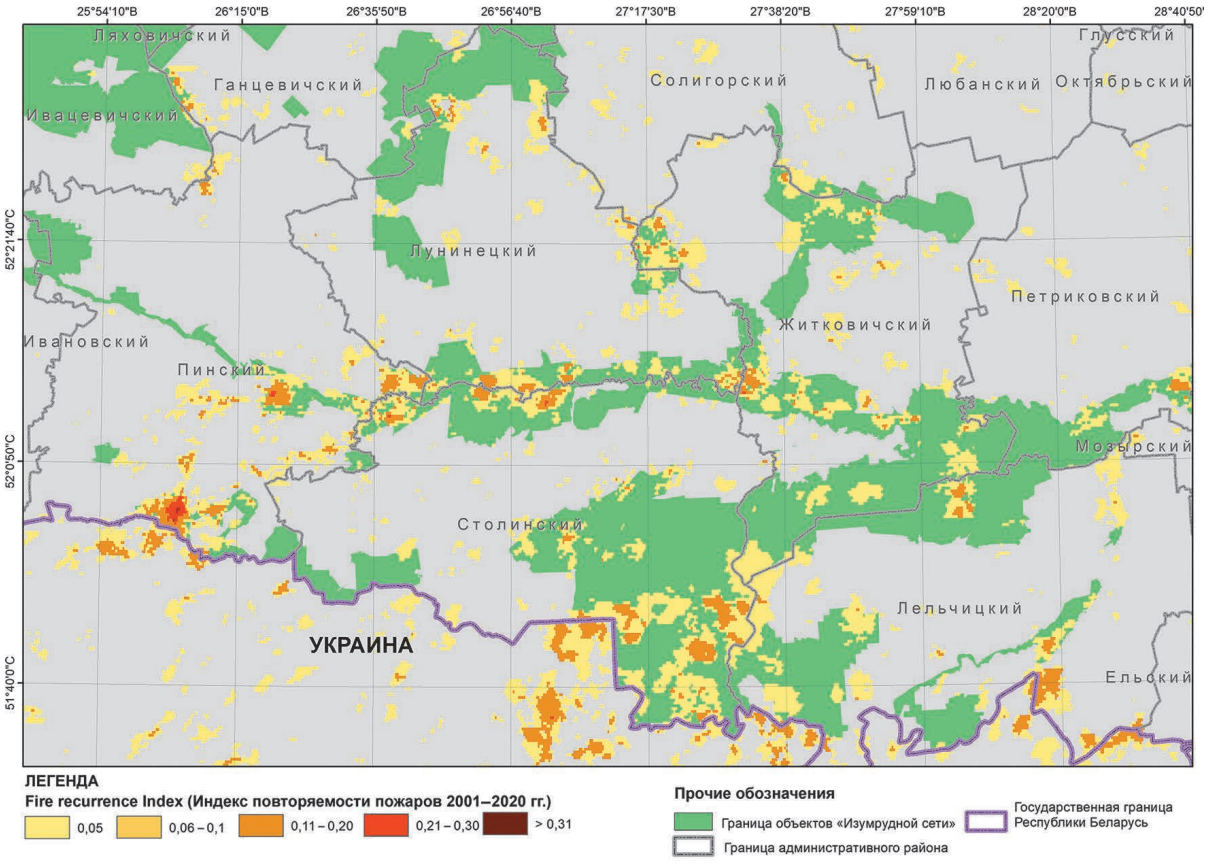


Рис. 6.44. Фрагмент карты пространственного распределения значений Fire Recurrence Index в пределах Республики Беларусь (районы Припятского Полесья и приграничные украинские территории)

с пространственным разрешением 30 м (*Hansen [et al.], 2013*), а также цифровая карта растительности болот, отображающая в том числе и постпирогенные растительные сообщества (*Груммо [и др.], 2021*).

3. *Выявление типов экосистем, подвергшихся воздействию природных пожаров.* Для этих целей использовалась серия крупномасштабных карт растительного покрова 2 модельных полигонов общей площадью 92,93 тыс. км^2 (42,3 % площади страны) в пределах северной и центральной (тестовая территория № 1, площадь 87,18 тыс. км^2) и южной (тестовая территория № 2, площадь 5,75 тыс. км^2) частей страны.

Средствами ГИС картографические данные космического мониторинга пожаров сопоставлялись с картами растительности тестовых участков и рассчитывались выгоревшие площади для различных типов экосистем.

4. *Увязка на панели ГИС производных картографических продуктов с опорными территориальными единицами анализа (административный район, особо охраняемая природная территория).*

5. *Комплексная пространственная и статистическая обработка спутниковых, тематических и картографических продуктов средствами ГИС.* Для каждой опорной территориальной единицы рассчитывались частота и площади пожаров (по месяцам и годам), а также статистические показатели. Расчеты производились с помощью стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS 10.7 и MS Excel.

По данным MCD64A1 за период 2001–2020 гг. зафиксировано 10,5 тыс. природных пожаров на площади 888,9 тыс. га (4,3 % территории Беларуси). Наибольшее количество природных пожаров и выгоревших площадей выявлено в 2002 г. (1679 случаев – 184,8 тыс. га), 2003 г. (380 пожаров – 72,3 тыс. га), 2006 г. (673 пожара – 71,4 тыс. га), 2016 г. (116 эпизодов – 66,8 тыс. га), 2015 г. (1358 пожаров – 92,9 тыс. га) и 2020 г. (505 случаев – 50,8 тыс. га). Средняя площадь пожара составила 148,0 ± 5,4 га (табл. 6.8). Наиболее крупный по площади (23,7 тыс. га) природный пожар произошел в период с 24 по 31 марта 2006 г. и охватывал территории 3 смежных административных районов Гомельской области (Калинковичский, Хойникский, Речицкий районы).

Таблица 6.8. **Сведения о прохождении природных пожаров на территории Беларуси в 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)**

Год	Количество пожаров	Общая выгоревшая площадь, га	Статистические параметры выгоревшей площади каждого эпизода пожара, га			
			M	±m	σ	max
2001	267	17 081,3	97,4	9,9	161,7	1224,6
2002	1679	184 791,0	177,9	17,6	719,8	14 569,9
2003	380	72 310,5	288,1	25,1	489,2	4434,6
2004	230	20 160,6	138,1	11,4	173,4	1105,0

Окончание табл. 6.8

Год	Количество пожаров	Общая выгоревшая площадь, га	Статистические параметры выгоревшей площади каждого эпизода пожара, га			
			M	±m	σ	max
2005	451	40 588,0	116,0	8,3	175,4	1070,1
2006	673	71 384,4	115,0	36,8	954,3	23 674,4
2007	277	20 583,3	101,4	7,2	119,1	750,5
2008	585	41 822,1	105,4	7,2	174,3	1562,8
2009	571	37 266,5	82,1	5,2	124,6	1250,3
2010	244	13 083,2	92,1	9,6	149,8	964,5
2011	117	5887,9	95,0	14,2	153,7	879,9
2012	633	43 398,2	177,9	16,2	407,7	3309,5
2013	171	11 327,4	169,1	20,0	260,9	1316,2
2014	1066	66 807,7	172,2	10,5	342,9	3036,5
2015	1358	92 867,4	158,2	14,9	549,3	10 334,4
2016	116	7141,8	115,2	16,6	178,9	800,9
2017	110	6273,2	104,6	13,7	143,5	888,9
2018	345	50 565,6	218,9	55,7	1034,0	14 898,5
2019	756	34 748,8	107,6	7,5	207,5	1966,5
2020	505	50 821,4	249,1	29,4	659,7	7494,1
За период	**10 534**	**888 910,3**	**148,0**	**5,40**	**553,9**	**23 674,4**

Примечание. M – средняя величина, m – ошибка средней величины, max – максимальная величина, σ – стандартное отклонение.

В целом следует особо обратить внимание на южную часть Беларуси, где в результате осушительной мелиорации в сочетании с экстремальными погодно-климатическими условиями сформировался пожароопасный пояс, который требует проведения комплекса мероприятий, прежде всего по восстановлению гидрологического режима в нарушенных экосистемах. Также весьма напряженная пирологическая обстановка сложилась в юго-восточных районах Беларуси, подверженных радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС (Брагинский, Хойникский, Костюковичский, Краснопольский районы). Пожары в этом регионе приводят к локальному вторичному радиоактивному загрязнению (рис. 6.45).

Анализ результатов исследований (рис. 6.46, 6.47) показал, что площадь ООПТ, пройденная пожарами за последние 20 лет, составляет 342,1 тыс. га (38,5 % от общей площади пожаров). Наибольшие площади поврежденных пожарами на объектах природно-заповедного фонда выявлены в 2002 г. (83,0 тыс. га), 2012 г. (21,4 тыс. га), 2014 г. (25,1 тыс. га), 2015 г. (35,3 тыс. га) и 2020 г. (28,9 тыс. га).

Рейтинг наиболее пожароопасных территорий возглавляют заказники республиканского значения «Средняя Припять» (сумма площадей

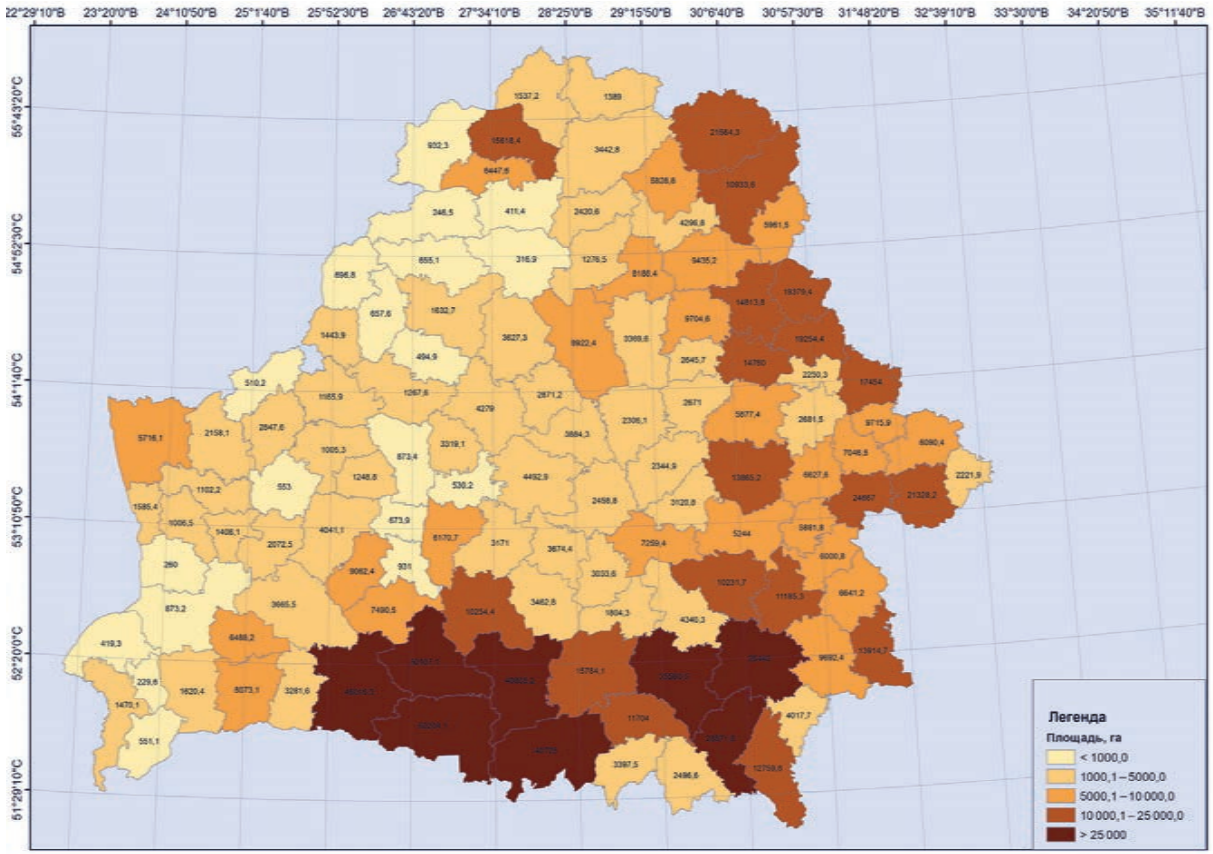


Рис. 6.45. Распределение площадей экосистем, поврежденных пожарами в 2001–2020 гг. по административным районам Беларуси (по данным MCD64A1)

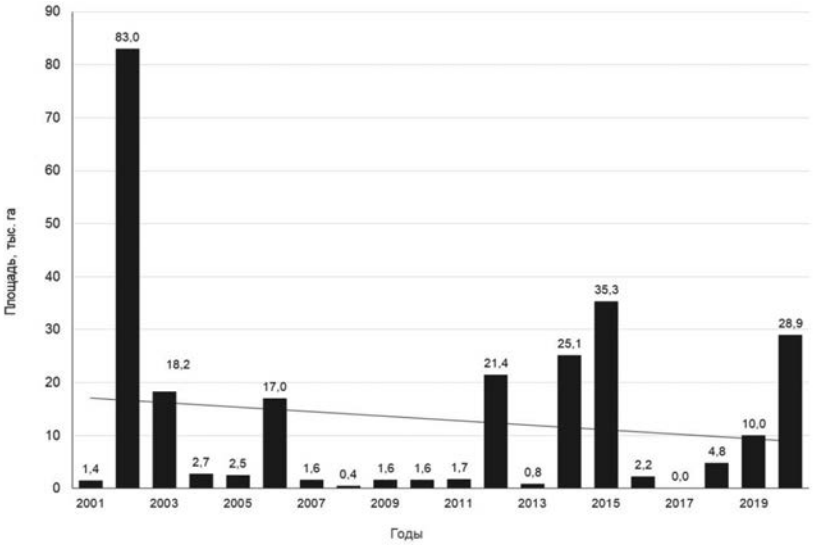


Рис. 6.46. Динамика пожаров на особо охраняемых природных территориях Беларуси за период 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

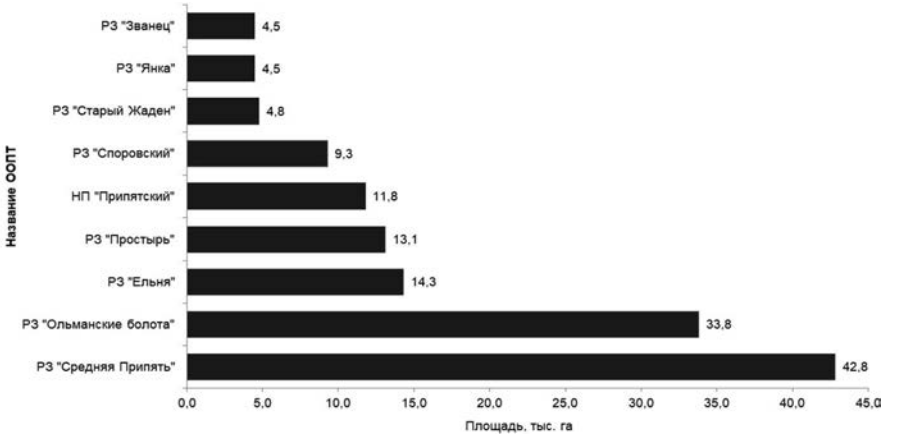


Рис. 6.47. Распределение выгоревших площадей на особо охраняемых природных территориях (приводится для наиболее пострадавших от природных пожаров ООПТ) за период 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)

за 2001–2020 гг. – 42,8 тыс. га), «Ольманские болота» (33,8 тыс. га), «Ельня» (14,3 тыс. га), «Простырь» (13,1 тыс. га), Национальный парк «Припятский» (11,8 тыс. га).

Наиболее крупные пожары в последние 20 лет были отмечены на территории Республиканского заказника «Ельня» (05.09–26.09.2002 г.) – 14,0 тыс. га, Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (10.06–22.06.2015 г.) – 10,3 тыс. га, Республиканского заказника «Ольманские болота» (01–13.09.2015 г.) – 8,8 тыс. га.

Анализ табл. 6.9 и 6.10 показал, что за 20-летний период наблюдений большая часть выгоревших площадей (91,6 %) подверглась воздействию природных пожаров 1 раз; 8,2 % площадей выгорало 2–4 раза. Менее 0,2 % подвергались выгоранию до 7 раз.

Результаты совместного анализа данных спутникового мониторинга на основе продукта MCD64A1 и карт растительности тестовых участков позволил сопоставить выгоревшие площади и преобладающие типы экосистем. Следует отметить, что тенденции по различным секторам Беларуси не являются одинаковыми, что, на наш взгляд, связано с практикой землепользования, а также особенностями структуры растительного покрова.

В северном (Витебская область, частично Могилевская область) и центральном (частично Минская область) секторах Беларуси основная доля возгораний характерна для агроэкосистем (52,4 %) и лесов (32,6 %). На долю болот и производных внепойменных лугов приходится соответственно 5,5 % и 4,7 % выгоревших площадей.

В южном тестовом участке (Столинский район Брестской области, Житковичский, Лельчицкий, Петриковский районы Гомельской области) наиболее значительные площади выгорания приходятся на лесные (36,3 %) и болотные экосистемы (32,9 %). Доля пахотных земель составляет 11,9 % выгоревших площадей, кустарниковых зарослей – 7,5 %, пойменных лугов – 6,4 %, нарушенных торфяников – 3,7 %.

Оценка точностей определения площадей выгоревших участков по различным спутниковым продуктам приведена в табл. 6.10. Расчет площадей выгоревших территорий на основе динамики индексов NDVI, NBR, BAI и данных продукта MCD64A1 показал сходство моделей в среднем 91,6 % (пределы по тестовым участкам от 88,1 до 97,8 %). Точность классификации по 2 классам (выгоревшая территория, фон) в сравнении с данными, полученными на основе обработки данных спутников более высокого пространственного разрешения, составила в среднем 81,7 % (пределы 79,8–100 %). В целом площади пожаров < 250 га фиксируются со значительной погрешностью (точность в среднем составляет 19,6 %), что ограничивает возможность использования продукта MCD64A1 для локального и регионального мониторинга при незначительных площадях повреждения пожарами.

Таблица 6.9. **Распределение площадей выгоревших участков по частоте возгораний в 2001–2020 гг. (по данным карты распределения значений Fire Recurrence Index)**

Частота возгораний за 2001–2020 гг.	Площадь	
	га	%
1	814 291,8	91,6
2–3	72 953,5	8,2
4–6	1616,5	0,2
>6	48,5	<0,1
Всего	**888 910,3**	**100,0**

Таблица 6.10. **Площади выгоревших участков тестовых территорий, рассчитанные по различным продуктам на основе данных космического мониторинга 2001–2020 гг. (по данным MCD64A1)**

Тестовая территория	Сравнение определения площадей выгоревших в 2001–2020 гг. участков по различным спутниковым продуктам, га		Общая точность определения выгоревших территорий, %		
	Модель на основе динамики индексов NDVI, NBR, BAI, рассчитанные по данным спутника Landsat	Продукт MCD64A1	Число контрольных точек	Число точно определивших	Общая точность
ЛБК «Ольманские болота»	30 967,5	34 504,2	531	424	79,8
ЛБК «Ельня»	12 629,1	14 093,5	330	278	84,2
ЛБК «Болото Мох»	786,8	847,9	19	19	100,0
ЛБК «Долбенишки»	3884,9	4408,8	120	96	80,0
Итого	**48 268,3**	**52676,9**	**1000**	**817**	**81,7**

6.4.3. Потери лесов

6.4.3.1. Потери лесов в результате рубок леса

Выявление новых лесосек проводится путем сравнения свежих данных космической съемки со снимками годичной (и более) давности (рис. 6.48–6.51).

Лесосеки на снимках выглядят как объекты повышенной яркости на фоне более темного нетронутого леса. Основное отличие лесосек от похожих объектов – пожаров и ветровалов – состоит в наличии связанной инфраструктуры (лесовозные дороги, погрузочные площадки, магистральные и пасечные волоки) (*Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009*).

Главным признаком, по которому лесосеки разделяются на классы выборочных и сплошных рубок, выступает текстура. Если для сплошных вырубок характерна практически полная ее 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 волоки (технологические коридоры). Так, на снимках SPOT (разрешение 10 м) различимы лишь самые наезженные волоки, 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 (рис. 6.50, 6.51).

Другими важными отличительными признаками для разделения выборочных и сплошных рубок выступают яркость и форма объектов. Сплошные вырубки обычно имеют правильную прямоугольную форму.

Исключение могут составлять санитарные рубки, например после пожара. Яркость сплошных свежих вырубок, как правило, велика за счет большого процента открытой почвы.

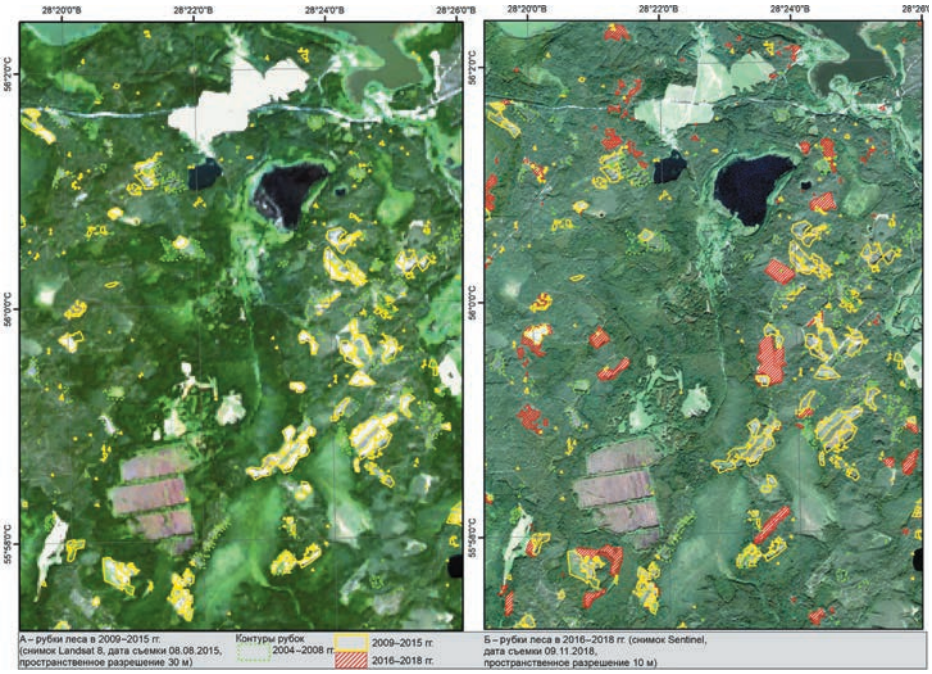


Рис. 6.48. Пример визуального выявления рубок леса на основе сопоставления разновременных спутниковых снимков

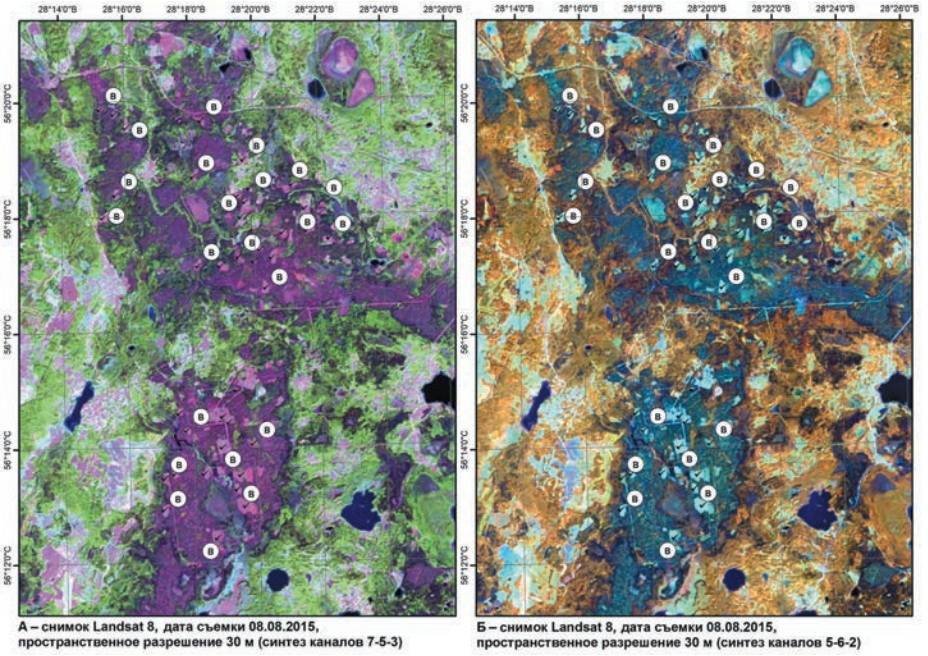
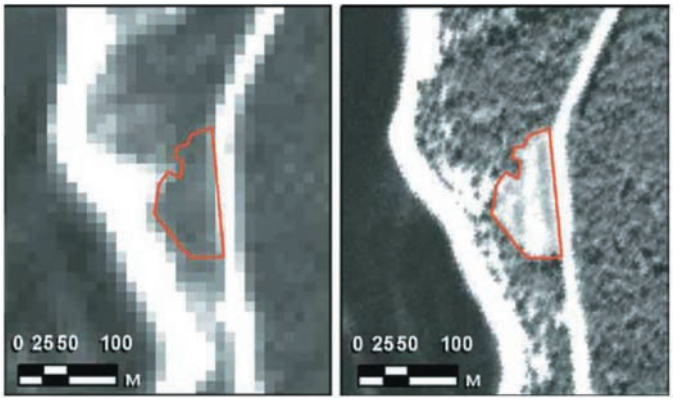
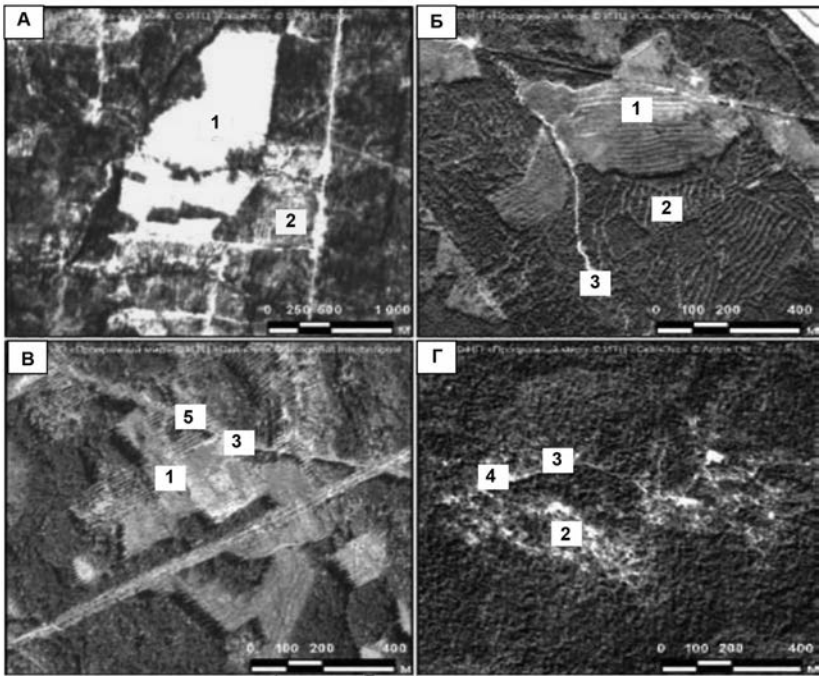


Рис. 6.49. Варианты синтеза цветных изображений многозонального космического снимка Landsat-8 для визуального определения сплошных рубок



а *б*

Рис. 6.50. Пример выявления рубок леса (по данным *Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009*):
а – снимок SPOT 2 MONO, февраль 2007 г., пространственное разрешение 10 м;
б – снимок IRS-P5 PAN, май 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м



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

Рис. 6.51. Примеры сплошных и выборочных рубок на снимках различного пространственного разрешения (по данным *Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009*):
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., разрешение 2,5 м

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 (синтеза цветного изображения (рис. 6.52), расчетов вегетационных индексов (рис. 6.53), 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 съемки, выраженности рельефа, освещенности 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. Оценка площади по спектрозональным изображениям с пространственным разрешением 1–10 м дает систематическую погрешность не более 5 %. Применение снимков с КА Ikonos показывает результаты, сравнимые с результатами, полученными при использовании аэрофотоснимков масштаба 1 : 10 000 (табл. 6.11).

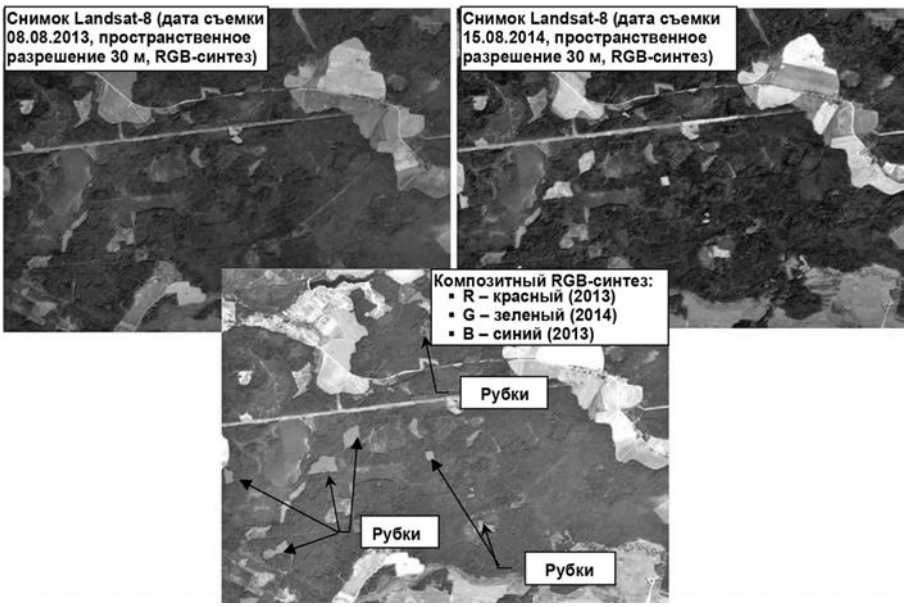


Рис. 6.52. Пример обнаружения сплошных рубок с использованием цветового синтеза разновременных снимков

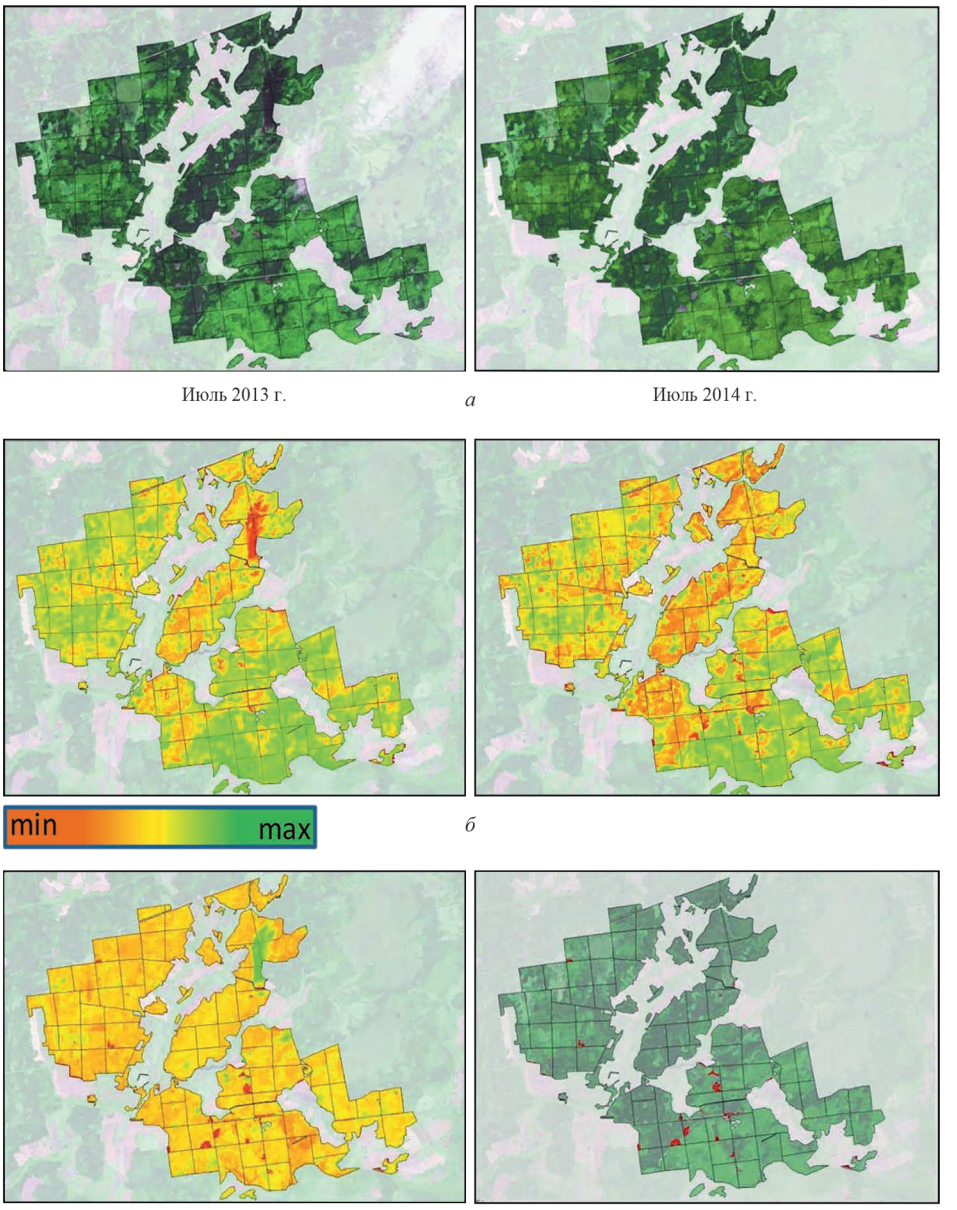


Рис. 6.53. Примеры выделения сплошных рубок с использованием метода разности вегетационных индексов: *а* – подбор разновременной космической съемки (синтезированный снимок Landsat-8, синтез RGB) и увязка с материалами лесоустройства; *б* – нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI); *в* – разница NDVI 2014/2013 гг.; *г* – идентификация вырубок (выделены красным фоном)

Таблица 6.11. **Точность определения параметров вырубок 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	15 (pan)	4,9	18

6.4.3.2. 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 [и др.], 2006*).

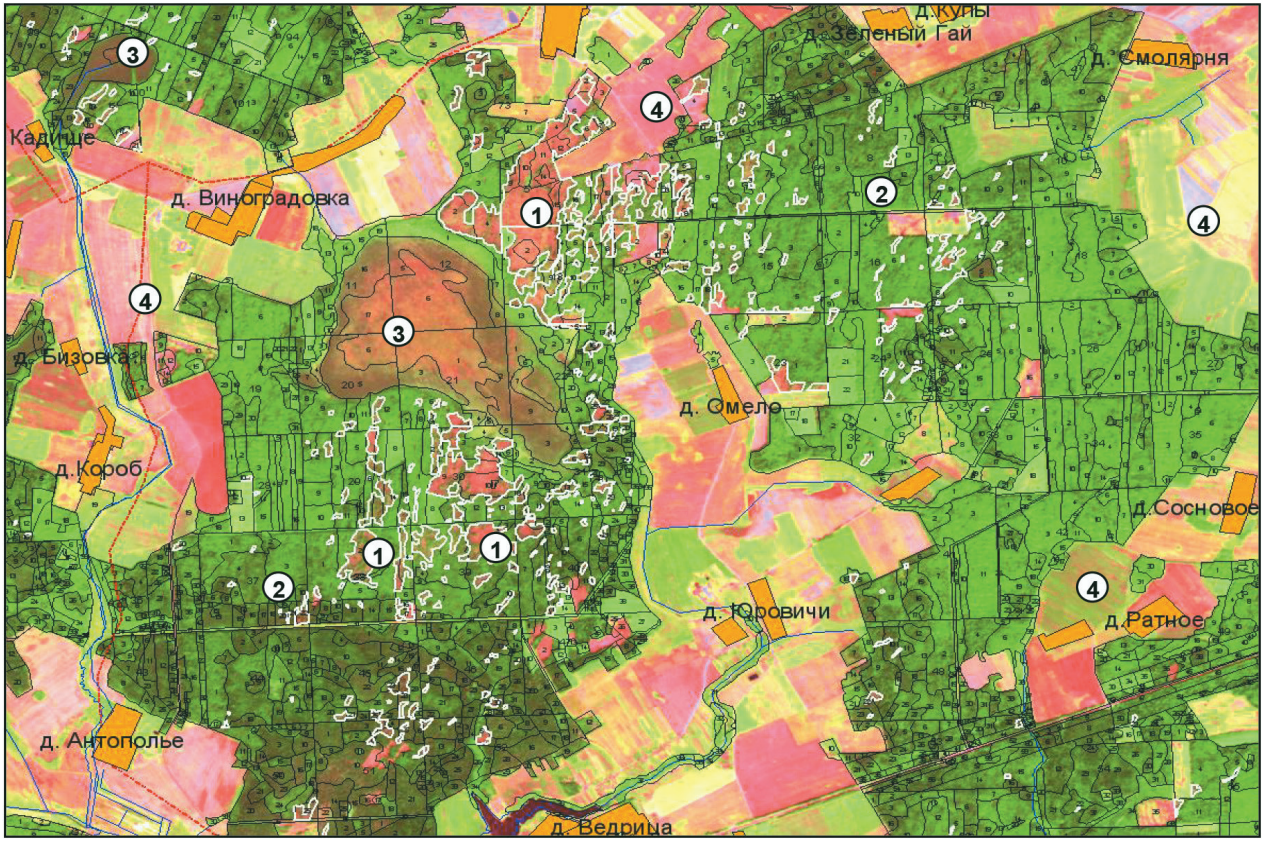
Массовая гибель лесных насаждений часто бывает связана с воздействием шквалистых или ураганных ветров. При их обследовании наиболее точно ущерб от воздействия ураганных ветров может быть определен при дешифрировании аэрофото- или космических снимков высокого разрешения.

Свежие погибшие насаждения довольно хорошо определяются при дешифрировании аэрофотоснимков или космических снимков высокого разрешения. Например, на синтезированном космоснимке ALOS AVNIR (рис. 6.54) изображены буреломные участки через 1,5 месяца после урагана. За этот период листва поваленных и сломанных деревьев изменила окраску, красноватый цвет изображения хорошо отличается от непострадавших 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 аэрофотоснимков или космических снимков высокого разрешения.

На рис. 6.55 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.

В качестве классификатора приемлем алгоритм Random Forest, хорошо зарекомендовавший себя для решения задач классификации лесов (*Senf, Seidl, Hostert, 2017; Королева [и др.], 2018*). Алгоритм основан на большом числе



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

Рис. 6.54. Изображение участков ветровала на синтезированном космическом снимке
(Червенский район, материалы космической съемки ALOS AVNIR, дата съемки 19.07.2009 г.)

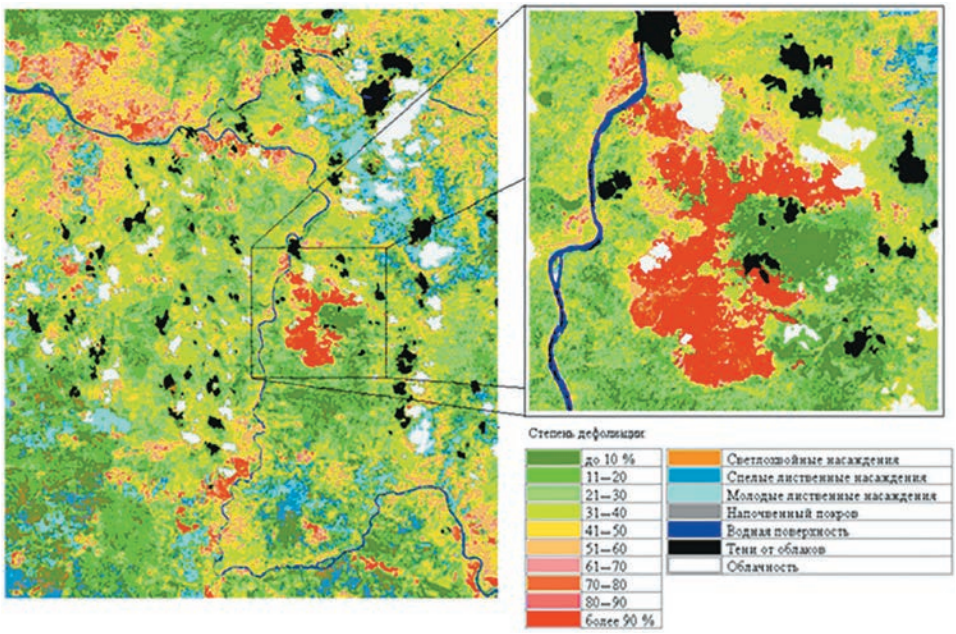


Рис. 6.55. Автоматизированная классификация спутниковых снимков с целью определения площадей пострадавших лесов от массового размножения насекомых-вредителей (*Биоразнообразие и функционирование..., 2021*)

(ансамбле) деревьев решений, когда при построении каждого дерева используется фиксированное число случайно отбираемых признаков обучающей выборки. При создании обучающей выборки берутся эталонные участки на основе данных наземных исследований или на основе экспертной оценки результатов визуального дешифрирования разносезонных снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Для классификации снимков Landsat алгоритмом Random Forest используются наиболее информативные спектральные диапазоны – красный (R), ближний (NIR) и средний инфракрасный (SWIR). Достоверность результатов классификации оценивается по контрольной выборке на основе матрицы перепутывания (или матрицы ошибок классификации) (*Биоразнообразие и функционирование..., 2021*).

На рис. 6.56 представлен фрагмент авиаснимка с изображением погибших лесов, пострадавших 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, распространение фитовредителей (рис. 6.57).

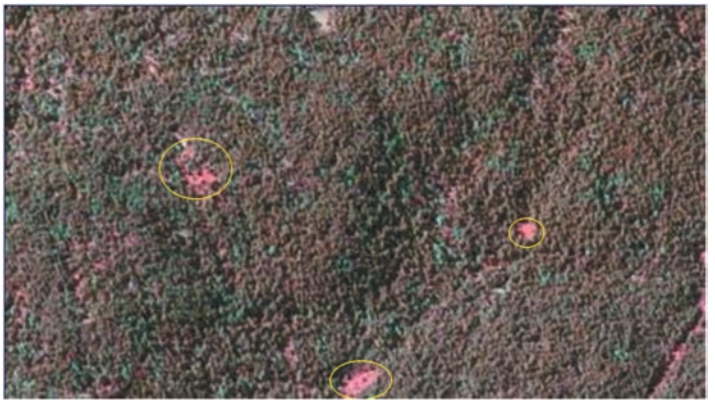


Рис. 6.56. Фотоизображение погибших лесов при массовом размножении рыжего соснового пилильщика в Национальном парке «Нарочанский»

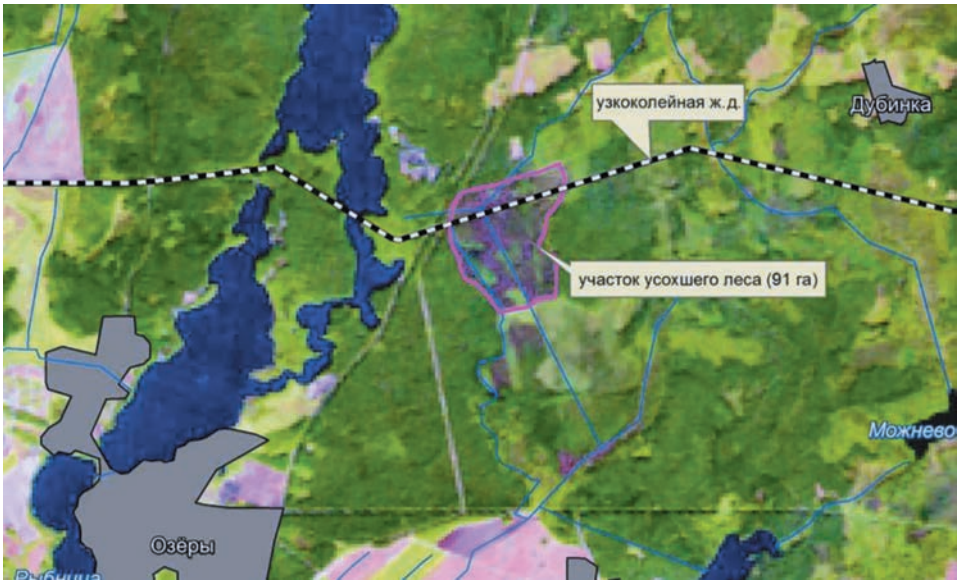


Рис. 6.57. Пример выявления погибших насаждений вследствие нарушения функционирования узкоколейной железной дороги (территория Республиканского заказника «Озеры», материалы космической съемки Landsat-7, дата съемки 14.06.2012 г.)

6.4.3.3. Автоматизированное картографирование нарушений лесного покрова

В основу картографической оценки динамики лесного растительного покрова Беларуси положены результаты исследований лесов Восточной Европы за 1985–2012 гг., размещенные в открытом доступе (Global Land Analysis). Авторами разработан оригинальный алгоритм (рис. 6.58, 6.59) обработки снимков и создания временных серий изображений, который

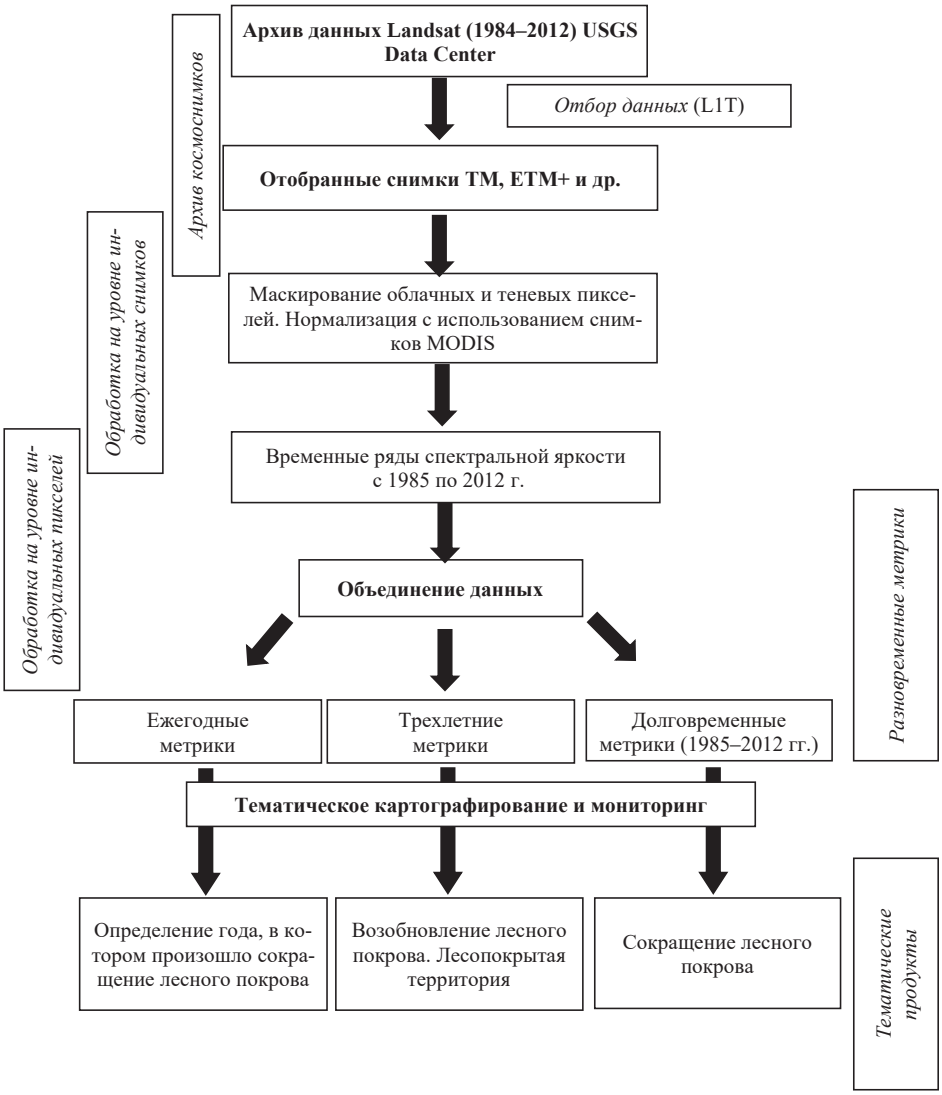


Рис. 6.58. Общая технологическая схема картографирования динамики лесного растительного покрова по спутниковым данным Landsat (*Турубанова [и др.], 2017*)

позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и увеличение (*Турубанова [и др.], 2017; Potapov [et al.], 2014*).

Для предварительной оценки интенсивности повреждения лесов можно использовать данные Global Forest Change – веб-инструмента для изучения динамики лесного покрова.

Идея выявления нарушений основана на анализе изменения спектрально-отражательной характеристики лесного покрова до и после повреждения древостоя. Автоматически определяется пороговое значение спектральной

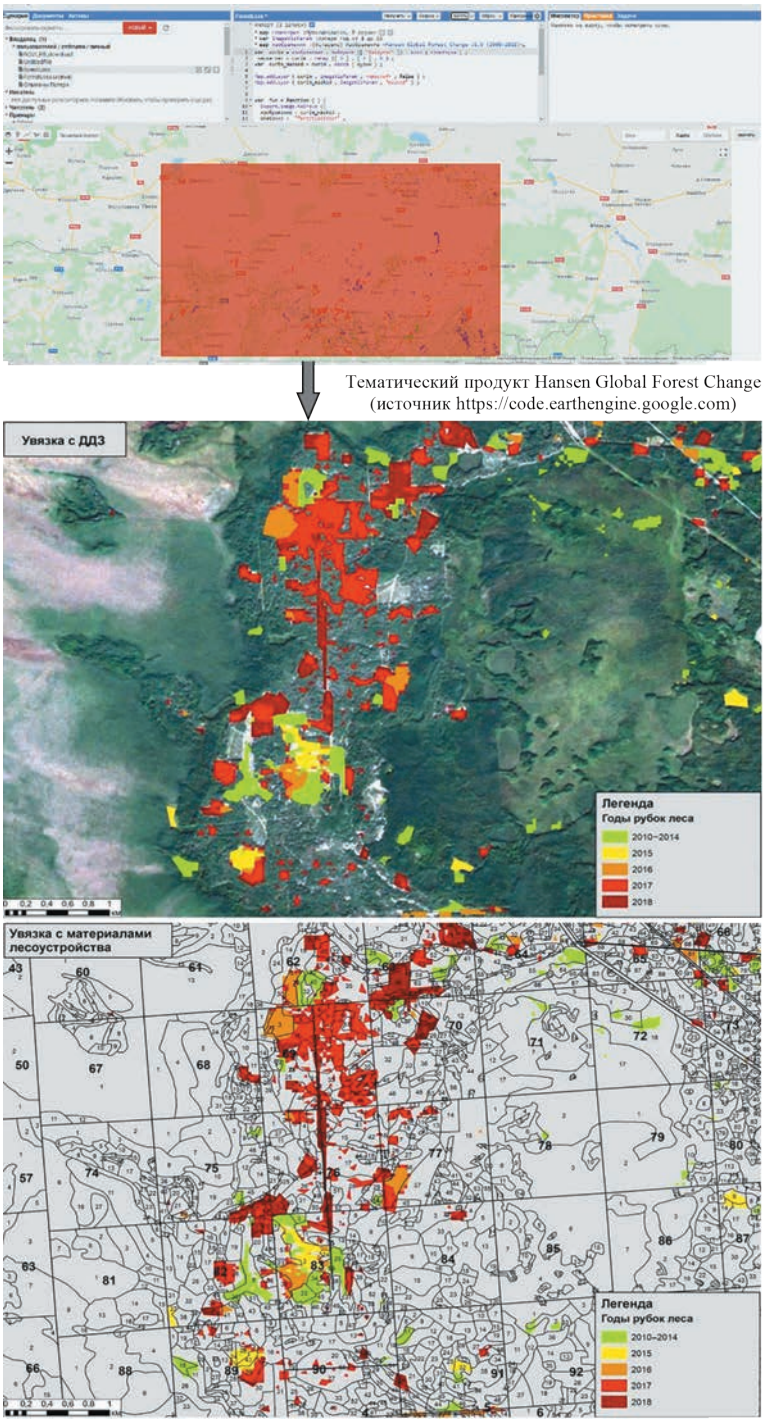


Рис. 6.59. Увязка материалов проекта Global Forest Change с материалами лесоустройства и данными дистанционного зондирования

яркости леса, которое характеризует переход от здорового его состояния в погибшее (пожар, ветровал, усыхание зеленых крон деревьев в результате размножения насекомых) или отсутствие древостоя (вырубка) на снимках более позднего периода съемки. Для анализа использовались снимки Landsat, полученные из глобального архива и выбранные только в пределах вегетационного сезона. В основу исследований положены методы и алгоритмы обработки данных, которые приводятся в ряде публикаций (*Девятова, Ершов, 2005; Миртова, Ершов, Мягкова, 2013; Ершов [и др.], 2004*).

Оценка точности тематического продукта (точность производителя) для выделенных авторами категорий динамики лесного растительного покрова составила (*Турубанова [и др.], 2017*): а) сокращение лесного покрова 1985–2000 гг. – 90,0 %; б) сокращение лесного покрова 2000–2012 гг. – 88,2 %; в) восстановление лесного покрова (после сокращения 1985–2012 гг.) – 96,9 %; г) восстановление лесного покрова (внутри нелесных территорий 1985 г.) – 75,2 %.

Упомянутые результаты картографирования динамики лесного покрова были нами дополнены данными за период 2013–2020 гг. (рис. 6.60). Исследования выполнены с использованием метода построения и обработки сезонных безоблачных композитных изображений (*Турубанова [и др.], 2017; Белова, Ершов, 2010, 2011; Гаврилюк, Ершов, 2012*). Модель была обучена с использованием оценки сомкнутости крон деревьев. Порог сомкнутости крон использовался ранее для картографирования лесопокрытой площади и был рассчитан с учетом наилучшего соответствия полученной площади

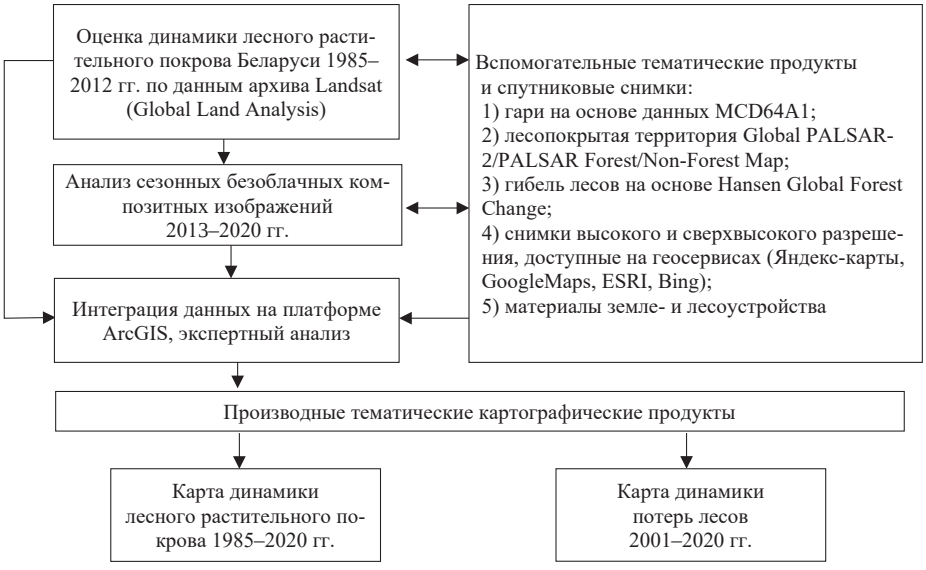


Рис. 6.60. Алгоритм изучения динамики лесного растительного покрова Беларуси по данным дистанционного зондирования с 1985 по 2020 г.

результатам официального лесного учета (*Potapov, Turubanova, Hansen, 2011*; *Potapov [et al.], 2014*). Пиксели с сомкнутостью крон > 49 % были отнесены к лесопокрытым (*Турубанова [и др.], 2017*).

Метод классификации с обучением применялся для картографирования нарушений лесного покрова. Для определения года изменений использовались временные ряды изменения вегетационного индекса NDVI, построенные на основе ежегодных метрик (*Турубанова [и др.], 2017*). Возобновление лесного покрова было определено при сравнении с состоянием на 2012 г. (*Турубанова [и др.], 2017; Potapov [et al.], 2014*). Использовались также данные специальных тематических продуктов (Global PALSAR-2/PALSAR Forest/Non-Forest Map (*Shimada [et al.], 2014*), Hansen Global Forest Change (*Hansen, Loveland, 2012; Hansen [et al.], 2013*), MCD64A1 (*Giglio [et al.], 2018*).

В результате синтеза разнообразной аналитической информации на платформе ArcGIS были составлены (см. рис. 6.60) крупномасштабные (М 1 : 100 000) карты: а) динамики лесного покрова Беларуси за период 1985–2020 гг.; б) потери лесов Беларуси за период 1985–2020 гг. При оценке нарушений лесного покрова не проводилось разделения по типу (гари, ветровалы, вырубки, сплошные санитарные рубки в очагах повреждения насекомыми, вымочки).

Составленные цифровые карты могут обновляться в интерактивном режиме, а алгоритм позволяет строить оперативные аналитические карты динамического состояния лесного покрова. Тематический картографический продукт легко увязывается с другими материалами (лесоустроительными данными, границами особо охраняемых природных территорий и административных районов, водоохранных зон и т. д.), что позволяет создавать разнообразные тематические карты и анализировать их в различных сочетаниях для оценки структуры, состояния и динамики лесного растительного покрова.

Карта динамики лесного растительного покрова 1985–2020 гг. В качестве примера приведем результаты мониторинга изменения лесного растительного покрова Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), национальных парков «Нарочанский», «Беловежская пуща». Анализируя полученные данные (табл. 6.12, рис. 6.61, 6.62), следует отметить, что стабильные лесные земли в настоящее время занимают 83 944,1 га, или 38,8 % территории ПГРЭЗ; лесные земли, сформированные на ранее нелесных землях, – 47 776,2 га (22,1 %). Потери лесов (в результате ветровалов, пожаров и других неблагоприятных воздействий естественного и антропогенного происхождения) выявлены на площади 5742,3 га (2,7 %); потери лесов с последующим формированием лесной структуры (посадки лесных культур, естественное лесозаращивание) – 803,4 га (0,4 %). На незначительной площади лесного фонда (<0,1 %) выяв-

лены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и прироста леса, а также потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г. «Стабильные» нелесные земли занимают 77 851,9 га, или 36,0 % исследуемой территории.

Таблица 6.12. **Структура и динамика лесного покрова территории модельных особо охраняемых природных территорий**

Категория земель	Площадь	
	га	%
Полесский государственно радиационно-экологический заповедник (1985–2020 гг.)		
Стабильный лесной покров	83 944,1	38,8
Лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях	47 776,2	22,1
Потери лесов (в последние годы)	5742,3	2,7
Потери лесов с последующим ростом леса	803,4	0,4
Участки лесного фонда с чередованием потери и прироста леса	33,0	<0,1
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г.	31,1	<0,1
Земли с отсутствием или начальными стадиями лесообразовательного процесса	77 851,9	36,0
Национальный парк «Нарочанский» (1985–2018 гг.)		
Стабильный лесной покров	38 616,6	55,8
Леса, сформированные на ранее нелесных землях (по состоянию на 1985 г.)	4616,7	6,7
Потери лесов (2012–2018 гг.)	383,8	0,6
Потери лесов с последующим ростом леса	1834,0	2,6
Участки лесного фонда с чередованием потери и прироста леса	0,7	<0,1
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г.	0,1	<0,1
Земли с отсутствием или начальными стадиями лесообразовательного процесса	23 770,2	34,3

На территории Национального парка «Нарочанский» соотношение динамических категорий лесного покрова иное (см. табл. 6.12, рис. 6.62). Стабильные лесные земли в настоящее время занимают 38 616,6 га, или 85,0 % лесопокрытой площади. Это выше, чем в среднем по лесному фонду Минской области – 73,8 %, что, по-видимому, является результатом введения природоохранного режима. Леса, сформированные на ранее нелесных землях, занимают 4616,7 га (6,7 %), они приурочены к землям, выведенным из хозяйственного оборота, а также к почвам, ранее не бывшим под лесом (торфяные болота). Потери лесов последних лет (в результате ветровалов,

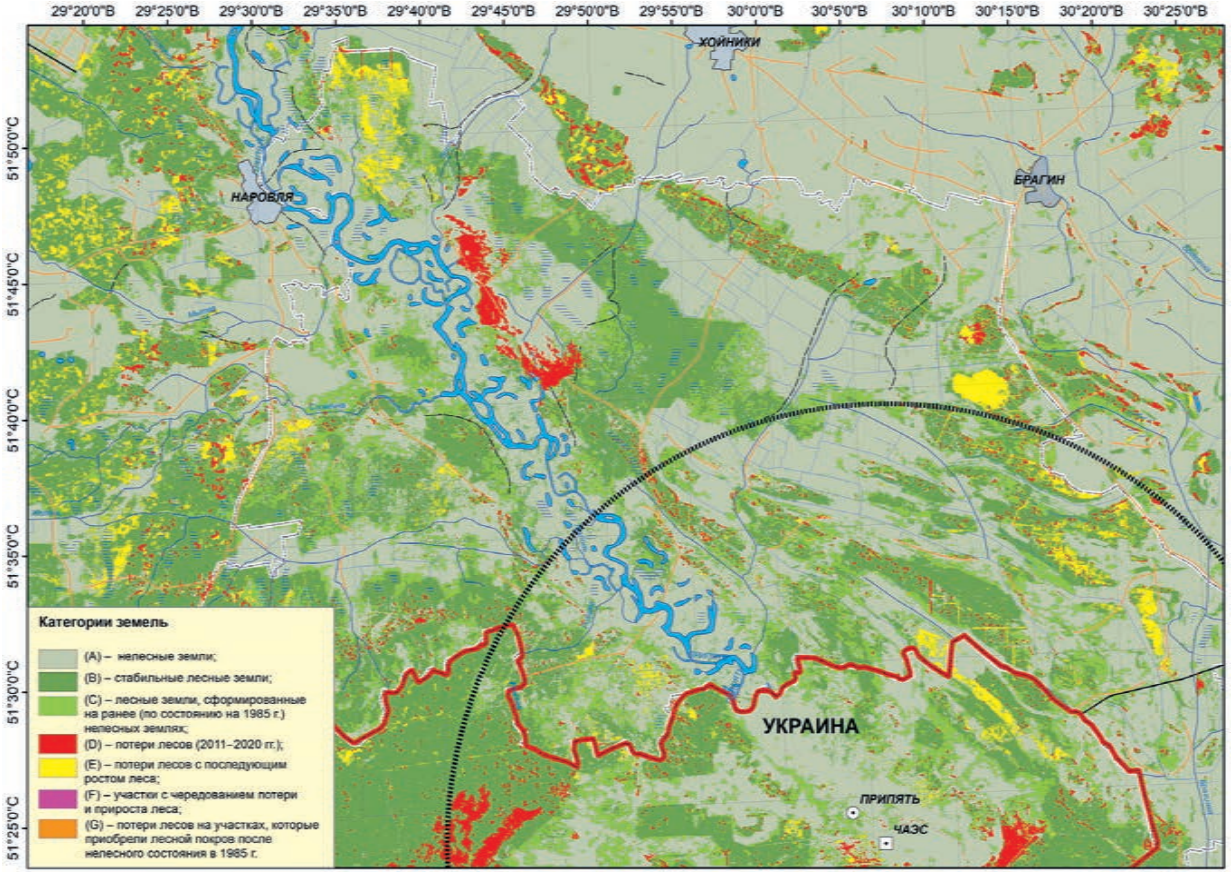


Рис. 6.61. Карта изменения лесного растительного покрова Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и прилегающих территорий за период 1985–2020 гг. (составлено по данным Global Land Analysis)

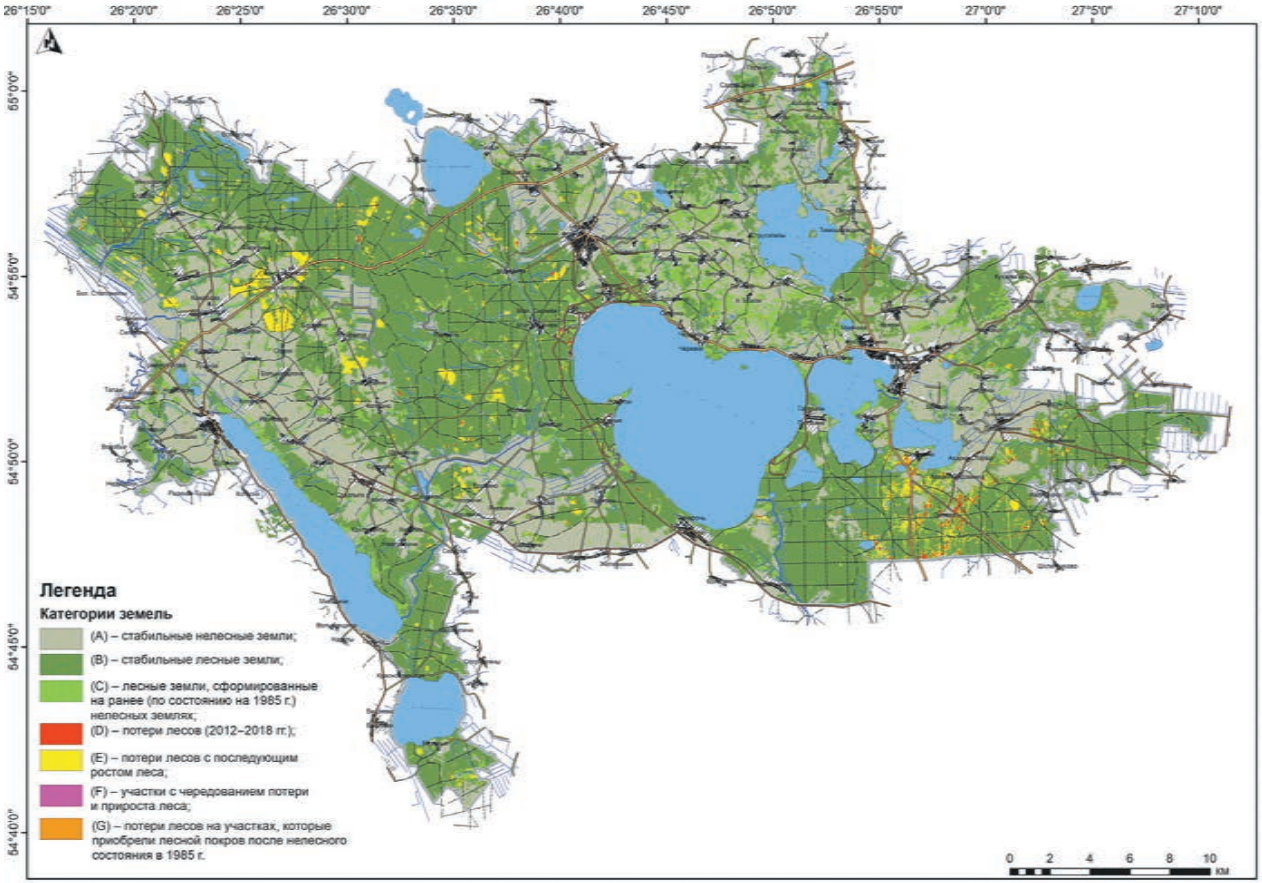
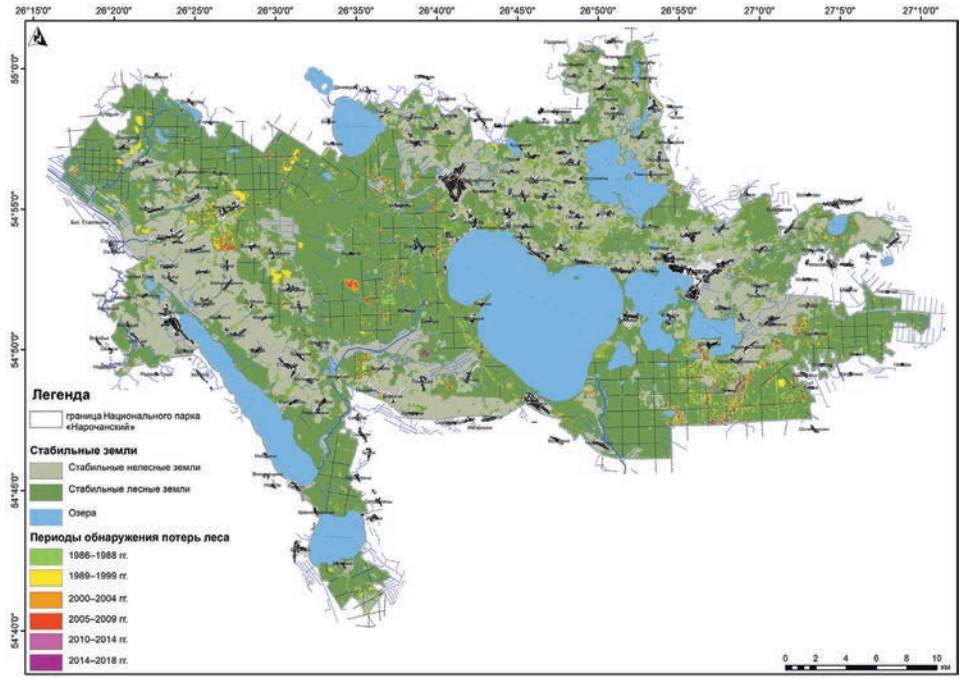
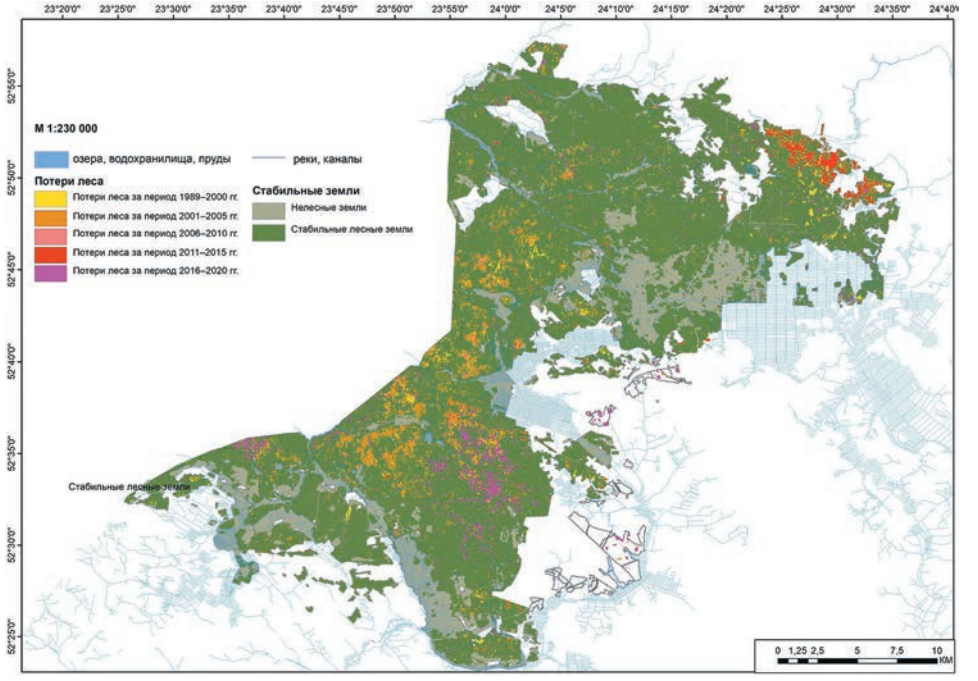


Рис. 6.62. Карта изменения лесного покрова территории Национального парка «Нарочанский» за период 1985–2018 гг.



Национальный парк «Нарочанский»



Национальный парк «Беловежская пуща»

Рис. 6.63. Карты потери лесов на особо охраняемых природных территориях

сплошных санитарных рубок, пожаров и других неблагоприятных воздействий естественного и антропогенного происхождения) выявлены на площади 383,8 га (0,6 %); потери лесов с последующим восстановлением лесного покрова (посадки лесных культур, естественное лесозаращивание) – 1834,0 га (2,6 %). «Стабильные» нелесные земли занимают 23 770,2 га, или 34,3 % общей площади.

На незначительной (<0,1 %) площади лесного фонда выявлены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и прироста леса, а также потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после «нелесного состояния» в 1985 г. (рис. 6.63, табл. 6.13).

Таблица 6.13. **Потери лесов на территории Национального парка «Нарочанский» (1986–2018 гг.) (составлено по данным Global Land Analysis (2022) и собственных исследований)**

Период, гг.	Общая площадь потери лесов за период, га	Среднегодовая площадь потери лесов за период, га/год
До введения природоохранного режима		
1986–1988	1744,9	581,6
1989–1999	1227,3	111,6
Итого	**2972,2**	**212,3**
После введения природоохранного режима		
2000–2004	203,9	40,8
2005–2009	307,5	61,5
2010–2014	246,0	49,2
2015–2018	96,9	24,2
Итого	**854,3**	**44,9**

Потери леса на территории Национального парка «Нарочанский» по данным спутниковой съемки Landsat поступательно снижались и по ревизионным периодам составили: 1744,9 га (1986–1988 гг.), 1227,3 га (1989–2000 гг.), 203,9 га (2000–2004 гг.), 307,5 га (2005–2009 гг.), 246,0 га (2010–2014), 96,9 га (2015–2018 гг.). При этом обращает внимание резкое снижение потерь леса с 2000 г., что является, с одной стороны, индикатором эффективности действующего природоохранного режима и прекращением проведения рубок главного пользования (с 1999 г.), с другой – результатом своевременного выполнения комплекса лесохозяйственных мероприятий профилактического характера (фитопатологический мониторинг, противопожарное обустройство и др.). В этот период потери лесов были связаны преимущественно с воздействием естественных факторов (усыхание хвойных лесов, пожары, ветровалы). В целом до создания национального парка (1986–1999 гг.) площади потери лесов составляли в среднем 212,3 га/год, а после введения режима ООПТ (2000–2018 гг.) – 44,9 га/год.

Потери леса на территории Национального парка «Беловежская пуща» по данным 35-летнего архива спутниковой съемки Landsat составили 10 083,1 га (325,3 га/год), в том числе по ревизионным периодам: 4249,1 га (1989–2000 гг.), 1493,8 га (2001–2005 гг.), 789,5 га (2007–2012 гг.), 1422,2 га (2011–2015 гг.), 2128,5 га (2016–2020 гг.) (табл. 6.14, см. рис. 6.63).

Таблица 6.14. **Потери лесов на территории Национального парка «Беловежская пуща» (1989–2020 гг.) (составлено по данным Global Land Analysis)**

Период, гг.	Общая площадь потери лесов за период, га	Среднегодовая площадь потери лесов за период, га/год
1989–2000	4249,1	354,1
2001–2005	1493,8	298,8
2006–2010	789,5	157,9
2011–2015	1422,2	284,4
2016–2020	2128,5	425,7
Итого	**10 083,1**	**325,3**

В заключение отметим, что результаты автоматической детекции перехода от здорового состояния в погибшее или отсутствие древостоя (вырубка) на основе данных дистанционного зондирования являются хорошим индикатором скрининга исследуемой территории на предмет наличия дигрессионных процессов в лесном покрове. Идентификация причин (пожар, ветровал, усыхание, вырубка), вызвавших изменение состояния лесной экосистемы, производится более детально с применением, например, снимков более высокого разрешения, косвенных признаков и показателей (яркость, форма объектов, текстура), а также наземных обследований.

6.4.4. Гидротехническая мелиорация

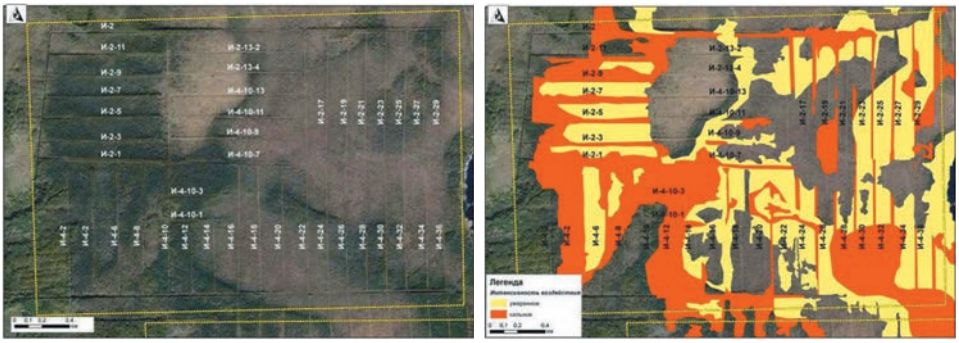
Влияние гидротехнической мелиорации достаточно хорошо прослеживается при детектировании растительных сообществ, нарушенных мелиорацией. Выделение зон влияния возможно методами *визуального* и *автоматизированного* дешифрирования.

При интерактивном редактировании 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 (рис. 6.64, *а*).

Также перспективными являются методы:

а) *неконтролируемой классификации* с последующей выборочной полевой проверкой (рис. 6.64, *б*; рис. 6.65);

б) *контролируемой классификации* синтезированного мультиспектрального изображения с использованием каталога эталонов мелиоративно-производных растительных сообществ (рис. 6.66, 6.67).



а *б*

Рис. 6.64. Дешифрирование зоны влияния гидротехнической мелиорации на территории ООПТ (Республиканский заказник «Жада»): *а* – космический снимок зоны влияния мелиорации; *б* – неконтролируемая классификация участков, подверженных мелиорации

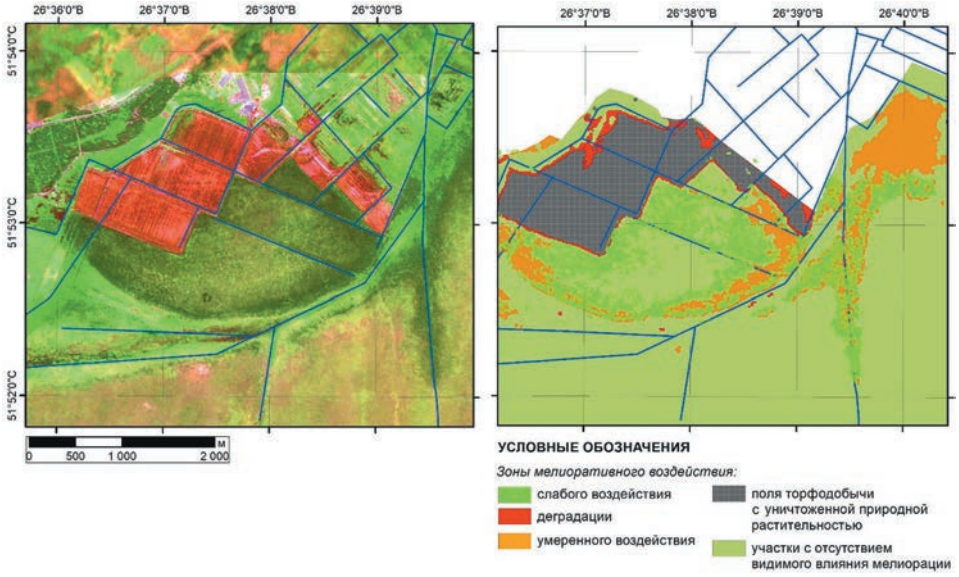


Рис. 6.65. Дешифрирование зоны влияния объектов гидротехнической мелиорации на территории болотного массива Морочно (Столинский район Брестской области, участок торфодобычи «Торфопредприятие Глинка») методом неконтролируемой классификации с выборочной полевой проверкой

Структура растительного покрова болот и заболоченных территорий также является индикатором зоны влияния мелиоративных каналов (рис. 6.68). На основе крупномасштабной карты растительности болот Беларуси (*Груммо [и др.], 2021*) нами определены мелиоративно-производные типы растительных сообществ, составлена карта их распространения. В результате исследований установлено, что площадь нарушенных мелиорацией

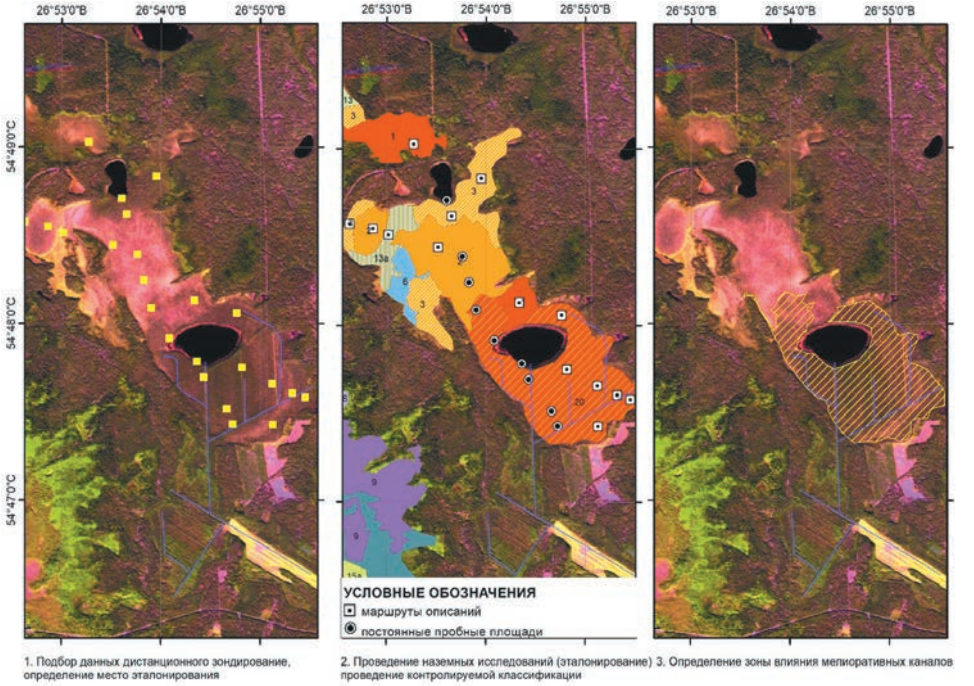


Рис. 6.66. Пример контролируемой классификации нарушенных болот с определением зоны влияния гидротехнической мелиорации

торфяников в границах объектов исследований составляет 323,7 тыс. га (29,3 % от общей площади исследованных), зона влияния мелиоративных систем составляет от 0,1 до 1,2 км.

Вместе с тем следует признать, что визуальное дешифрирование, а также методы контролируемой и неконтролируемой автоматизированной классификации не в полной мере позволяют оценить масштабы влияния гидротехнической мелиорации. Поэтому для более детальной оценки нами разработаны более чувствительные методы скрининга влияния осушения на природные экосистемы.

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

В своих теоретических предположениях мы исходили из того, 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.

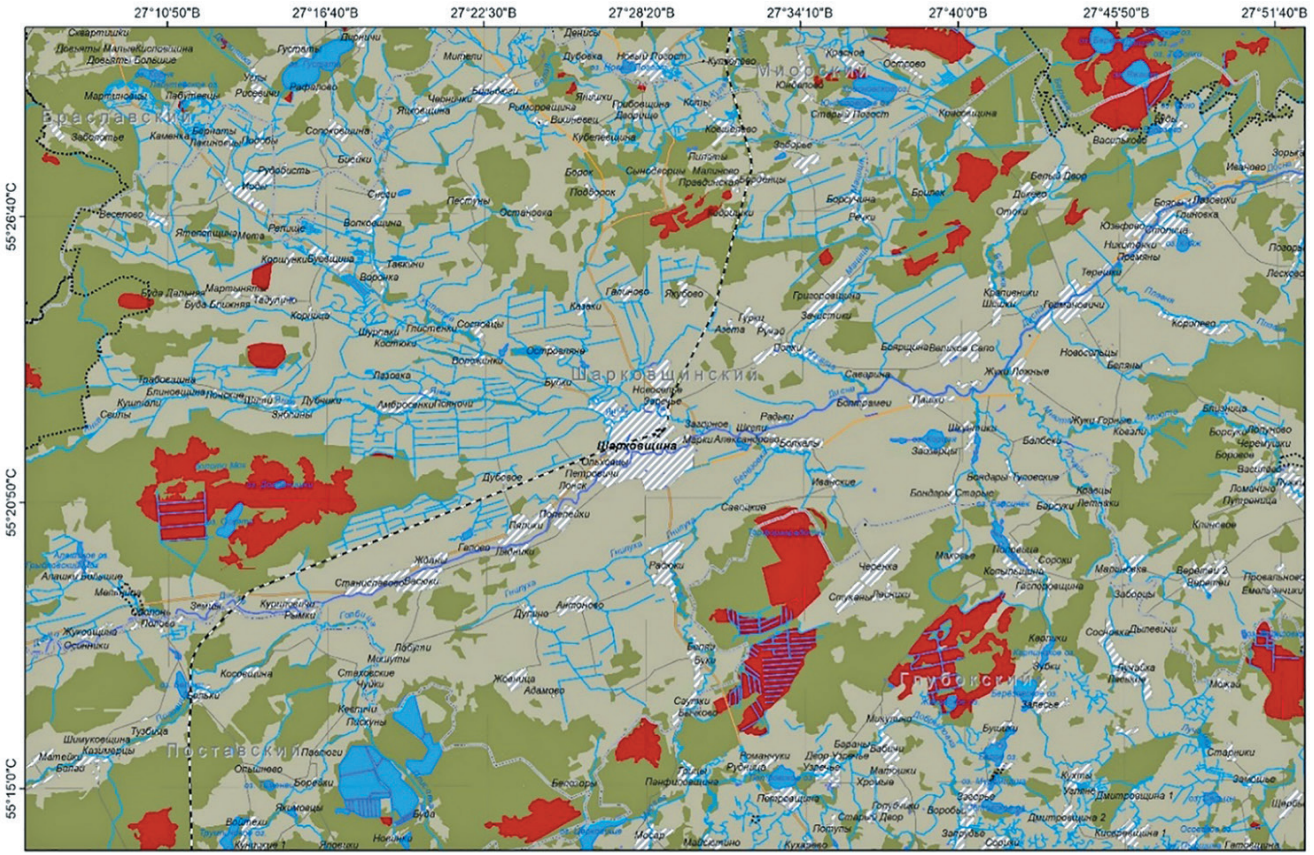


Рис. 6.67. Проведение автоматической контролируемой классификации нарушенных болот с определением зоны влияния гидротехнической мелиорации (Шарковщинский район Витебской области)

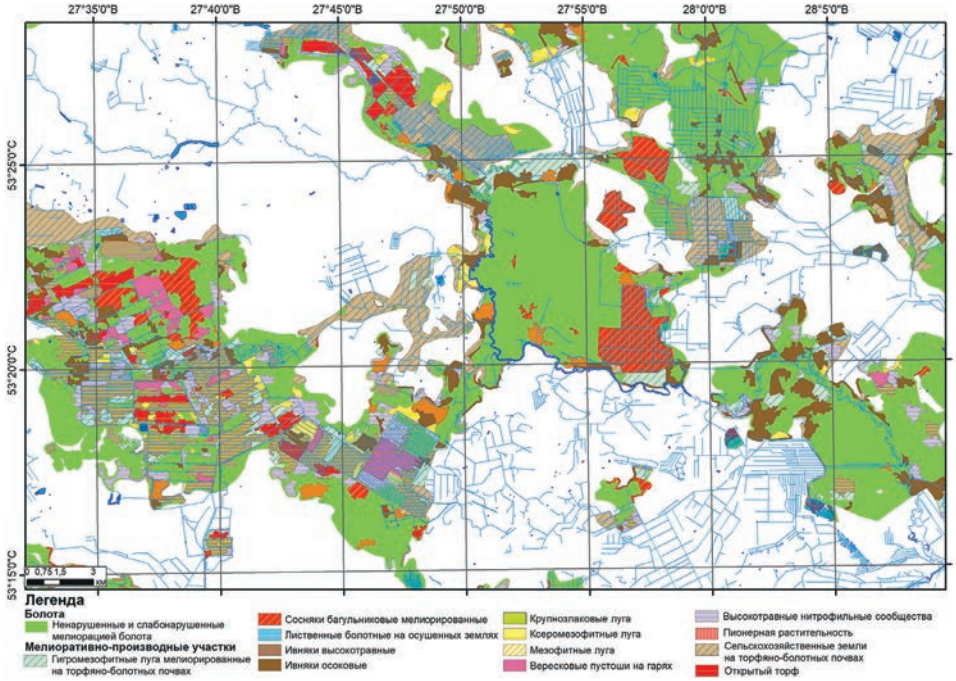


Рис. 6.68. Результат преобразования карты растительности болот Беларуси с выделением и определением зоны влияния гидротехнической мелиорации и типологической идентификации территории

Работа состояла из следующих этапов (рис. 6.69):

1. Для исследуемой территории создавался векторный слой «Торфяники» на сформированной мозаике космических снимков и доступной информации о расположении картируемых объектов. Отправной точкой для установления расположения торфяных болот и торфяников служила опубликованная информация (*Пидопличко, 1961; Торфяной фонд..., 1979*), в основе которой лежат первичные данные геологических отчетов по разведке торфяных месторождений и их паспортов. Для дешифрирования лесных торфяников применялись также материалы лесоустройства, проведенного РУП «Белгослес» в 2011–2019 гг.

2. Отбирались сцены (июль–август) за 2 периода (1984–1988 гг. и 2014–2018 гг.), для каждой сцены рассчитывался показатель NDVI и определялась маска облачности.

3. Из всех отобранных сцен формировался обобщенный растр, каждый пиксель которого включал 3 массива значений: NDVI, дата съемки, облачность.

4. Для выявления различий между периодами, для каждого пикселя исходного изображения формировались 2 выборки валидных (безоблачных) значений NDVI (по периодам), для которых рассчитывался *U*-критерий Манна–Уитни.

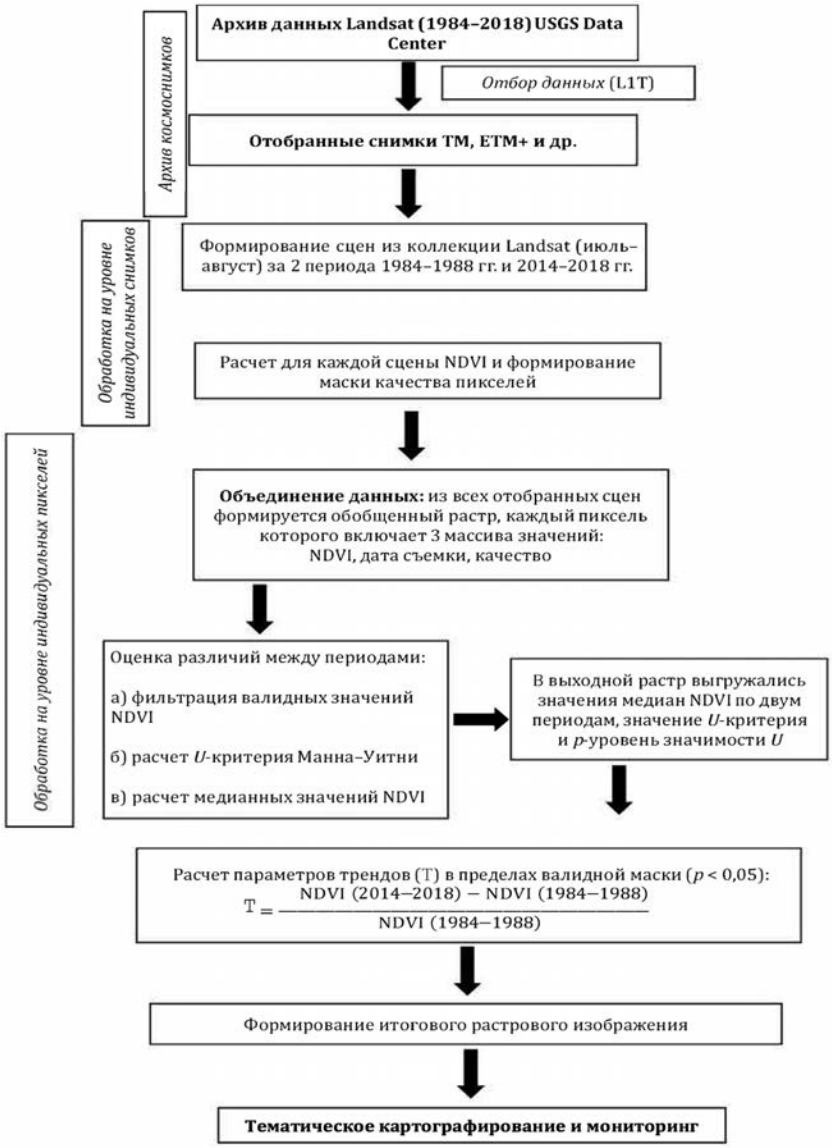


Рис. 6.69. Алгоритм обработки архива космических снимков Landsat для оценки влияния гидротехнической мелиорации на природные экосистемы

5. В выходной растр выгружались значения медиан NDVI по двум периодам, значение *U*-критерия, и *p*-уровень значимости.

6. Производился расчет параметров трендов (T) и составлялось растровое изображение:

$$T = \frac{NDVI(2014-2018)}{NDVI(1984-1988)} \cdot 100\,\%. \qquad (6.2)$$

Различия между периодами считались значимыми в тех пикселях, для которых *p*-уровень меньше 0,05.

Для верификации результатов автоматического выделения зон влияния каналов было заложено 4 маршрутных профиля в местах, наиболее оптимальных как с точки зрения доступности в полевых условиях, так и с точки зрения разности экологических условий и воздействия осушительных каналов.

Сопоставление растровой карты тренда изменения значений вегетационного индекса NDVI за 34-летний период (1984–2018 гг.) с актуальной картой растительности показывает в целом адекватность модели: на участках с наиболее высоким трендом значений NDVI сформированы лесные (в том числе мелиоративно-производные лесные) сообщества. На участках с невысоким или отрицательным темпом прироста NDVI сохраняются сообщества нелесных открытых болот (различного типа).

На основе анализа результатов исследования выделялись проблемные участки с изменением NDVI за 34-летний период 50–180 % (рис. 6.70–6.72, проблемные участки отмечены красным и оранжевыми цветами).

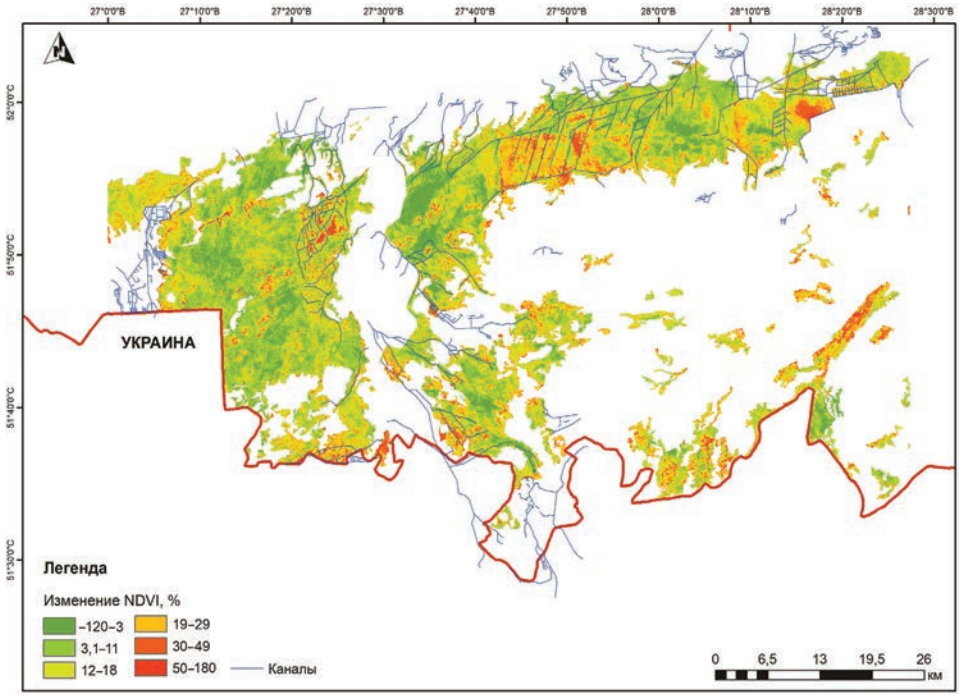


Рис. 6.70. Тренд изменения значения вегетационного индекса NDVI за 34-летний период (1984–2018 гг.)

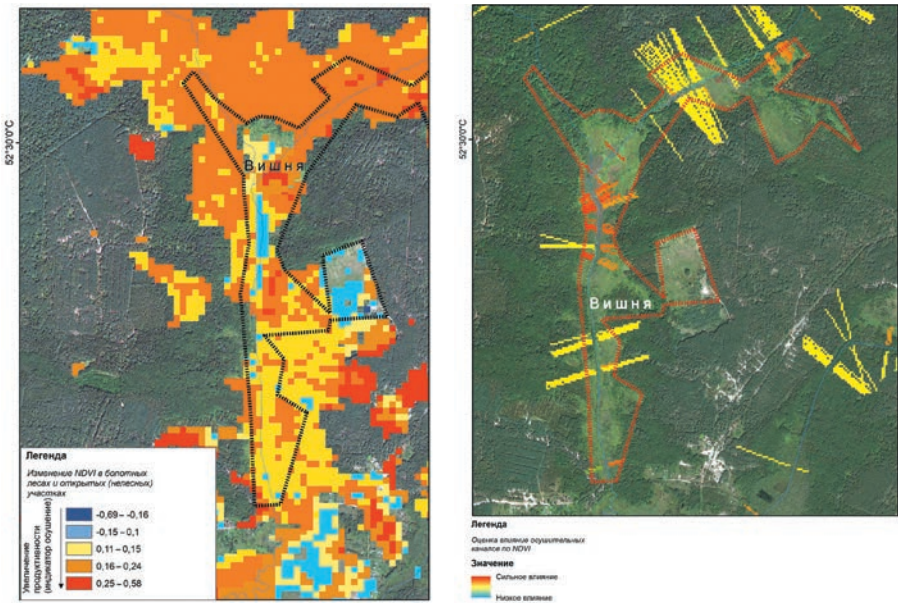


Рис. 6.71. Тренд изменения значения вегетационного индекса NDVI за 34-летний период (1984–2018 гг.) и фитоиндикационная оценка функционирования мелиоративных каналов (приводятся только статистически достоверные различия) в пределах участка «Вишня» Национального парка «Беловежская пуща»

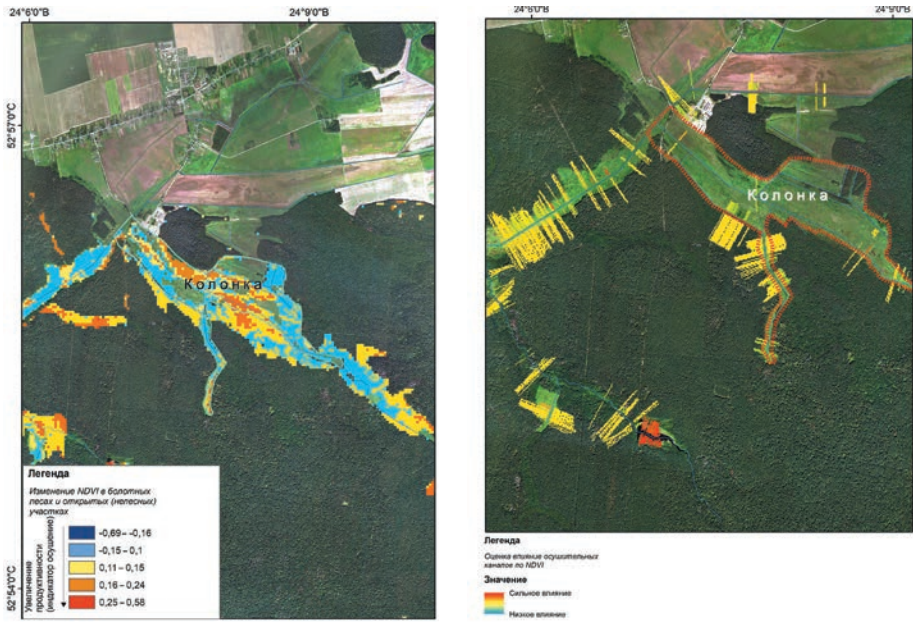


Рис. 6.72. Тренд изменения значения вегетационного индекса NDVI за 34-летний период (1984–2018 гг.) и фитоиндикационная оценка функционирования мелиоративных каналов (приводятся только статистически достоверные различия) в пределах участка «Пойма р. Колонка» Национального парка «Беловежская пуща»

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

а) векторный или растровый слой линейной сети (гидромелиоративная сеть);

б) растр-индикатор (NDVI (медиана) по данным Sentinel-2 за период 15.05.2017–15.09.2017) (рис. 6.73).

Работа состояла из следующих этапов:

1) генерировался растр расстояний до объектов линейной сети, значения которого соответствовали кратчайшему расстоянию до ближайшей валидной точки сети;

2) для каждой точки линейного объекта определялись азимуты (по двум направлениям), указывающие направление перпендикуляров к данной точке;

3) для каждого азимута производилась 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 упорядочивалась по возрастанию значения ДИСТАНЦИЯ и, начиная с некоторого n (9 в нашем случае) до N, равного размеру выборки с шагом i (=3), формировались подвыборки пар значений, у которых ДИСТАНЦИЯ <= ДИСТАНЦИЯn, для каждой из которых рассчитывались параметры линейной аппроксимации;

5) для сглаживания шумов ряд значений R_2 сглаживался фильтром Савицкого–Голея. ДИСТАНЦИЯ, для которой R_2 оказывался максимальным, принималась как определяющая зону влияния (предварительно);

6) выборки пар для каждой точки по обоим азимутам объединялись, и для этой объединенной выборки также рассчитывалось линейное приближение;

7) для тех точек, для которых выполняется условие

$\neg$ (R_2 азимут 1 > 0,7 $\wedge$ R_2 азимут 1 > 0,7 $\wedge$ R_2 общий > 0,7),

для каждого азимута с R_2 > 0,7 строился луч длиной, определенной на шаге 5 со значениями, равными k (угол наклона линии регрессии).

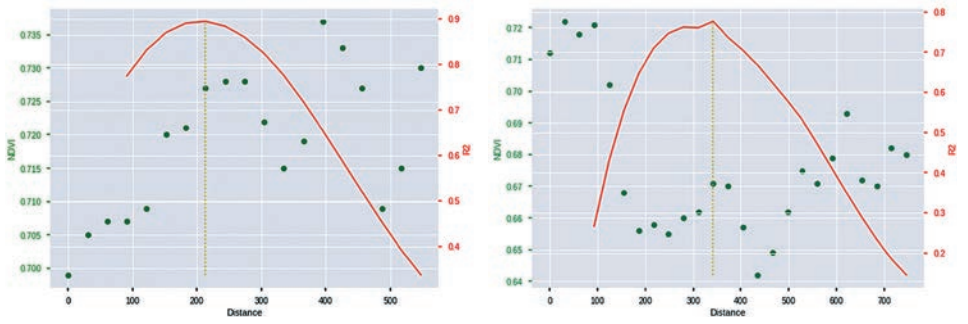


Рис. 6.73. Изменение значения NDVI с удалением от мелиоративных каналов

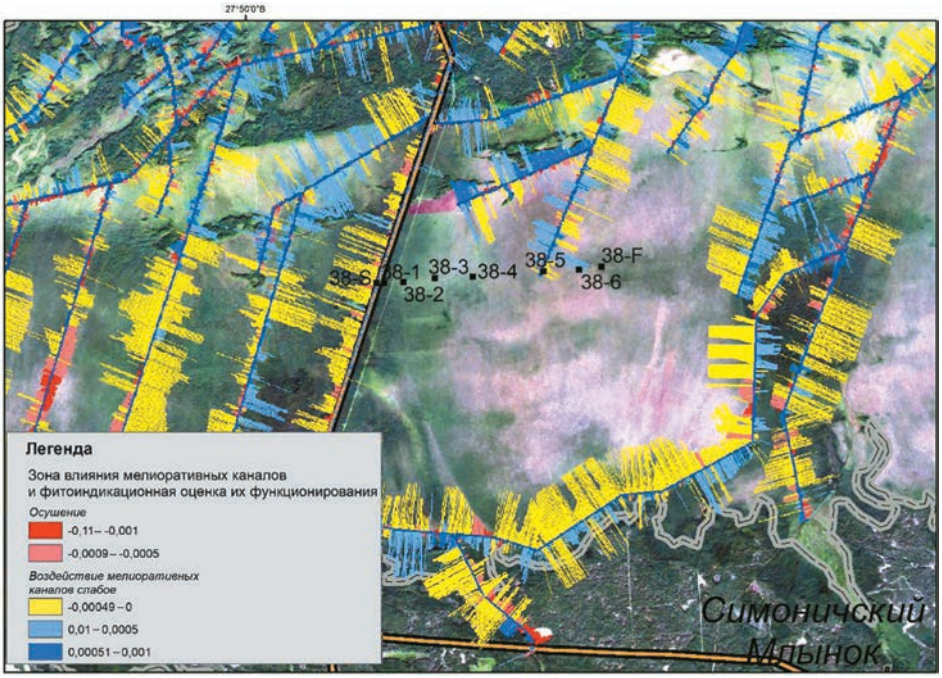


Рис. 6.74. Фитоиндикационная оценка функционирования мелиоративных каналов (Национальный парк «Припятский», 2018 г.)

На основе расчетов построена карта современных зон влияния мелиоративных каналов (рис. 6.74), в которой длина луча интерпретируется как дальность зоны влияния, а значение – как изменение показателя на единицу длины.

6.4.5. Изменение землепользования, нецелевое использование земель, нарушение природоохранного режима ООПТ

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

Нарушения правового режима ООПТ. Примером данного типа нарушений являются: а) проведение рубок на участках, где они запрещены в заповедниках, национальных парках, заказниках; б) гибель лесных насаждений и природных экосистем в результате нарушений хозяйственного использования земель.

Схема выполнения работ состоит из 5 этапов (рис. 6.75). Рассмотрим этот аспект на примере территории заказника местного значения «Вилейты», созданного в 2013 г. на территории Поставского района Витебской области.

Рис. 6.75. Схема выполнения работ по дистанционному мониторингу законности проведения рубок

1. *Подготовительные работы: создание и анализ базы данных лесного фонда ООПТ*

В границы заказника «Вилейты» вошло 5101,0 га земель лесного фонда Поставского лесничества ГЛХУ «Поставский лесхоз». Площадь продуктивных лесопокрытых земель составляет 4875,6 га (95,6 %). Основными лесообразователями выступают хвойные и мягколиственные породы, занимающие соответственно 36,8 и 63,1 % лесопокрытой площади.

2. *Обработка и дешифрирование материалов космической съемки, составление карты рубок леса за период 2002–2019 гг.*

На основе методики и алгоритмов картографирования нарушений лесного покрова составлена цифровая карта-схема с сопряженной базой данных рубок леса территории заказника «Вилейты» и прилегающих территорий.

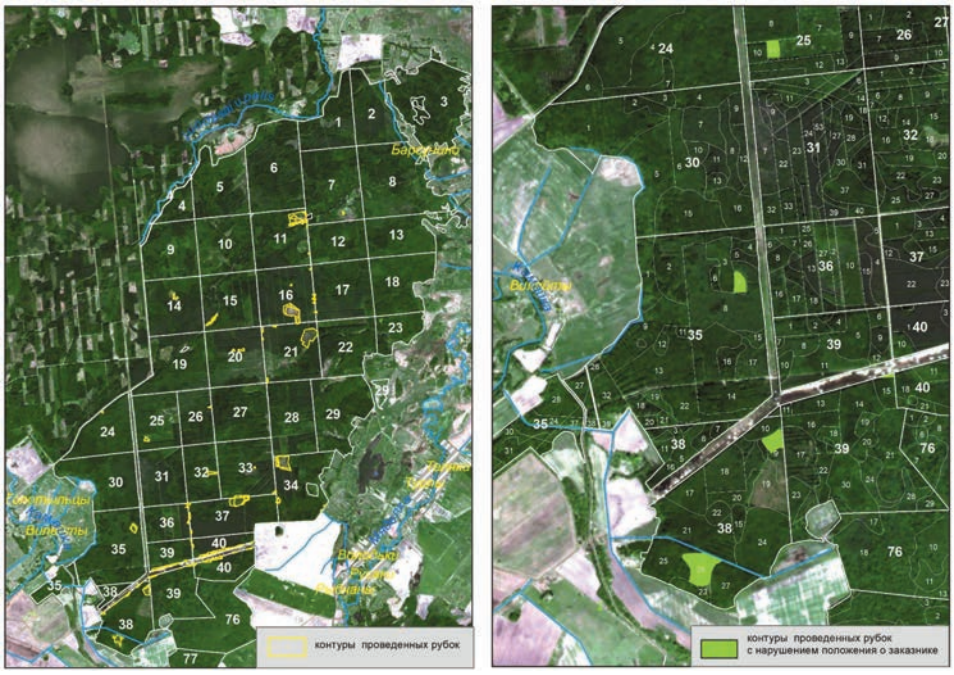
3. *Анализ разрешительных документов (измерение площадей лесосек, выявление нарушений, формирование предварительной ведомости нарушений).*

Для этих целей формировалась база данных (рис. 6.76), где на основе сопоставления положения о заказнике и лесных участков (№ кварталов, выделов) были внесены отметки о нарушении природоохранного режима (рис. 6.77, табл. 6.15). Были рассчитаны площади лесосек и сформирована предварительная ведомость нарушений (см. табл. 6.15) на площади 8,59 га с ориентировочным объемом древесины 1,8 тыс. м^3.

Анализ результатов исследования показывает (рис. 6.78), что введение природоохранного режима позволило сократить объемы сплошных рубок: до создания ООПТ среднегодовая площадь рубок в 2002–2012 гг. составляла 21,8 га, после объявления заказника – 10,1 га. Установлено, что после создания ООПТ на площади 70,6 га проводились рубки леса (рис. 6.79), для которых необходимо было выполнить оценку законности их проведения в соответствии с положением о заказнике.

Лесхоз	Лесничество	№ кв	Выдел	Площадь,	Порс	Состав	Бон	ТЛ	ТУМ	Возраст	Полнота	H	D	V, м3	Sруб, га	Vруб	Отметка о нарушении режима
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	21	7	20,1	ОС	6ОС4Б		1 ПАП	С4	60.0	0.6	24.0	28.0	4420	6,49	1427	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	16	23	5,7	ОС	9ОС1Е		2 ПАП	С4	70.0	0.7	23.0	26.0	1430	4,36	1094	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	34	2	5,4	С	10С		2 ДМ	А4	90.0	0.7	23.0	24.0	1510	4,07	1137	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	77	8	5,5	ОС	6ОС2Б2ОЛЧ		1 СН	Д3	50.0	0.5	24.0	28.0	1050	3,55	678	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	11	6	8,1	Е	4Е3Б3ОС		1 КИС	Д2	38.0	0.7	12.0	12.0	1780	3,12	685	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	37	7	4,4	С	9С1Б		2 ЧЕР	А3	90.0	0.7	24.0	26.0	1320	2,36	708	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	11	11	3	Е	8Е2ОС		1 ОР	С2	60.0	0.7	22.0	22.0	870	1,72	499	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	38	26	4,2	Б	8Б2ОЛЧ		1 ПАП	С4	70.0	0.7	25.0	26.0	1010	1,50	360	нарушение
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	38	9	3,8	Б	5Б3ОС2Е		2 ДМ	В4	70.0	0.7	24.0	26.0	870	1,36	311	нарушение
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	37	7	4,4	С	9С1Б		2 ЧЕР	А3	90.0	0.7	24.0	26.0	1320	1,30	391	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	16	18	5,7	С	9С1Б		2 ДМ	А4	80.0	0.7	21.0	22.0	1430	1,11	279	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	39	11	13,1	Б	7Б2ОЛЧ1ОС		2 ПАП	С4	30.0	0.9	15.0	12.0	1970	1,08	162	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	77	7	23,4	Б	6Б3ОС1ОЛЧ		1 КИС	С2	60.0	0.5	25.0	28.0	4210	0,91	164	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	35	7	1,2	Б	6Б3ОС1ОЛЧ		2 ЧЕР	С3	70.0	0.6	24.0	28.0	240	0,91	182	нарушение
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	11	10	5,8	Б	7Б2ОС1Е		1 ОР	С2	25.0	0.7	13.0	12.0	580	0,87	87	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	77	12	6,3	ОС	6ОС2Б2ОЛЧ		1 СН	Д3	50.0	0.5	24.0	28.0	1200	0,71	136	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	16	24	11,6	С	7С3Б		2 ДМ	А4	70.0	0.7	20.0	22.0	2780	0,65	155	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	32	18	3,5	Б	7Б2ОС1ОЛЧ		2 ЧЕР	С3	85.0	0.7	26.0	28.0	910	0,62	160	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	3	6,5	С	10С		5 ОС	А5	70.0	0.7	9.0	12.0	520	0,58	47	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	77	12	6,3	ОС	6ОС2Б2ОЛЧ		1 СН	Д3	50.0	0.5	24.0	28.0	1200	0,57	109	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	34	10	19,3	С	3Б		2 ДМ	А4					4630	0,55	133	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	34	1	1,3	Б	9Б1ОС		2 ДМ	А4	5.0	0.5	2.0	2.0	10	0,48	4	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	34	2	5,4	С	10С		2 ДМ	А4	90.0	0.7	23.0	24.0	1510	0,47	133	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	33	23	1,6	Б	6Б2ОЛЧ2ОС		2 ПАП	С4	20.0	0.7	11.0	10.0	130	0,41	33	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	25	11	1,1	Б	7Б3ОС		2 ПАП	С4	80.0	0.9	25.0	28.0	360	0,40	132	нарушение
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	11	5,3	Б	6Б2ОЛЧ2Е		2 ПАП	С4	10.0	0.5	4.0	4.0	80	0,40	6	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	35	8	25,3	Б	5Б5ОЛЧ		2 ПАП	С4	55.0	0.7	22.0	24.0	5310	0,38	80	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	1	15,8	С	10С		5 БАГ	А5	150.0	0.7	15.0	18.0	2690	0,38	64	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	4	10,6	С	10С		5 БАГ	А5	75.0	0.7	11.0	14.0	1170	0,35	38	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	34	19	0,6	С	9С1Е	1А	КИС	С2	93.0	0.8	31.0	32.0	280	0,34	161	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	37	8	0,7	С	5С5Б		2 ДМ	А4	90.0	0.6	24.0	26.0	170	0,33	79	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	11	18	1,1	Е	4Е4Б2ОС		2 ОР	С2	11.0	0.9	3.0	4.0	20	0,32	6	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	11	17	1,9	Б			1 ОР	С2								
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	16	22	2,1	С	8С2Б		3 ДМ	А4	80.0	0.7	20.0	20.0	500	0,29	69	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	38	10	3,7	Б	6Б2ОС2ОЛЧ		1 ПАП	С4	40.0	0.7	20.0	18.0	670	0,28	50	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	14	3	8,2	ОС	6ОС3Б1Е		1 ЧЕР	С3	75.0	0.8	27.0	32.0	2710	0,27	89	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	38	18	9,4	Б	8Б2ОЛЧ		3 ДМ	В4	60.0	0.7	19.0	22.0	1600	0,27	46	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	33	21	2,1	Б	6Б2ОЛЧ2С		2 ПАП	С4	70.0	0.6	23.0	24.0	400	0,25	48	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	1	15,8	С	10С		5 БАГ	А5	150.0	0.7	15.0	18.0	2690	0,25	42	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	39	15	4,5	Б	7Б2ОС1ОЛЧ		1 ЧЕР	С3	40.0	0.7	20.0	18.0	810	0,24	43	нарушение
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	20	2	19,9	С	8С1Б1Е		2 ДМ	А4	60.0	0.7	19.0	20.0	4380	0,24	52	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	40	10	4	Б	8Б2ОЛЧ		2 ПАП	С4	10.0	0.5	5.0	4.0	80	0,22	4	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	15	29	7,6	Е	4Е4Б2ОЛЧ		2 ЧЕР	С3	14.0	0.8	3.0	4.0	230	0,20	6	
ГПКУ «Поставский лесхоз»	Поставское	15	24	1,9	Б	7Б2Е1С		1 ЧЕР	С3	65.0	0.5	25.0	24.0	360	0,19	37	

Рис. 6.76. Фрагмент таблицы нарушений природоохранного режима на территории заказника местного значения «Вилейты»



а *б*

Рис. 6.77. Карта рубок леса на территории заказника местного значения «Вилейты» после введения природоохранного режима (*а*), в том числе с нарушением природоохранного законодательства (*б*)

Таблица 6.15. **Ведомость учета рубок леса на территории заказника местного значения «Вилейты» с нарушением природоохранного законодательства**

№ кв.	Выдел	Площадь, га	Порода	Состав насаждения	Рубки леса с нарушением положения о заказнике			
					до полевой проверки		после полевой проверки	
					площадь, га	объем древесины*, м^3	площадь, га	объем древесины*, м^3
24	2	0,8	Б	7Б2ОЛЧ1Е	0,05	13	0,05	13
35	7	1,2	Б	6Б3ОС1ОЛЧ	1,20	240	1,20	240
38	9	3,8	Б	5Б3ОС2Е	2,44	558	2,44	558
25	11	1,1	Б	7Б3ОС	0,40	131	1,10	360
39	15	4,5	Б	7Б2ОС1ОЛЧ	0,24	43	0,24	43
38	26	4,2	Б	8Б2ОЛЧ	4,20	810	4,20	810
38	26	4,2	Б	8Б2ОЛЧ	0,06	14	0,06	14
Итого					**8,59**	**1809**	**9,29**	**2038**

П р и м е ч а н и е. Б – береза, кв. – квартал, ОЛЧ – ольха черная, ОС – осина.
* Приводится ориентировочный объем.

4. *Проведение выборочной полевой проверки.*

На основе карты (см. рис. 6.77, *а*) был составлен маршрут полевых исследований в количестве не менее 50 % от числа лесосек с выявленными нарушениями лесного законодательства.

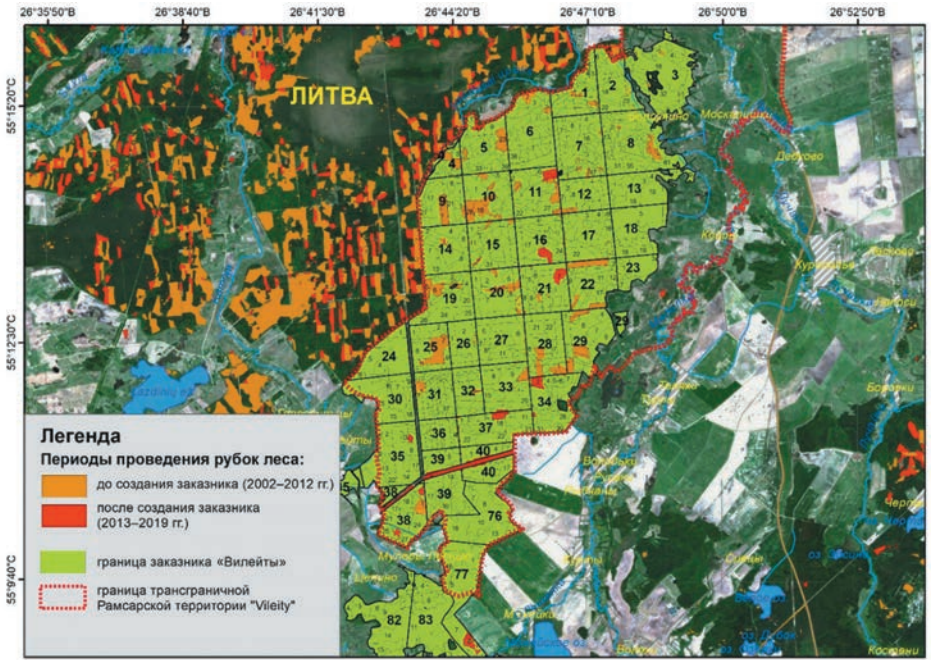


Рис. 6.78. Карта рубок леса на территории заказника местного значения «Вилейты» за период 2002–2019 гг.

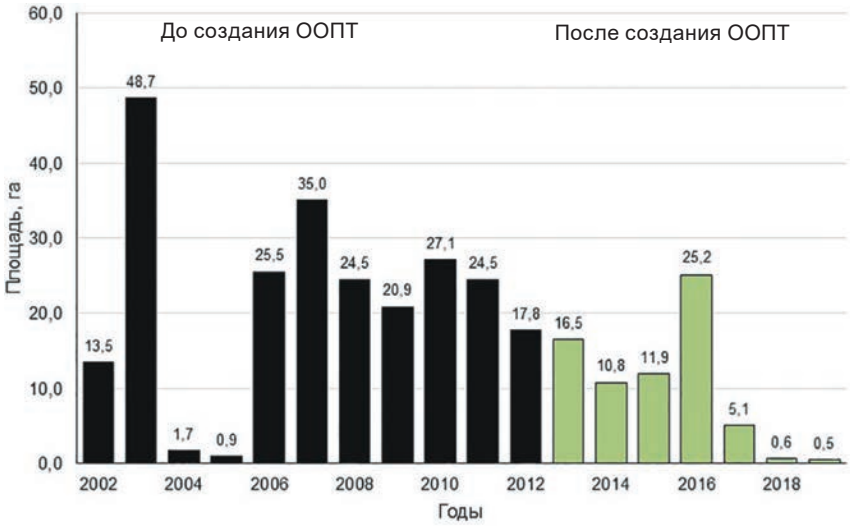


Рис. 6.79. Динамика рубок леса на территории заказника местного значения «Вилейты» за период 2002–2019 гг.

5. *Составление итоговой карты и ведомости нарушений лесного и природоохранного законодательства, расчет ориентировочной суммы вреда в денежном эквиваленте.*

Результаты исследований (см. табл. 6.15) показали, что с нарушением положения о заказнике рубки проведены на площади 9,29 га с ориентировочным объемом древесины 2,0 тыс. м^3.

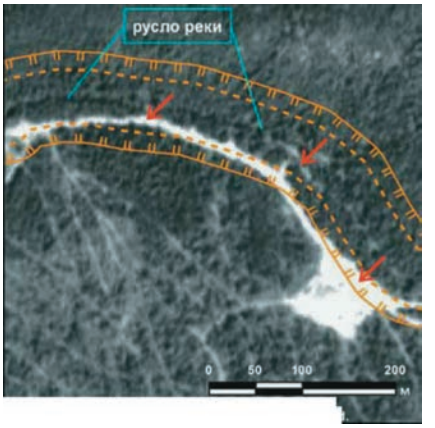
Превышение предельно допустимых параметров лесосек. По данным космической съемки высокого разрешения можно надежно определять такие нарушения правил заготовки древесины, как превышение предельно допустимой площади, ширины лесосеки и нарушение сроков примыкания лесосек (рис. 6.80).

Нарушения правового режима водоохранных зон и особо защитных участков леса (берегозащитных полос). Мониторинг проведения рубок в водоохранных зонах и особо защитных участках леса (прибрежные полосы леса, участки леса вдоль поймы рек, полосы вдоль рек, заселенные бобрами) – актуальная проблема. Спутниковые снимки с пространственным разрешением ≤ 30 м позволяют выявить данный тип нарушений, так как на столь детальных снимках хорошо просматриваются русла ручьев 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 (рис. 6.81–6.83).

В результате мониторинга лесов (табл. 6.16) северной части Беларуси установлено, что за период 2001–2020 гг. рубки леса в особо защитных участках леса водоохранного назначения выявлены на площади 667,9 га.

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 *Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009*).

Рис. 6.80. Превышение предельно допустимой площади лесосек



Стрелками показаны нарушения: лесная дорога и волок находятся в пределах берегозащитной полосы, погрузочная площадка находится в пределах водоохраной зоны.
Снимок IRS-P5 PAN, июнь 2008 г., пространственное разрешение 2,5 м (по данным *Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009*).

Рис. 6.81. Выявление нарушений водоохранного режима реки при проведении выборочных рубок

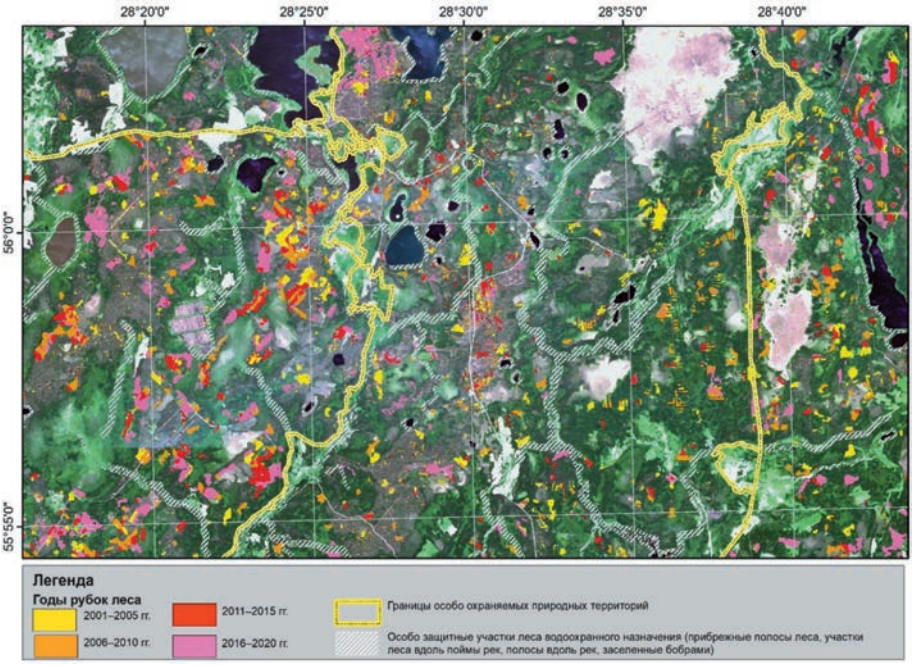


Рис. 6.82. Размещение особо защитных участков леса водоохранного назначения и рубки леса

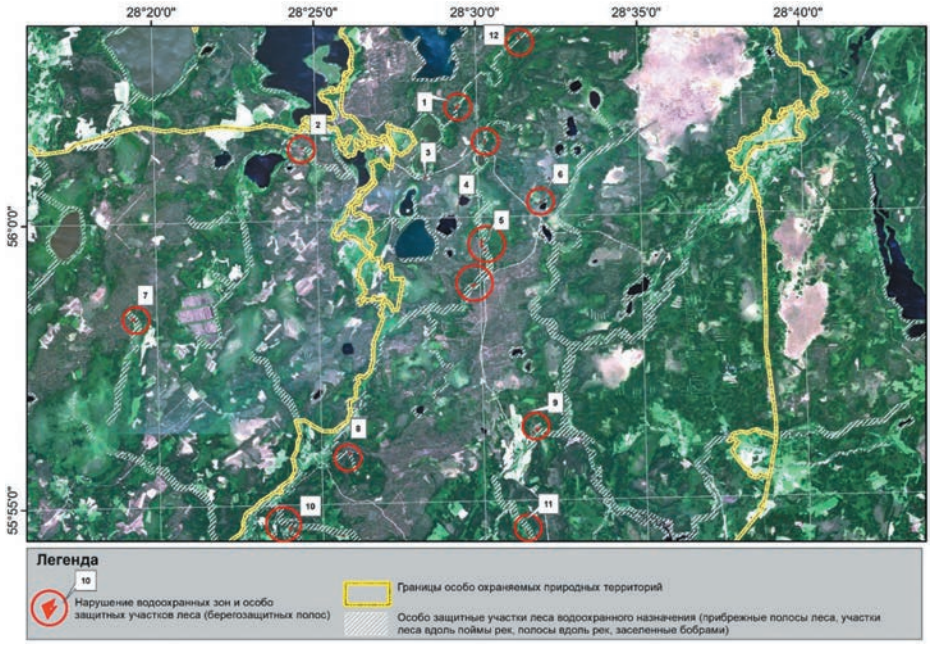


Рис. 6.83. Идентификация нарушения рубок в особо защитных участках леса водоохранного назначения

Наибольшие площади нарушений характерны для ГЛХУ «Россонский лесхоз» (143,5 га), ГЛХУ «Бешенковичский лесхоз» (101,1 га), ГЛХУ «Полоцкий лесхоз» (91,6 га).

Среди особо охраняемых природных территорий наибольшие площади нарушений правового режима за период 2001–2020 гг. выявлены на территории республиканских заказников «Красный бор» и «Козьянский» (рис. 6.84).

Таблица 6.16. **Мониторинг рубок в особо защитных участках леса водоохранного назначения (прибрежные полосы леса, участки леса вдоль поймы рек, полосы вдоль рек, заселенные бобрами) в лесохозяйственных учреждениях северной части Беларуси**

Год	Государственное лесохозяйственное учреждение										Общий итог
	Бешенковичский лесхоз	Верхнедвинский лесхоз	Городокский лесхоз	Дисненский лесхоз	Дретунский лесхоз	Лепельский лесхоз	Полоцкий лесхоз	Россонский лесхоз	Ушачский лесхоз	Шумилинский лесхоз	
2001	6,8	2,1	0,1	2,0	3,3	2,5	1,0	6,0	1,6	0,5	25,7
2002	10,9	1,0	–	–	5,8	2,3	1,3	3,4	7,8	2,2	34,7
2003	11,8	2,3	–	–	11,5	1,7	2,0	3,0	5,7	29,4	67,4
2004	6,6	2,2	0,2	1,9	3,2	4,7	8,2	11,5	15,3	4,3	58,2
2005	23,8	1,5	0,2	1,0	9,8	4,1	10,7	10,5	4,2	4,7	70,5
2006	7,9	1,5	3,2	0,3	7,8	7,6	10,9	10,4	13,4	0,4	63,4

Окончание табл. 6.16

Год	Государственное лесохозяйственное учреждение										Общий итог
	Бешенковичский лесхоз	Верхнедвинский лесхоз	Городокский лесхоз	Дисненский лесхоз	Дретунский лесхоз	Лепельский лесхоз	Полоцкий лесхоз	Россонский лесхоз	Ушачский лесхоз	Шумилинский лесхоз	
2007	6,2	2,9	–	0,1	4,3	1,8	6,0	8,1	4,2	0,5	34,0
2008	4,7	1,0	–	0,3	6,6	4,9	5,3	9,9	3,1	1,1	36,9
2009	0,8	1,6	–	–	4,5	1,3	5,2	12,6	1,2	1,3	28,5
2010	0,9	3,8	–	0,1	4,1	2,7	2,3	6,3	2,5	1,2	23,8
2011	1,8	3,3	–	0,5	3,9	1,5	13,9	10,1	0,5	2,0	37,6
2012	1,2	7,6	0,1	–	1,3	1,0	6,0	11,7	3,0	1,1	33,0
2013	0,5	3,6	–	0,2	0,7	0,5	2,1	5,9	1,6	2,5	17,6
2014	2,1	3,4	–	0,1	0,5	0,6	3,0	6,7	0,7	1,2	18,3
2015	0,6	1,4	–	–	0,3	1,1	2,9	6,3	0,7	0,1	13,4
2016	2,7	2,6	1,4	1,0	3,1	2,4	3,2	10,4	2,2	5,5	34,6
2017	2,0	1,8	0,2	0,2	1,8	2,5	1,0	5,3	0,2	0,7	15,8
2018	0,5	3,4	–	–	0,2	3,5	3,6	1,3	3,7	3,5	19,8
2019	7,4	0,5	–	–	2,8	1,4	2,1	1,3	4,1	3,1	22,7
2020	1,9	0,9	–	0,9	0,8	0,5	0,9	2,8	2,7	0,9	12,1
Общий итог	101,1	48,4	5,3	8,5	76,4	48,5	91,6	143,5	78,4	66,1	667,9

В ретроспективном плане наибольшие площади рубок зафиксированы в 2003–2006 гг. (рис. 6.85).

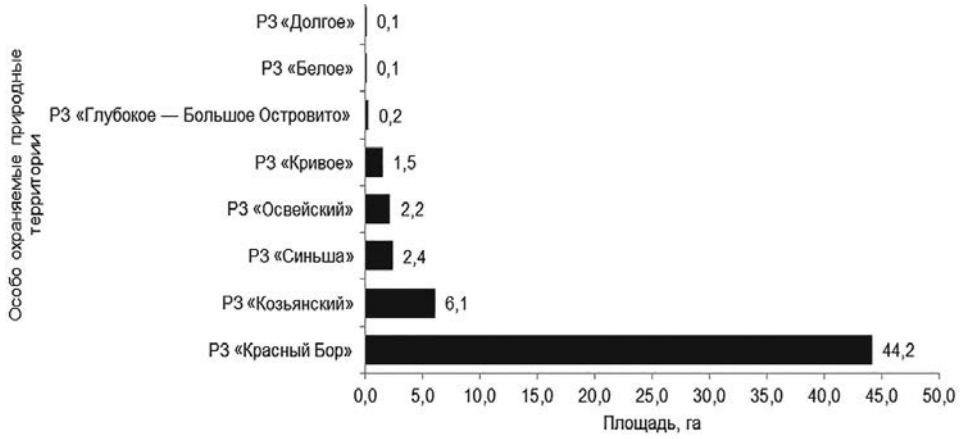


Рис. 6.84. Нарушения рубок в особо защитных участках леса водоохранного назначения (прибрежные полосы леса, участки леса вдоль поймы рек, полосы вдоль рек, заселенные бобрами) на ООПТ северной части Беларуси

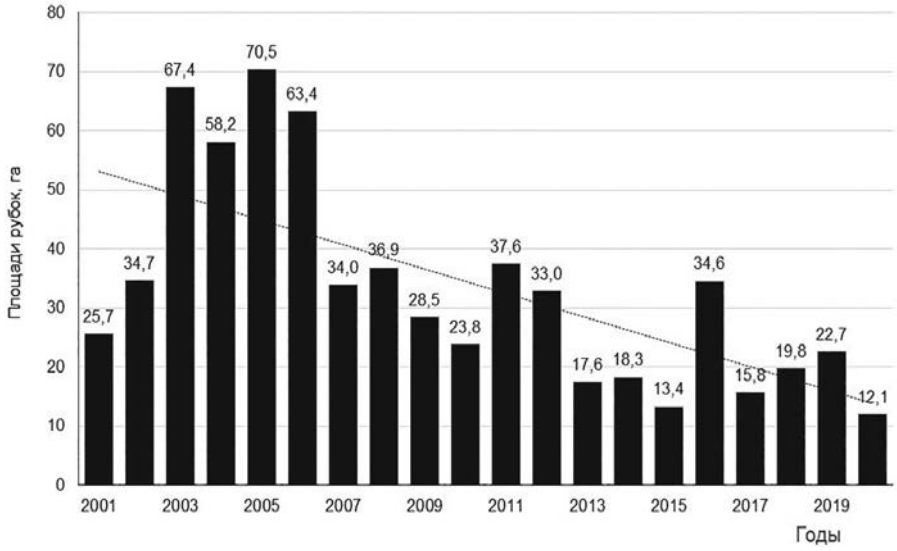


Рис. 6.85. Динамика рубок в особо защитных участках леса водоохранного назначения (прибрежные полосы леса, участки леса вдоль поймы рек, полосы вдоль рек, заселенные бобрами) в лесохозяйственных учреждениях северной части Беларуси

6.4.6. Оценка динамики основных типов земель с использованием разновременных данных дистанционного зондирования и геопространственного анализа

На основе подходов к созданию временных серий изображений возможно картографическое отображение динамики земель (экосистем).

Рассмотрим результаты работ на примере Рамсарской территории «Болото Дикое», входящей в состав Национального парка «Беловежская пуща». В течение последних трех десятилетий в результате нарушения гидрологического режима, изменения характера землепользования (прежде всего прекращение сенокошения), а также естественных природных процессов на территории водно-болотного угодья «Болото Дикое» произошла существенная трансформация структуры земельного фонда (*Рамсарские территории Беларуси…, 2020*).

Для изучения распространения основных типов земель проводились следующие работы:

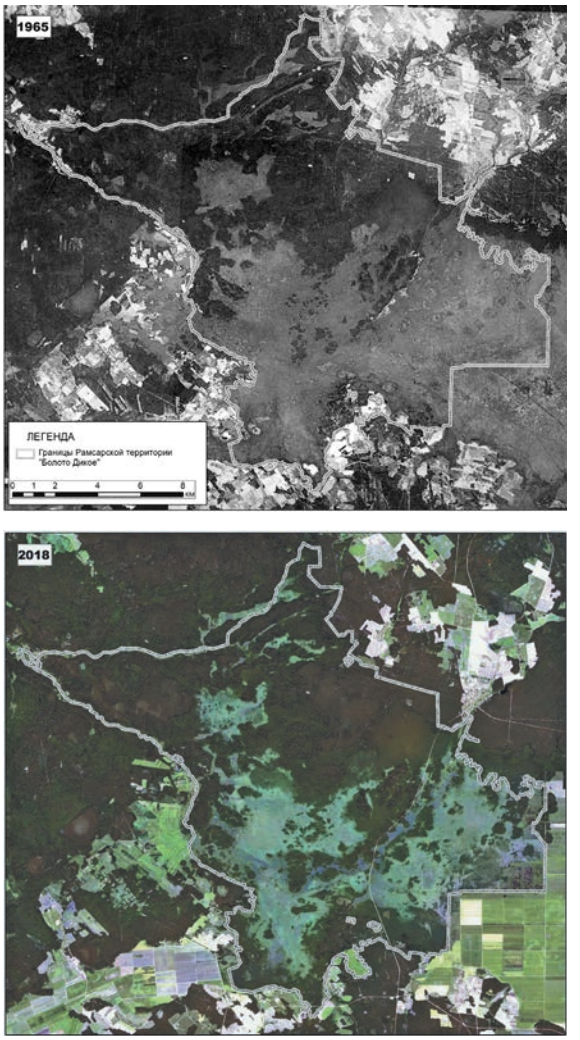
1) *подборка разновременных аэрокосмоснимков из доступных источников*: а) архив (1960–1972 гг.) геологической службы США USGS EROS declassified data (коллекция рассекреченных фотографий военной разведки со спутниковых систем CORONA, ARGON, LANYARD и HEXAGON в цифровом формате); б) архив Landsat (1985–2017 гг.); в) аэрофотосъемка фондо-

вой коллекции Национального парка «Беловежская пуща»; г) современная спутниковая съемка (Sentinel-2, ESRI, Pleiades) (рис. 6.86, 6.87);

2) *сшивка аэроснимков в единую полосу и географическая привязка архивных изображений*;

3) *анализ доступных фондовых архивов земле- и лесоустроительных материалов*;

4) *составление разновременных каталогов эталонов* (по 4 сериям 1949, 1965, 1985, 2018 гг.) с выделением 6 типов земель: сельскохозяйственные



а

б

Рис. 6.86. Разновременные данные спутниковой съемки Рамсарской территории «Болото Дикое»: *а* – снимок космической программы Corona; *б* – снимок спутниковой системы Sentinel-2

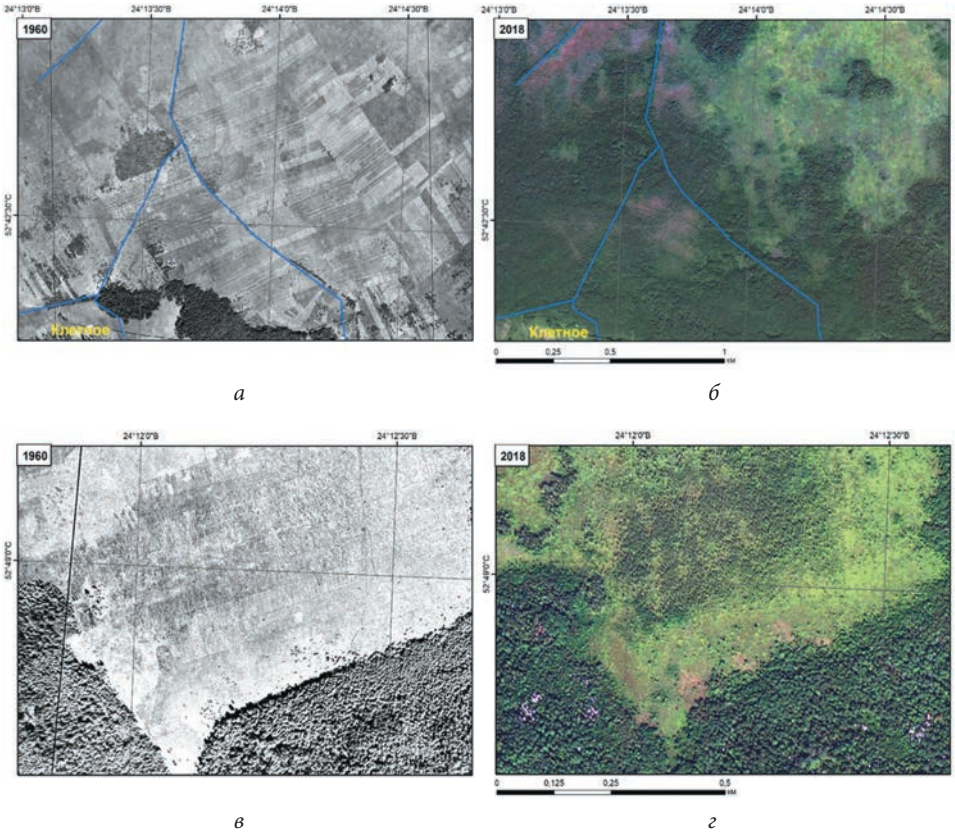


Рис. 6.87. Трансформация земель Рамсарской территории «Болото Дикое» (2020 г.) в результате зарастания древесно-кустарниковой растительностью участков открытых травяных болот (1960 и 2018 гг.): *а, б* – окрестности д. Клетное; *в*, *г* – южная окраина торфяного месторождения Гленбоке

земли, антропогенные земли, лес, кустарники, болото (открытое), болото (зарастающее древесно-кустарниковой растительностью), водоем;

5) *контролируемая классификация и составление серии тематических карт земель по периодам* (1949, 1965, 1985, 2018 гг.);

6) *комплексная пространственная и статистическая обработка спутниковых, тематических и картографических продуктов средствами ГИС, составление инвентаризационных ведомостей, содержащих информацию о динамике земель.*

На основе анализа разновременных аэрокосмоснимков установлено, что за период 1949–2018 гг. в границах исследуемой территории (табл. 6.17, рис. 6.88):

площадь открытых (нелесных) участков болот сократилась на 9645,9 га: с 14 116,5 га (60,9 % от площади ВБУ) в 1949 г. до 4470,6 га (19,3 %) в 2018 г.,

при этом наиболее существенные процессы трансформации болотных местообитаний наблюдались в последние десятилетия;

лесные земли увеличились на 7561,4 га: с 6966,7 га (30,1 %) в 1949 г. до 14 528,1 га (62,8 %) в 2018 г.;

Таблица 6.17. **Изменение соотношения основных типов земель Рамсарской территории «Болото Дикое» по периодам, га (2020)**

Типы земель	1949 г.	1965 г.	Изменение за период 1949–1965 гг. (+, –), га	1985 г.	Изменение за период 1966–1985 гг. (+, –), га	2018 г.	Изменение за период 1986–2018 гг. (+, –), га	Изменение за период 1949–2018 гг. (+, –), га
Сельскохозяйственные земли	648,1	403,1	–245,0	190,5	–212,6	104,9	–85,6	–543,2
Антропогенные земли	23,1	74,3	+51,2	15,6	–58,7	91,4	+75,8	+68,3
Леса	6966,7	10 388,8	+3422,1	12 857,4	+2468,6	14 528,1	+1670,7	+7561,4
Кустарники	324,0	340,5	+16,5	430,5	+90,0	787,6	+357,1	+463,6
Болото (зарастающее ДКР)	1064,7	803,6	–261,1	1503,6	+700,0	3161,8	+1658,2	+2097,1
Болото открытое	14 116,5	11 132,9	–2983,6	8146,4	–2986,5	4470,6	–3675,8	–9645,9
Водоемы	1,9	1,8	–0,1	1,0	–0,8	0,6	–0,4	–1,3

Примечание. ДРК – древесно-кустарниковая растительность.

за анализируемый период (1949–2018 гг.) тенденции увеличения распространения характерны для кустарниковых зарослей (+463,6 га), редколесий на болотах (+2097,1 га), а также антропогенно-нарушенных земель (+68,3 га), и, напротив, отмечается сокращение площадей (–543,2 га) для сельскохозяйственных угодий;

стабильные земли в настоящее время сохранились в центральном, северном и западном секторах водно-болотного угодья (рис. 6.89).

Оценка зарастания болот и пойменных лугов. Выявление участков, зарастающих кустарником или тростником болот и пойменных луговых экосистем целесообразно также проводить на основе базовых карт мониторинга (биотопов, растительности). В таких картах необходимо выделять типологические единицы, характеризующие процессы зарастания (рис. 6.90, 6.91).

В наших исследованиях (на примере проектной территории «Сервечь») картографирование и анализ динамического состояния растительного покрова состоит из 4 этапов.

1. *Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.* В качестве базовой карты мониторинга использовалась

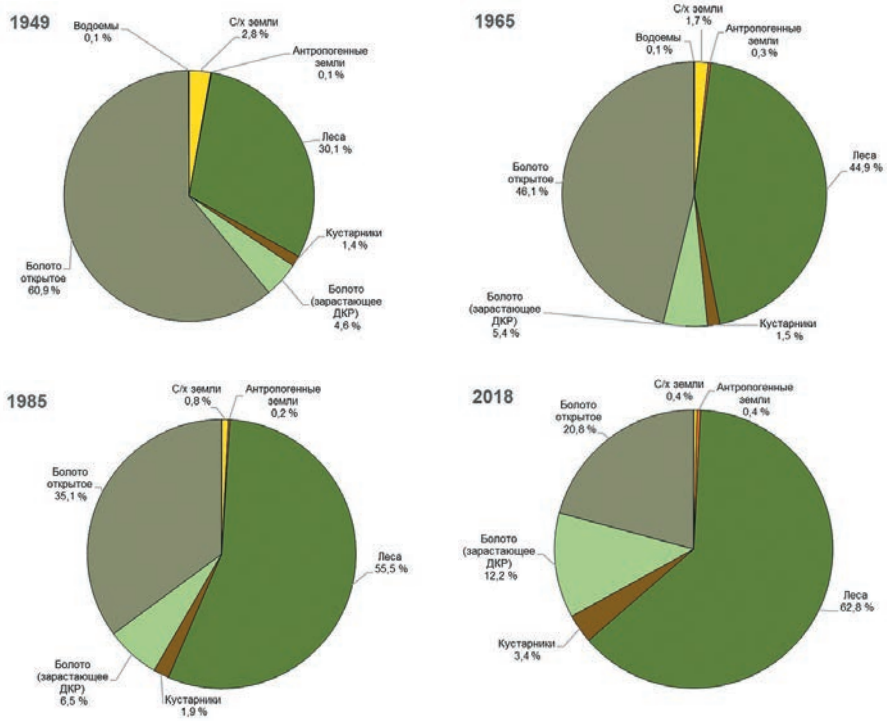


Рис. 6.88. Изменение структуры земель Рамсарской территории «Болото Дикое», % (2020)

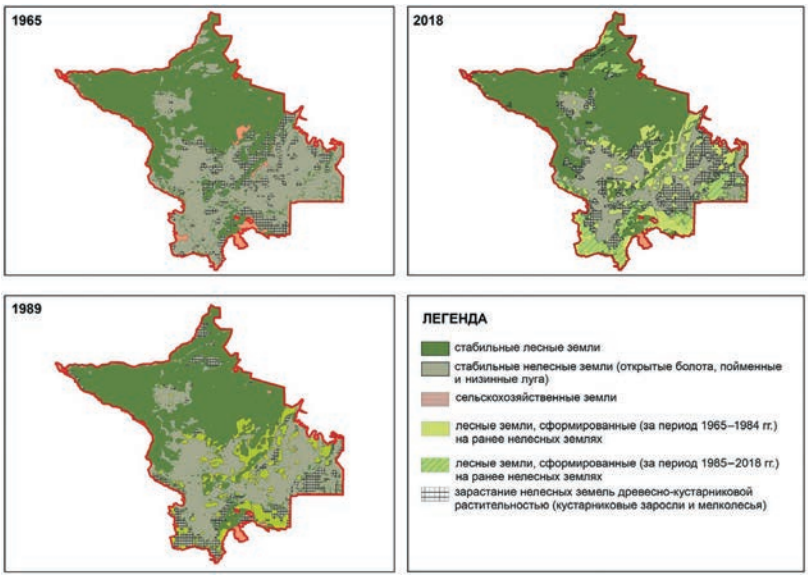


Рис. 6.89. Карта-схема динамики основных типов земель Рамсарской территории «Болото Дикое» (2020)

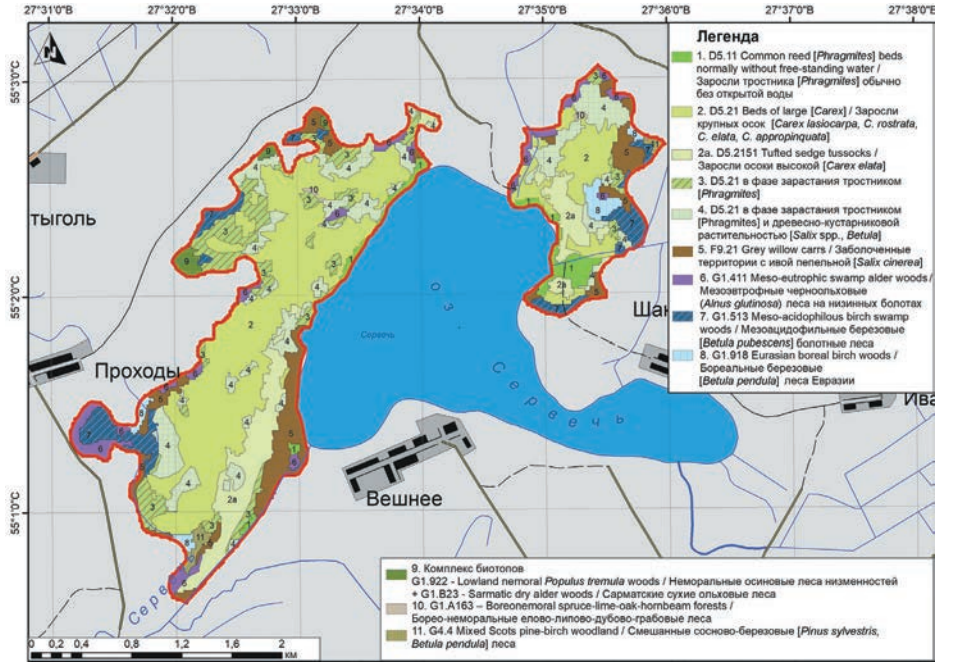


Рис. 6.90. Карта местообитаний (биотопов) низинного болота Республиканского заказника «Сервечь» (в соответствии с системой EUNIS)

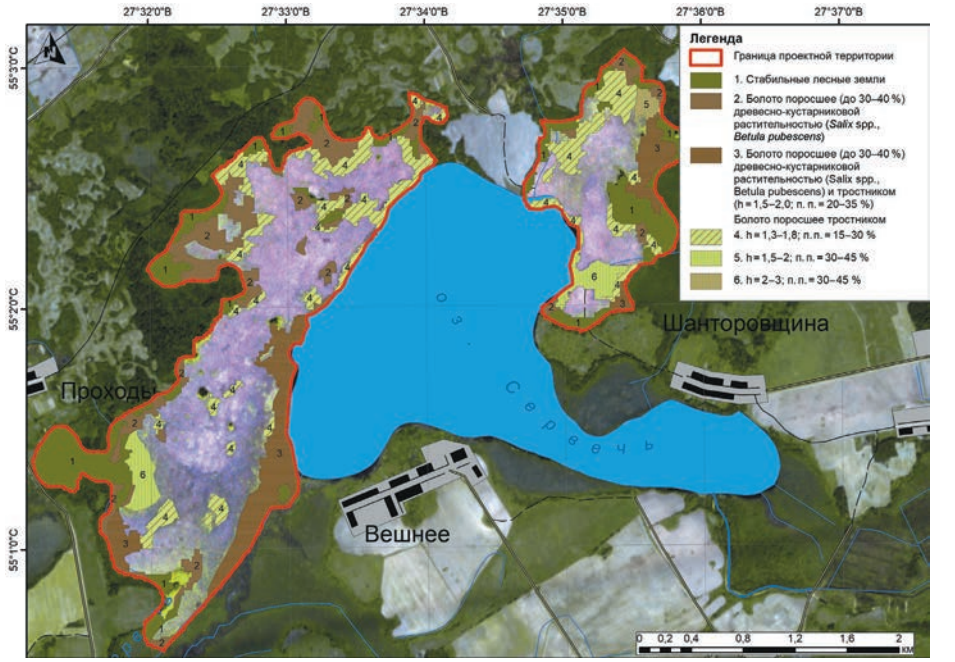


Рис. 6.91. Процессы деградации болотных экосистем низинного болота Республиканского заказника «Сервечь»

крупномасштабная (М 1 : 100 000) карта растительности (болот), вспомогательным материалом служила карта изменений растительного покрова (гибель лесов, зарастание ранее нелесных земель, дигрессионно-демутационные процессы на выбывших из хозяйственного оборота нелесопокрытых землях, сельскохозяйственное освоение территории).

2. *Выделение типологических единиц, характеризующих процессы зарастания* (см. рис. 6.90).

3. *Комплексная пространственная и статистическая обработка спутниковых, тематических и картографических продуктов средствами ГИС, составление инвентаризационных ведомостей, содержащих информацию о динамике растительности.*

4. А*нализ полученных результатов, формирования выводов и заключений по вопросам состояния и динамики лесных и других наземных экосистем модельной территории.*

В результате исследований установлено, что негативные для сохранения биологического разнообразия процессы протекают на площади 299,1 га (48,9 % территории) (табл. 6.18). К числу основных угроз относятся зарастание низинного болота (до 30–40 %) древесно-кустарниковой растительностью и тростником. Эти процессы проявляются на площади 222,5 га (36,4 %). Места локализации угроз и их качественную оценку см. на рис. 6.91.

Таблица 6.18. **Сукцессионные процессы в экосистемах модельной территории «Сервечь»**

Процесс	Площадь	
	га	%*
Леса, сформированные на ранее (до 1990 г.) нелесных землях	76,6	12,5
Зарастание низинного болота (до 30–40 %) древесно-кустарниковой растительностью (*Salix* spp., *Betula pubescens*)	64,8	10,6
Зарастание низинного болота (до 30–40 %) древесно-кустарниковой растительностью (*Salix* spp., *Betula pubescens*) и тростником (*h* = 1,5–2,0; п. п. = 20–35 %)	59,4	9,7
Зарастание низинного болота тростником:	98,3	16,1
высотой (*h* = 1,3–1,8); п. п. = 15–30 %	74,3	12,2
высотой (*h* = 1,5–2); п. п. = 30–45 %	3,7	0,6
высотой (*h* = 2–3); п. п. = 30–45 %	20,3	3,3
ВСЕГО	**299,1**	**48,9**

Примечание: *h* – высота, spp. – несколько видов одного рода, п. п. – проективное покрытие.

*От площади модельной территории «Сервечь».

В заключение следует отметить, что такие работы по оперативному выявлению динамических процессов представляются важными для мониторинга ситуации и разработки планов управления особо охраняемых природных территорий. Такие карты имеют адресность (землепользователь,

номер лесного квартала, выдела), позволяют оценить масштаб (площадь, экономические потери, ущерб) и обоснованно разработать компенсационные мероприятия, включая финансовые затраты на их проведение.

В качестве примера приведем карту, составленную для НП «Беловежская пуща» (рис. 6.92). Результаты исследований позволили выявить проблемные участки, связанные с гибелью лесов (7545,5 га – 5,0 % площади ООПТ), деградацией болотных лесов вследствие понижения уровня грунтовых вод в регионе – 1368,7 га (0,9 %), формированием лесной структуры (зарастанием) на ранее нелесных землях – 3919,5 га (2,6 %), рудерализацией (бурьянизацией) на залежных землях – 9,3 тыс. га (6,2 %), инвазией чужеродных видов – 108,4 га (0, 1 %), зарастанием болот и пойм – 1,4 тыс. га (1,0 %) (табл. 6.19, см. рис. 6.92).

Таблица 6.19. **Динамические процессы в растительном покрове экосистем Национального парка «Беловежская пуща» (по состоянию на 2017 г.)**

№ п/п	Категории участков	Площадь	
		га	%*
Лесные земли			
1	Стабильные лесные земли	99 739	66,7
2	Лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях	12 875,6	8,6
3	Гибель лесов (в период 2011–2017 гг.)	7545,5	5,0
4	Потери лесов с последующим ростом леса	2745	1,8
5	Участки с чередованием потери и прироста леса	10,4	<0,1
6	Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г.	3,4	<0,1
6а	Сукцессии болотных лесов, связанные с осушительным воздействием в регионе (увеличение фитоценотической роли и/или запаса сосны, рост проективного покрытия (биомассы) кустарничков и зеленых мхов, сокращение проективного покрытия (биомассы) сфагнового покрова)	1368,7	0,9
Нелесные земли			
7	Стабильные нелесные земли	10 617,7	7,1
8	Формирование лесной структуры (зарастание) на ранее нелесных землях (открытые болота, пойменные луга)	3919,5	2,6
9	Смена агроценозов рудеральной растительностью, вторичными кустарниковыми зарослями, включая инвазии чужеродными видами	3357,5	2,2
10	Смена агроценозов рудеральными растительными сообществами	2060,8	1,4
11	Начальные процессы восстановительных сукцессий (заболачивание) на бывших сельскохозяйственных землях, внепойменных лугах	3856,8	2,6
12	Инвазии чужеродных видов	108,4	0,1
13	Зарастание болот и пойм тростником	1440,5	1,0
	ВСЕГО	**149 648,8**	**100**

*Процент от исследуемой территории.

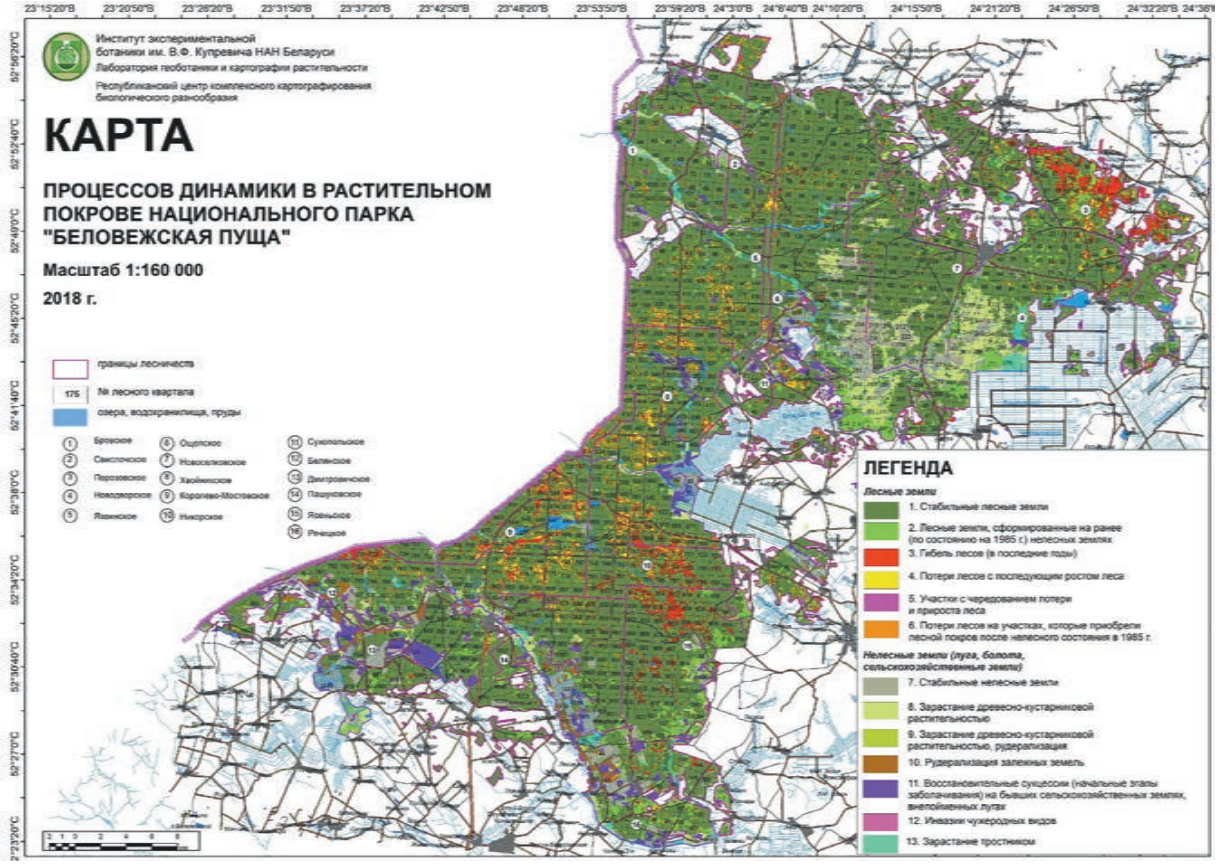


Рис. 6.92. Карта процессов динамики в растительном покрове Национального парка «Беловежская пуща» по состоянию на 2018 г.

6.4.7. 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.) исключительно на основе 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 либо высокодетальные (0,3–0,5 м) спутниковые данные (рис. 6.93).

В наземных исследованиях снимают комплекс показателей и составляют итоговые карты рекреационной дигрессии экосистем ООПТ (*Растительность и биотопы…, 2017*). Средствами ГИС проводится статистическая обработка результатов наземных исследований, строят разновременные карты, иллюстрирующие масштабы рекреационной дигрессии.

Рассмотрим методические подходы на примере обследования рекреационных нагрузок на природные экосистемы Национального парка «Нарочанский». Для оценки рекреационных нагрузок на природные экосистемы исследования проводили в августе 2021 г. на ключевых участках (рис. 6.94). Такие территории охватывают наиболее популярные места отдыха (оборудованные туристические стоянки и т. п.), прибрежные зоны и прилегающие к ним участки лесного фонда в границах Национального парка «Нарочанский».

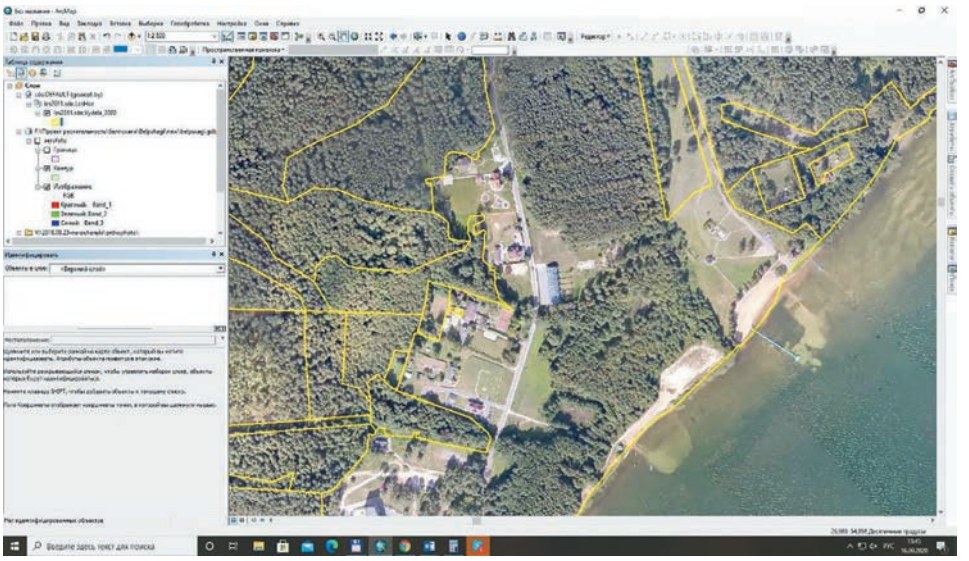


Рис. 6.93. Анализ фотоизображения (снимок БПЛА) и проектирование маршрутов исследований влияния рекреационной нагрузки на экосистемы

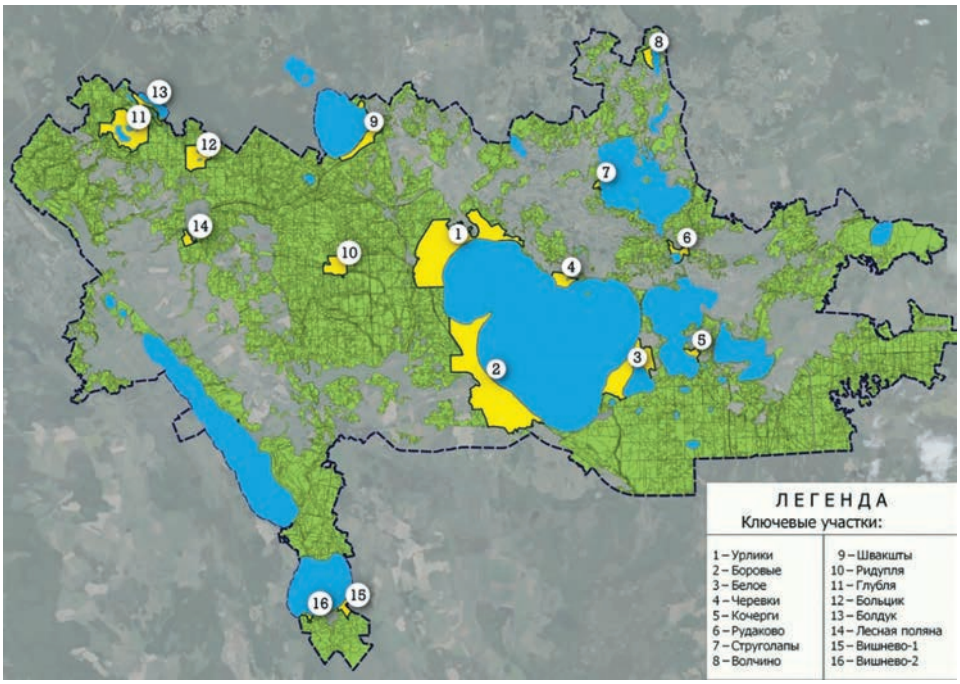
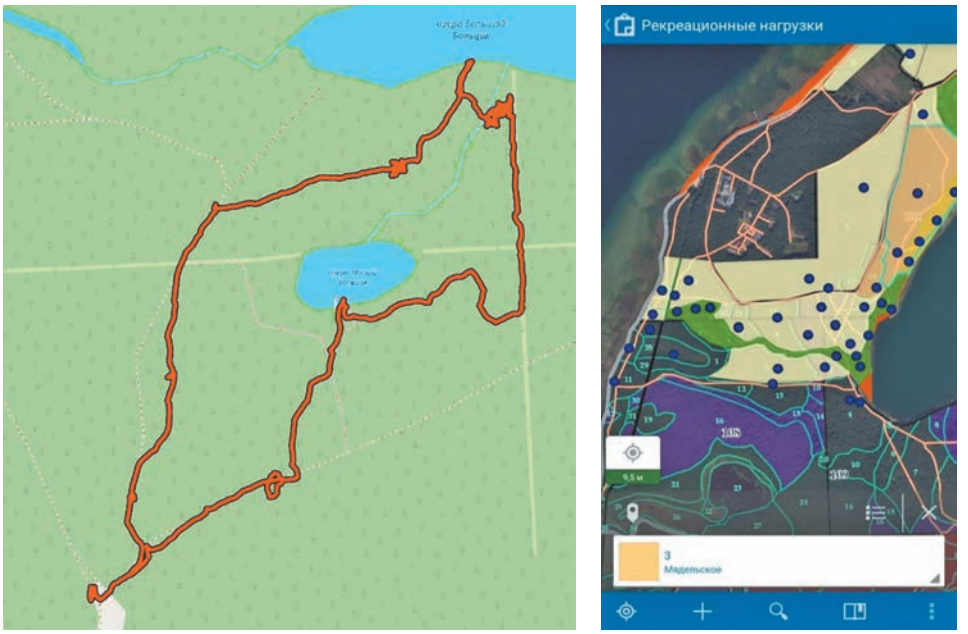


Рис. 6.94. Карта-схема размещения ключевых участков на территории Национального парка «Нарочанский»

Полевые наземные исследования выполнялись в августе 2021 г. маршрутным методом. Маршруты планировались на основе материалов предыдущих туров мониторинга растительного покрова (2011, 2016 гг.) (*Растительность и биотопы…, 2017*), а также данных о размещении объектов рекреационной инфраструктуры, предварительного дешифрирования космоснимков и анализа лесоустроительных материалов.

Технически работа на маршрутах выполнялась с помощью мобильных устройств и различных приложений, которые позволяют оперативно использовать картографические данные из открытых источников, записывать в векторном формате точки и треки маршрутов и др. (рис. 6.95).

Так, запись точек наблюдений и добавление к ним атрибутов производилась в мобильном приложении ArcGIS Collector (2021), которое позволяет объединять на сервере в онлайн-режиме точные линейные или полигональные полевые данные одновременно от разных устройств, что значительно ускоряет выполнение работ на параллельных маршрутах. При использовании ArcGIS Collector в полевых условиях имеются полноценные возможности получения, редактирования данных, последующей отправки их на сервер ГПУ «НП “Нарочанский”» с набором вложений (текстовых, аудио, видео, фото и др.). Собственный сервер ArcGIS Enterprise позволяет создавать веб-решения, в том числе веб-карты для использования в мобильном ГИС-приложении ArcGIS Collector.



а *б*

Рис. 6.95. Фрагмент записи трека на маршруте (*а*) и интерфейс мобильного приложения ArcGIS Collector (*б*)

В качестве базовой подложки использована карта рекреационной нагрузки (по состоянию на 2011 г.) в сочетании со слоем таксационных данных лесных выделов. Таким образом, пользователь может не только видеть свое местоположение при описании конкретного фитоценоза, но и отмечать динамику состояния растительного покрова, сравнивая его актуальное состояние с базовой картой (рис. 6.96).

Полевые маршруты разрабатывались таким образом, чтобы охватить все разнообразие контуров растительности с их различными стадиями дигрессии, которые были определены ранее. Из-за высокой пестроты растительного покрова в рекреационных зонах плотность маршрутов планировалась выше на участках с наивысшими стадиями дигрессии. Особенно детально обследовались зоны вокруг лечебно-оздоровительных учреждений и туристических стоянок, а также прибрежная полоса вокруг оз. Нарочь.

Контур растительности, для которого оценивалась рекреационная нагрузка, устанавливался визуально и соотносился с выделами на лесоустроительном плане. Это было сделано с целью реализации специальных мероприятий по благоустройству и охране рекреационных лесов в границах лесных выделов.

На территории с низкой рекреационной привлекательностью и эстетической ценностью (это, как правило, заболоченные местообитания), а также на однородных крупных участках леса без видимых следов антропогенного

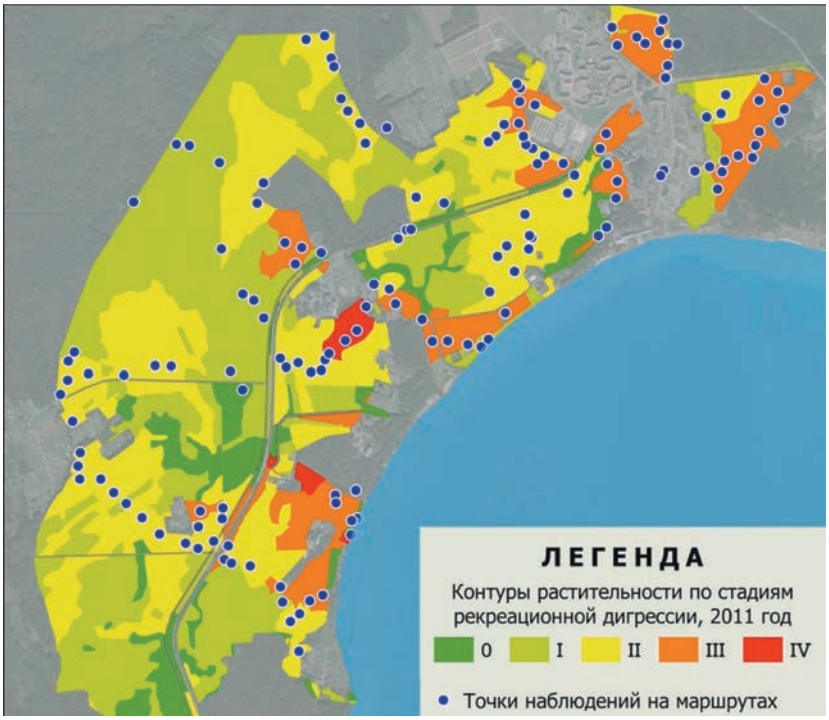


Рис. 6.96. Фрагмент маршрутов с точками наблюдений
(контуры стадий дигрессии растительности – по состоянию на 2011 г.)

воздействия, описания выполнялись для группы выделов в целом и ограничивались кратким диагнозом. Наиболее нарушенные участки (II–IV стадии дигрессии) описывались подробно. Для лесных выделов, в которых наблюдались различные по степени антропогенной нагрузки участки, указывались не только интегральные значения, но, при необходимости, и соответствующие местности фактические стадии дигрессии.

В случаях, когда визуально устанавливалась необходимость оценки, обследования проводились на прилегающих к ключевым участкам территориях. Всего было выполнено 930 отметок состояния растительности. Фотоиллюстрации текущего состояния экосистем, по возможности, приводились для каждой отметки и с помощью приложения ArcGIS Collector передавались на сервер Национального парка «Нарочанский».

Геоботанические описания выполняли по общепринятым методикам (*Миркин, Наумова, Соломещ, 2000; Сукачев, Дылис, 1966*). Размер описаний обычно не превышал 20 × 20 м. В наиболее характерном месте указывались структура фитоценоза и преобладающие виды; в случае необходимости выполнялось полное геоботаническое описание. При наличии рекреационной дигрессии стандартный бланк описаний фитоценоза дополнялся характеристиками, необходимыми для ее оценки: площадь вытоптанной

поверхности, соотношение эколого-ценотических групп растений, характер повреждений, жизненное состояние и др.

С учетом различных исследований по влиянию рекреационных нагрузок на природные экосистемы (*Рожков, 2001; Юркевич, Голод, Красовский, 1989*) были составлены диагнозы и фотоэталоны рекреационной дигрессии лесных фитоценозов для 5 стадий, которые кратко можно охарактеризовать следующим образом.

0 стадия – *ненарушенное состояние*. Тропинки отсутствуют. Древесный и кустарниковый ярусы не фрагментированы, деревья и кустарники равномерно размещены на обследуемом участке. Напочвенный покров сформирован характерными видами растений для данного типа фитоценоза.

I стадия – *слабонарушенное состояние*. Отмечаются тропы шириной до 0,4 м; площадь тропинок и сплошь вытоптанных мест не превышает 10 %. Деревья и кустарники без заметных признаков повреждения, размещены равномерно. Нижние ярусы растительности сложены характерными видами растений для данного типа фитоценоза.

II стадия – *умеренно нарушенное состояние*. Участки с хорошо заметными тропами шириной 0,4–0,8 м, площадь вытоптанной поверхности составляет 11–25 %. Компоненты фитоценоза (древесный ярус, подрост, подлесок, живой напочвенный покров) распадаются на биогруппы, ограниченные тропами и/или полянами. Уменьшается сомкнутость древостоя (0,75–0,65), доля здоровых деревьев составляет 90–80 %. Сокращается число видов, характерных для естественного состояния данного типа лесного фитоценоза, встречаются луговые и сорные виды. Мощность и запас лесной подстилки уменьшается (90–50 %), местами она разрушена. Этот уровень нарушенности следует считать природной границей устойчивости лесных фитоценозов региона (*Юркевич, Голод, Красовский, 1989*).

III стадия – *сильнонарушенное состояние*. Участки с устойчивыми тропами шириной 0,8 м и полянами, вытоптанная площадь составляет 26–60 %. Наблюдается заметное ухудшение жизненного состояния древостоя: доля здоровых деревьев составляет 80–65 %, полнота – 0,65–0,55. Подрост сильно фрагментирован, сохраняется лишь небольшими группами (50–10 % от количества подроста в фитоценозах с ненарушенным состоянием). Подлесок представлен единичными особями. В напочвенном покрове характерные виды для естественного состояния данного типа фитоценоза сохраняются фрагментами на пристволовых повышениях, в куртинах подроста или локальных понижениях, доля луговых и сорных видов – 5–25 %. Запас лесной подстилки по отношению к 0 стадии дигрессии фитоценоза составляет 50–25 %.

IV стадия – *деградирующее состояние фитоценоза*. Площадь вытоптанной поверхности составляет более 60 %. Относительная полнота древостоя обычно не превышает 0,55. Подрост и подлесок практически отсутствуют, растения напочвенного покрова сохраняются только у оснований

стволов деревьев. Лесная подстилка практически полностью отсутствует, обнажены минеральные горизонты почв. Ослабленных и поврежденных деревьев – более 35 % (*Юркевич, Голод, Красовский, 1989*).

По результатам наземных исследований была создана база данных, которая содержит характеристику каждого контура растительности (данные о номерах кварталов, выделов, площади, стадии дигрессии, типах экосистем в соответствии с *Лесоустроительным проектом..., 2021*), на основе которой производился дальнейший анализ, строились карты-схемы, проводился пространственный и статистический анализ средствами ГИС (табл. 6.20, рис. 6.97–6.100).

Таблица 6.20. **Распределение площадей обследованных участков по стадиям дигрессии**

Ключевые участки	Стадии дигрессии, га/%					Общая площадь, га	Среднее значение
	0	I	II	III	IV		
Урлики	209,3 25,5	485,1 59,0	104,6 12,7	22,0 2,7	1,2 0,1	822,2	I,0
Боровые	400,1 37,0	597,4 55,3	69,1 6,5	12,0 1,1	1,5 1,1	1 080,1	0,8
Белое	30,6 9,4	200,2 61,4	60,8 18,7	27,2 8,3	7,2 2,2	326,0	I,4
Кочерги	– –	20,2 54,6	3,7 10,0	10,2 27,6	2,9 7,8	37,0	I,9
Черевки	71,6 86,0	11,4 14,0	– –	– –	– –	83,0	0,2
Рудаково	15,6 41,5	17,3 46,0	4,4 11,7	0,3 0,8	– –	37,6	0,8
Струголапы	3,9 24,7	10,7 67,7	0,3 1,9	0,4 2,5	0,5 3,2	15,8	I,0
Озеро Мядель	0,9 15,5	1,2 20,7	0,7 12,1	2,6 44,8	0,4 6,9	5,8	II,1
Россохи	– –	6,5 81,2	0,9 11,3	0,6 7,5	– –	8,0	I,3
Волчино	32,2 55,8	20,8 36,0	2,8 4,9	1,9 3,3	– –	57,7	0,6
Швакшты	96,3 59,8	45,1 28,0	14,2 8,8	1,9 1,2	3,5 2,2	161,0	0,6
Ридупля	65,5 56,9	49,6 43,1	– –	– –	– –	115,1	0,5
Глубля	132,7 38,2	180,3 52,0	27,9 8,1	4,2 1,2	1,7 0,5	346,8	0,8
Больцик	54,9 35,4	92,3 59,6	6,9 4,5	0,8 0,5	– –	154,9	0,7
Болдук	26,1 51,5	18,0 35,5	3,3 6,5	2,4 4,7	0,9 1,8	50,7	0,7

Окончание табл. 6.20

Ключевые участки	Стадии дигрессии, га/%					Общая площадь, га	Среднее значение
	0	I	II	III	IV		
Вишнево-1	22,9 57,0	12,5 31,1	3,5 8,7	0,5 1,2	0,8 2,0	40,2	0,6
Вишнево-2	– –	10,1 58,4	5,7 32,9	0,8 4,6	0,7 4,1	17,3	I,6
Лесная поляна	12,2 41,6	17,1 58,4	– –	– –	– –	29,3	0,6
Корки	– –	1,0 66,7	0,5 33,3	– –	– –	1,5	I,3
Общий итог	**1174,8**	**1796,8**	**309,3**	**87,8**	**21,3**	**3390,0**	**0,9**

П р и м е ч а н и е. Прочерк означает, что определенной стадии дигрессии нет на ключевом участке.

Анализ распределения территории по функциональному зонированию показал, что в общей обследованной площади (3390 га) преобладают природные экосистемы, расположенные в зоне регулируемого использования (74,8 %). На рекреационную зону приходится 19,9 % учтенной территории, небольшую долю в наблюдениях составляет заповедная зона (4,6 %).

На территории ключевых участков национального парка преобладают слабонарушенные (53 %) и ненарушенные (34,7 %) природные экосистемы. Территория с умеренно нарушенным состоянием растительного покрова занимает 9,1 % учтенной площади. Сильнонарушенных и деградирующих

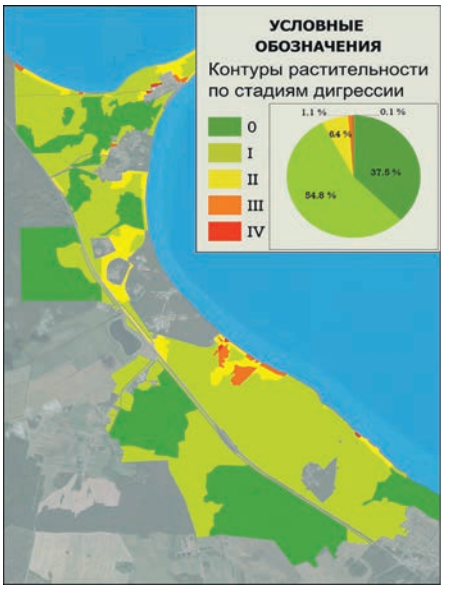


Рис. 6.97. Карта-схема стадий дигрессии ключевого участка «Боровые»

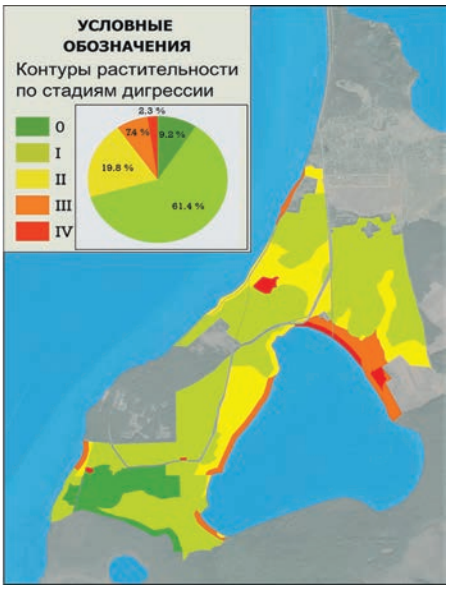


Рис. 6.98. Карта-схема стадий дигрессии ключевого участка «Белое»

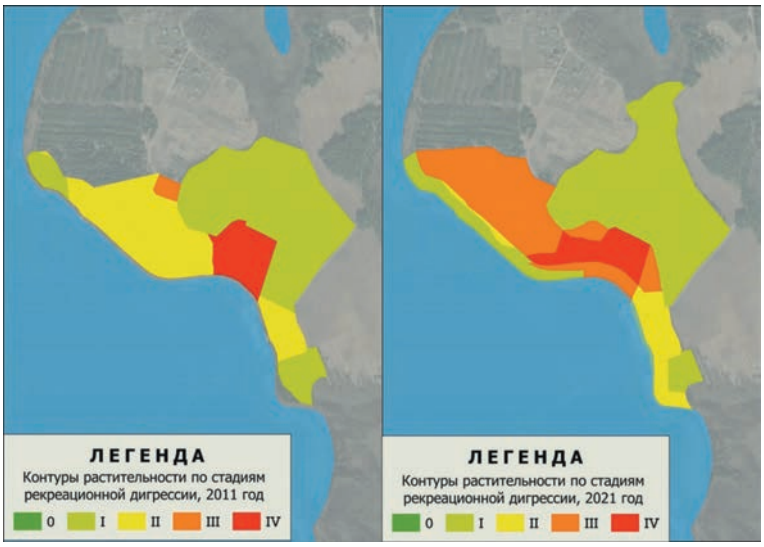


Рис. 6.99. Карта-схема динамики состояния растительного покрова на ключевом участке «Белое»

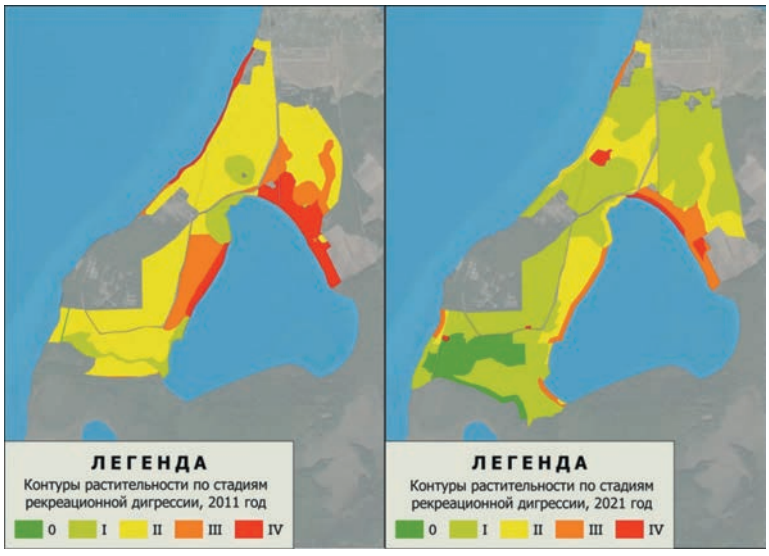


Рис. 6.100. Карта-схема динамики состояния растительного покрова на ключевом участке «Кочерги»

экосистем оказалось относительно мало (2,6 % и 0,6 % соответственно). Обычно умеренно и сильнонарушенные участки приурочены к пляжным зонам лечебно-оздоровительных учреждений и небольших туристических стоянок.

Наибольшее воздействие на природные экосистемы закономерно отмечено для рекреационной зоны, там выявлено 77,9 % всех участков с мак-

симальной стадией дигрессии и 52,6 % участков с сильнонарушенным состоянием экосистем. На зону регулируемого использования приходится 42 % площади с III стадией дигрессии покрова. Наибольшая концентрация таких участков отмечена на туристических стоянках у оз. Белое и д. Кочерги.

Анализ динамики состояния природных экосистем в результате рекреационного воздействия выполнен в границах ключевых участков по отношению к 2011 г. (*Растительность и биотопы…, 2017*).

Результаты исследований позволяют утверждать, что состояние природных экосистем Национального парка «Нарочанский» заметно улучшилось: средняя стадия дигрессии за 10 лет снизилась с 1,4 до 0,9 (см. табл. 6.20).

Состояние растительного покрова (табл. 6.21, см. рис. 6.97–6.100) улучшилось равномерно по всей территории как вокруг лечебно-оздоровительных учреждений, так и в наиболее отдаленных от рекреационных объектов массивах леса. Доля деградированных участков оказалась значительно выше в зонах наблюдения «Белое» и «Кочерги».

Таблица 6.21. **Динамика состояния растительного покрова на ключевых участках**

Ключевые участки	Распределение по стадиям рекреационной дигрессии, %										Среднее значение	
	0		I		II		III		IV			
	2011 г.	2021 г.	2011 г.	2021 г.	2011 г.	2021 г.	2011 г.	2021 г.	2011 г.	2021 г.	2011 г.	2021 г.
Урлики	10,2	25,5	39,9	59,0	37,4	12,7	11,3	2,7	1,2	0,1	I,5	I,0
Боровые	11,2	37,0	69,3	55,3	10,9	6,5	8	1,1	0,6	0,1	I,2	0,8
Белое	0,1	9,4	9,5	61,4	65,2	18,7	15,8	8,3	9,4	2,2	II,3	I,4
Черевки	45,4	86,1	36,6	13,9	18	–	–	–	–	–	0,7	0,2
Кочерги	–	–	56,8	54,6	31,7	10,0	1,7	27,6	9,8	7,8	I,6	II,1
Рудаково	14,3	41,5	22,7	46,0	22,7	11,7	40,3	0,8	–	–	I,9	0,8
Струголапы	69,4	24,7	22,5	67,7	–	1,9	–	2,5	8,1	3,2	0,5	I,0
Россохи	–	–	18,5	81,2	81,5	11,3	–	7,5	–	–	I,8	I,3
Волчино	–	55,8	59,9	36,0	38,1	4,9	2,0	3,3	–	–	I,4	0,6
Ридупля	9,6	56,9	86,9	43,1	3,5	–	–	–	–	–	0,9	0,5
Швакшты	–	59,8	71,2	28,0	17,3	8,8	4,1	1,2	7,4	2,2	I,5	0,6
Вишнево-1	–	57,0	24,7	31,1	51,1	8,7	18,6	1,2	5,6	2,0	II,0	0,7
Вишнево-2	–	–	–	58,4	100	32,9	–	4,6	–	4,1	II,0	I,6
Глубля	2,4	38,2	56,1	52,0	33,9	8,1	7,6	1,2	–	0,5	I,5	0,8
Болдук	12,1	51,5	74,8	35,5	8,4	6,5	3,3	4,7	1,4	1,8	I,1	0,7
Больцик	–	35,4	83,8	59,6	4,0	4,5	12,2	0,5	–	–	I,3	0,8

6.4.8. 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 обобщенном виде работы по учету растительных ресурсов болот с использованием данных дистанционного зондирования включают 4 основных этапа (рис. 6.101). Рассмотрим методические подходы на примере картирования урожайности и запасов ягод клюквы.

1. ***Подбор и обработка материалов космической съемки.*** С учетом имеющихся материальных возможностей был осуществлен поиск и подбор материалов ДЗЗ коллекций Landsat-8 SR и Sentinel-2_TOA. Из коллекций отбирались сцены за 2016–2018 гг., сгруппированные по 3 периодам, отражающим сезонную динамику развития растительности: 16 апреля – 15 июня, 16 июня – 15 августа, 16 августа – 15 октября.

Для каждой сцены рассчитывались: нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), преобразование Tasseled Cap (метод преобра-

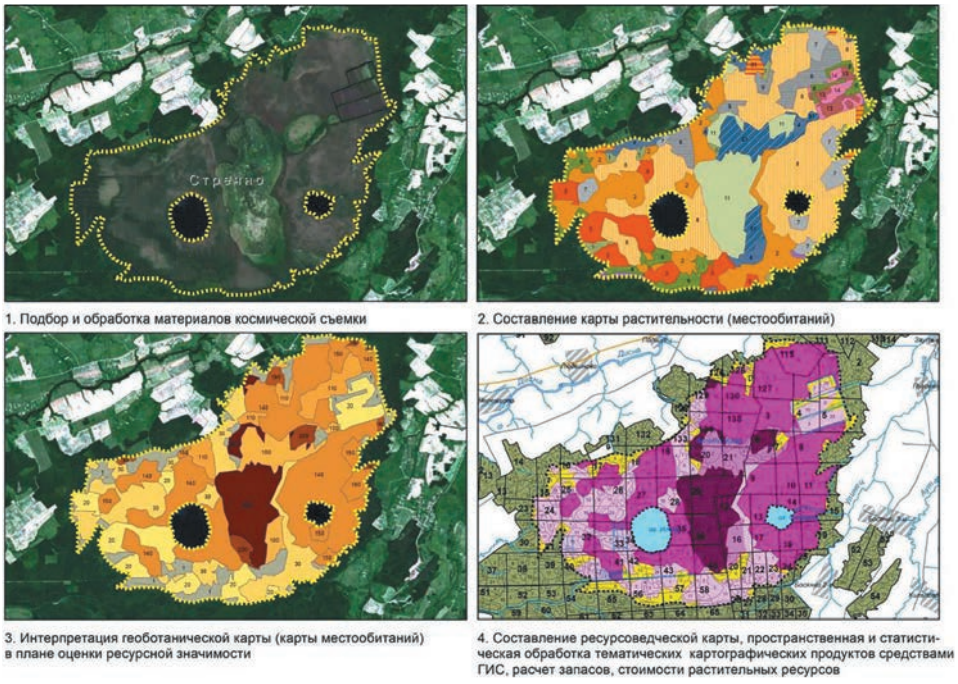


Рис. 6.101. Этапы проектирования маршрута мониторинга использования природных ресурсов (ягод клюквы) на основе данных дистанционного зондирования

зования спектральной информации спутниковых данных в спектральные индикаторы, использующийся при анализе растительности), RGB-синтез и др. Сцены каждого сезонного периода были объединены в одну, где результирующее значение является медианой входных значений, и в единое многоканальное растровое изображение.

2. ***Составление карты растительности (местообитаний) модельных территорий на основе алгоритмов контролируемой классификации.*** На основе материалов наземных исследований создавался векторный слой эталонов местообитаний болот. Каталог эталонов включал 178 полигонов общей площадью 14,6 тыс. га (33 % от общей площади болот региона) (табл. 6.22, рис. 6.102–6.104).

Для каждого класса эталонов было сгенерировано по 50 случайно расположенных точек, из которых случайным образом сформированы тренировочная (70 %) и тестовая выборки и выполнена классификация методом Random Forest.

С целью валидации полученной тематической карты местообитаний (М 1 : 100 000) с применением GPS-навигатора проведена выборочная полевая проверка в объеме не менее 25 % от числа выделов со средним и высоким запасами модельного вида, которая показала достаточно высокую точность дистанционной идентификации биотопов со средним и высоким запасом растительного сырья. Достоверность классификации в наших исследованиях составила в среднем 75,7 %.

3. ***Интерпретация карты местообитаний в плане оценки ресурсной значимости.*** Для составления ресурсоведческих карт мы располагаем авторскими данными по надземной урожайности ягод клюквы на болотах исследуемой территории за 6 лет (2006–2011 гг.). Урожайность ягодников оценивали на пробных площадях (n = 219) методом учетных площадок (*Юркевич, Ярошевич, 1974; Саевич, 1990*).

Максимальной урожайностью ягод клюквы характеризуются мезотрофные простые облесенные группы сообществ, включающие сосново-осоково-кустарничково-сфагновые, березово-кустарничково-травяно-сфагновые и некоторые другие сообщества с господством в моховом покрове *Sphagnum angustifolium* и *S. fallax*. Высокий урожай клюквы характерен также для группы мезотрофных и олиготрофных простых необлесенных сообществ, основными среди которых являются кустарничково-пушицевосфагновые и осоково-сфагновые с теми же эдификаторами в сфагновом покрове.

Анализ литературы, а также ресурсоведческих, экологических и фитоценотических параметров позволил объединить сообщества растительности в несколько групп, характеризующихся близкими показателями урожайности, трофности среды, уровня грунтовых вод и эколого-фитоценотическими особенностями доминантов и эдификаторов. В результате наземных исследований нами выделено 16 типов местообитаний, характеризующихся различными условиями урожайности ягод клюквы.

Таблица 6.22. **Классификационная схема урожайности ягод клюквы в различных типах микроландшафтов болот**

Код	Типы местообитаний	Площадь, га	Урожайность клюквы на объектах наземных исследований			Среднегодовой запас, т (сырорастущего веса)	
			объем выборки	встре-чаемость, %	ср. арифмет., кг/га (сырорастущий вес)	биологи-ческий	эксплуата-ционный
Лесные							
1	Сосновые суходольные	1662,7	–		–	–	–
2	Сосновые кустарничково-сфагновые болотные на олиготрофных болотах	2988,1	14	79	30	70,8	17,7
2а	Пушистоберезово-сосновые с ольхой черной осоково-гигрофитно-травяно-гипново-сфагновые на мезоэвтрофных болотах	62,4	5	80	60	3,0	0,8
3	Сосновые кустарничково-сфагново-зеленомошные на осушенных олиготрофных болотах	3894,2	33	39	20	30,4	7,6
4	Лиственные леса суходольные	1541,3	30	–	–	–	–
5	Лиственные болотные на эвтрофных болотах	3470,5	3	–	–	–	–
5а	Березняки осоково-травяно-сфагновые на мезотрофных болотах	753,2	8	88	100	66,3	16,6
6	Лиственные болотные на осушенных землях	990,5	3	–	–	–	–
Моховые							
7	Кустарничково-облесенные низкорослой сосной (приуроченные к топографической вершине) на олиготрофных болотах	4258,8	19	89	150	568,5	142,2
8	Пушицево-кустарничково-сфагновые облесенные сосной (периферийные) на олиготрофных болотах	8346,1	22	91	140	1063,3	265,8
8а	Осоково-кустарничково-сфагновые слабооблесенные (сомкнутость < 0,4) сосной и березой на олигомезотрофных болотах	1215,8	9	78	190	180,2	45,1
Комплексы на олиготрофных болотах							
9	Гряды – кустарничково-сфагновые облесенные сосной; мочажины – мелкие пушицево-сфагновые слабо обводненные, со следами регрессии	7844,1	5	80	110	690,3	172,6

Окончание табл. 6.22

Код	Типы местообитаний	Площадь, га	Урожайность клюквы на объектах наземных исследований			Среднегодовой запас, т (сырорастущего веса)	
			объем выборки	встре-чаемость, %	ср. арифмет., кг/га (сырорастущий вес)	биологи-ческий	эксплуата-ционный
10	Гряды – кустарничково-сфагновые облесенные сосной; мочажины – очеретниково- и осоково-шейхцериево-сфагновые сильно обводненные; озерки – с открытой водной поверхностью	1404,2	8	88	70	86,5	21,7
Мохово-травяные							
11	Осоково-сфагновые ковры на мезотрофных болотах	2652,5	20	84	260	586,2	146,6
Травяные							
12	Топи на олиготрофных и мезотрофных болотах	1668,0	10	60	20	20,0	5,0
Прочие ресурсонезначимые местообитания							
13	Вересковые пустоши на гарях	5885,1	10	20	10	11,8	2,9
14	Кустарничково-политрихово-сфагновые с разреженным лиственным мелколесьем на осушенных землях	639,9	9	20	20	2,8	0,5
15	Травяно-осоковые с разреженным лиственным мелколесьем на переходных и низинных болотах	1205,0	5	–	–	–	–
16	Открытые участки торфа	1698,3	6	–	–	–	–
17	Прочие местообитания на минеральных почвах, воды	224,9	0	–	–	–	–
	Всего	**52 405,6**	**219**	**–**	**77,1**	**3380,1**	**845,1**

П р и м е ч а н и е. Прочерк означает отсутствие ресурсозначимых популяций *Oxycoccus palustris.*

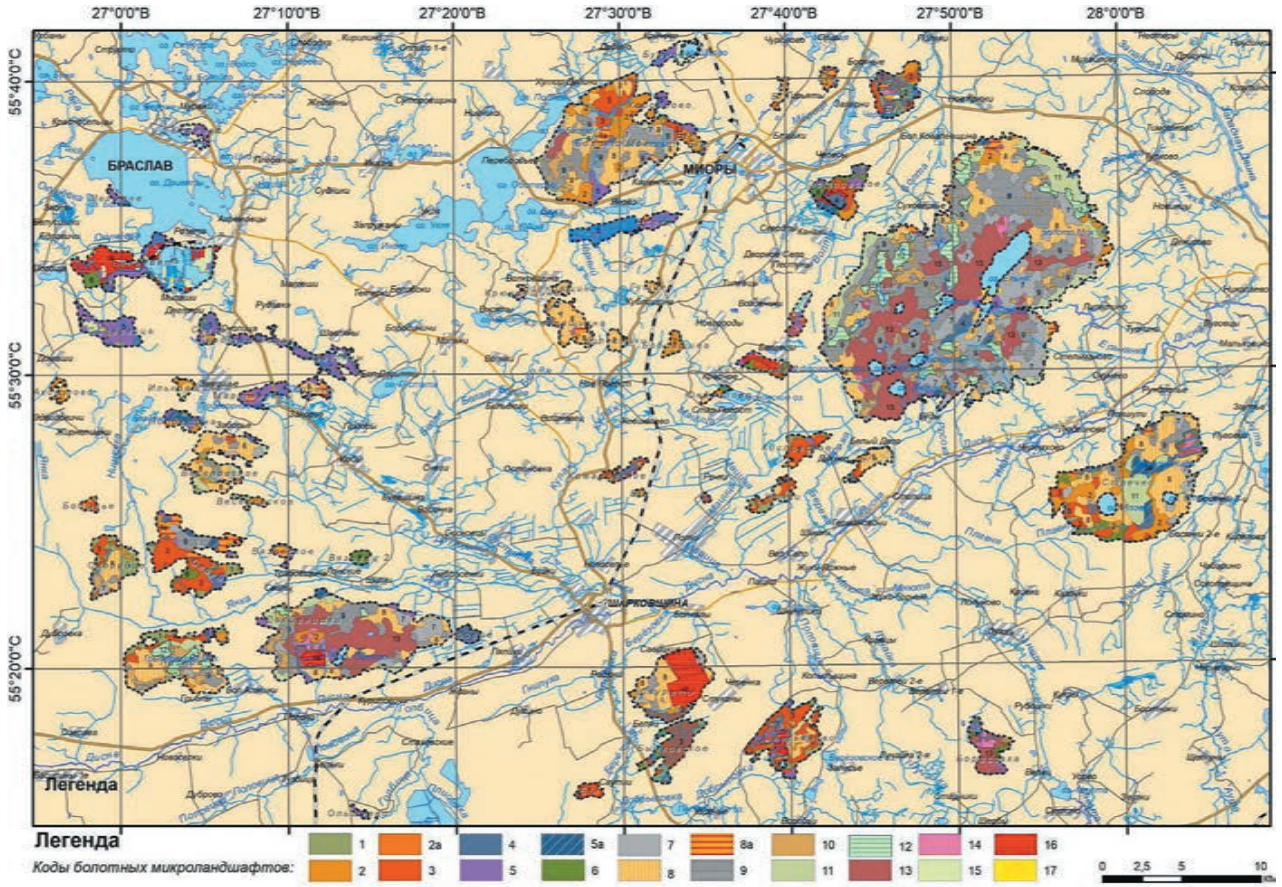


Рис. 6.102. Карта типов болотных микроландшафтов с различной урожайностью ягод клюквы (коды болот см. в табл. 6.22)

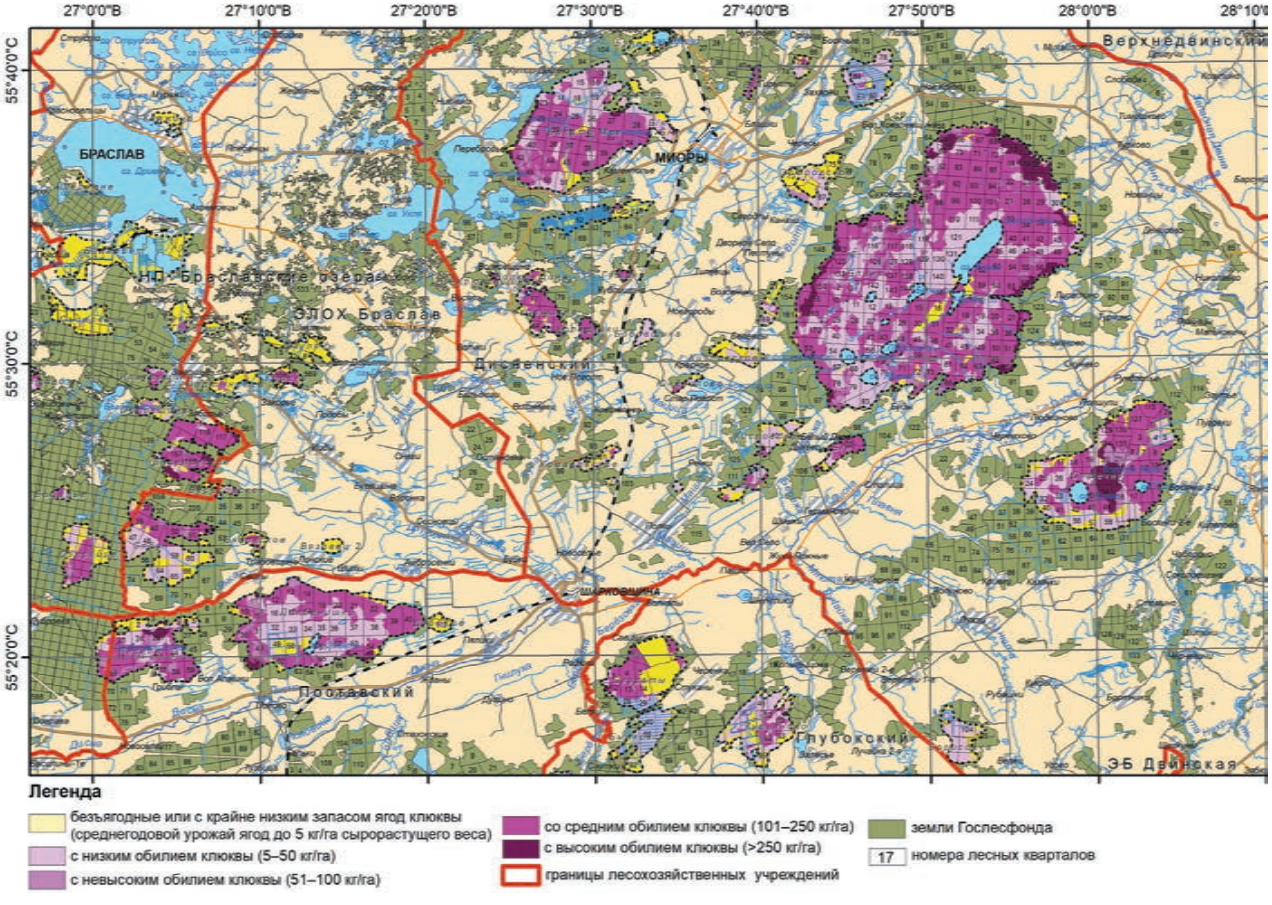


Рис. 6.103. Зонирование болот по величине средней многолетней урожайности ягод клюквы

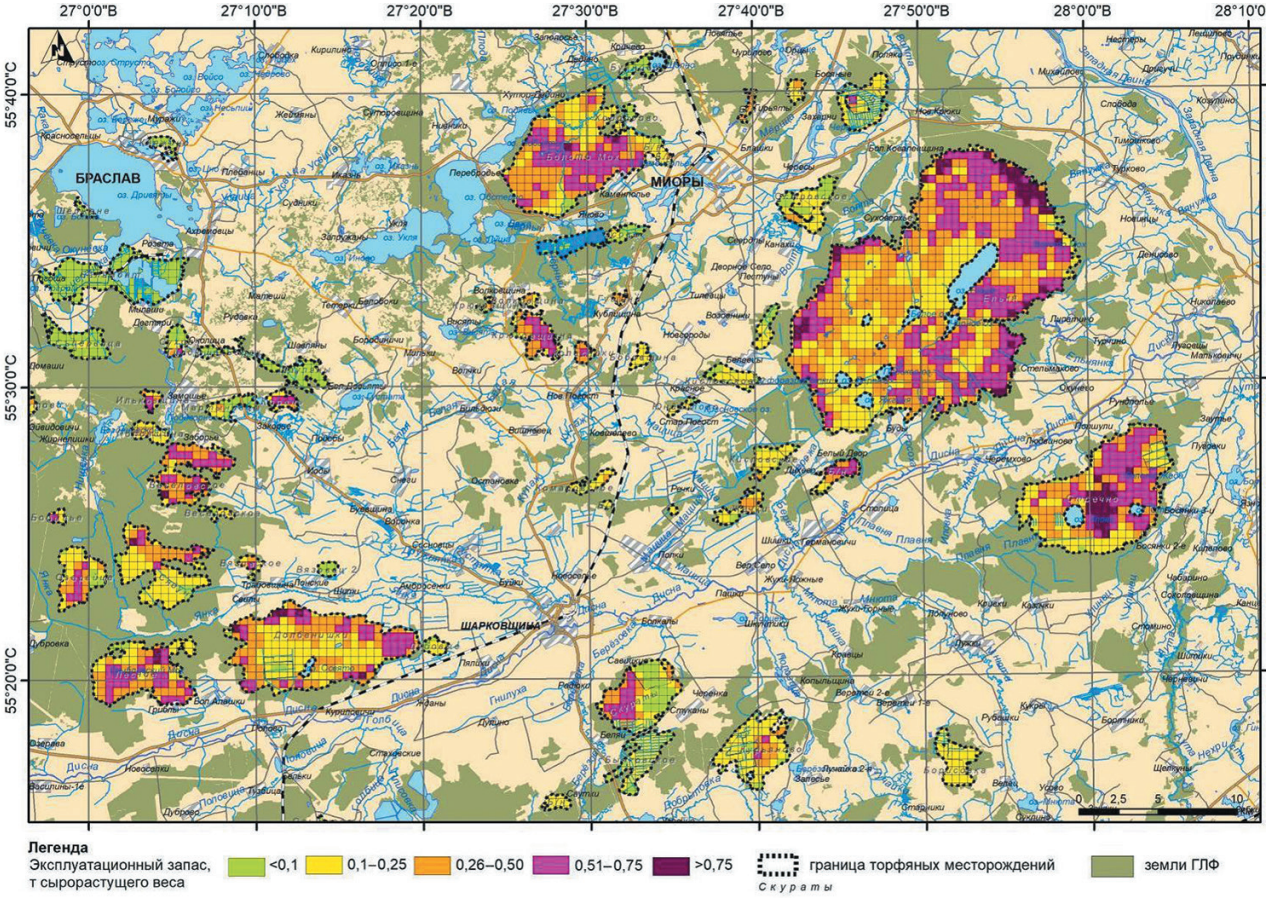


Рис. 6.104. Карта-схема распределения значений среднегодового эксплуатационного запаса ягод клюквы

4. ***Составление ресурсоведческой карты, пространственная и статистическая обработка картографического продукта средствами ГИС, расчетов запасов, стоимости среднегодового урожая ягод клюквы.*** На основе данных среднегодовой многолетней урожайности близкие по обилию и урожайности клюквы биотопы объединены в 5 групп: безъягодные, практически безъягодные (<5 кг/га сырорастущего веса), с низким обилием (5–50 кг/га), с невысоким (51–100 кг/га), со средним (101–250 кг/га), с высоким (>250 кг) обилием.

В программной среде ArcGIS Desktop составлялась цифровая тематическая карта, увязанная с материалами лесоустройства, дорожной сетью и другим вспомогательным картографическим материалом. Далее рассчитывались площади ресурсозначимых участков, запасы по модельным болотам и ягодоносным участкам, составлялись карта запасов ягод клюквы с использованием регулярной сети 1 × 1 км. На заключительном этапе исследований проводилось формирование сводной ведомости по запасам ягод клюквы для болот региона с расчетом среднегодовой стоимостной оценки.

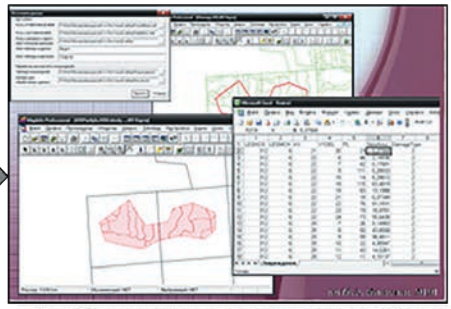
6.4.9. Оценка ущерба от действия антропогенных и естественных факторов

Нередко в практике мониторинга возникают конфликтные ситуации при расчете ущерба после нарушения природоохранного законодательства. С использованием стандартных функций, реализованных в большинстве существующих ГИС, ДДЗ нами разработан ряд оригинальных методик определения негативного воздействия антропогенных и естественных факторов и масштабов экономического ущерба для природной среды (рис. 6.105, 6.106). При этом следует отметить, что применение архивных материалов ДЗЗ, лесо- и 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.

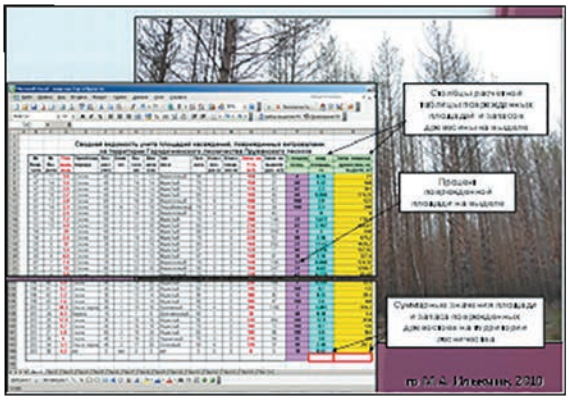
1. ***Подбор космической съемки на исследуемую территорию до и после воздействия негативного фактора природного или естественного происхождения.***

2. ***Обработка снимков и увязка их с материалами земле- и лесоустройства.*** При обработке космических снимков выполнялись: радиометрическая, геометрическая и географическая коррекции снимков (трансформирование снимка в нужную проекцию и систему координат), синтезирование с использованием комбинации различных спектральных каналов, кадрирование. С применением ГИС производится увязка отдельных векторных слоев лесо- и землеустройства с материалами космической съемки и приведением их к общему масштабу в единой географической системе координат и проекции.

Определение границ участков лесного фонда, поврежденных в результате ураганных ветров (по материалам космической съемки ALOS AVNIR)

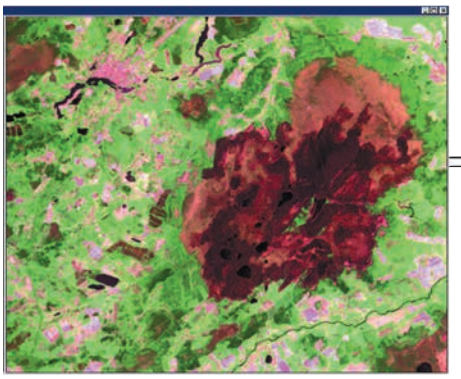


Разработка программного модуля ресурсной оценки поврежденных насаждений на базе MapInfo

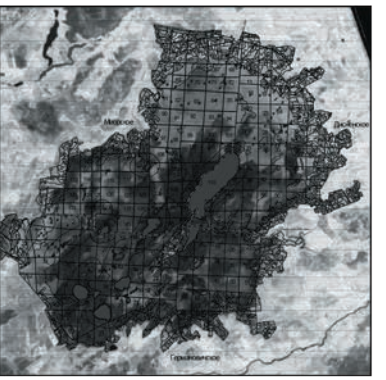


Расчет площадей и запасов поврежденных древостоев

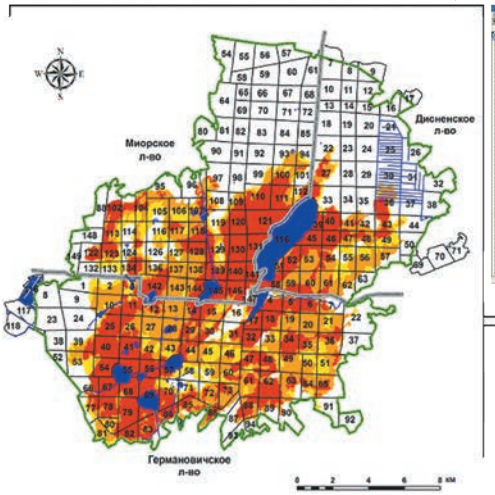
Рис. 6.105. Технология стоимостной оценки ветровалов (территория Червенского лесхоза, дата съемки 19.07.2009 г.) (по данным *Ильючик, Цай, 2011*)



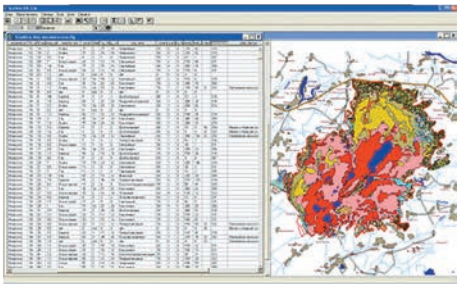
Подбор материалов космической съемки исследуемой территории



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 допожарный 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*–Iклассов бонитета)	–«–	339.8	10.1
Запас древесины в погибших насаждениях, в т. ч.:	тыс. м³га	234.0	21.8
• в спелых и перестойных	–«–	92.6	45.7
• в высокопродуктивных (I–Iа 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

Рис. 6.106. Технология стоимостной оценки последствий для территорий лесного фонда, поврежденных пожарами

3. ***Дешифрирование снимков и определение площадей, поврежденных в результате воздействия.*** В интерактивном режиме, используя методы дешифрирования и сопоставляя материалы космической съемки до и после воздействия с составлением специальной карты повреждения природных экосистем.

4. ***Составление итоговой тематической карты и ведомости поврежденных участков.*** После полевой проверки полученных результатов составляется итоговая карта повреждения и ведомость поврежденных участков особо охраняемой природной территории (табл. 6.23).

Таблица 6.23. **Обобщенные сведения о последствии пожара 2002 г. для природных экосистем Республиканского заказника «Ельня»**

Показатель	Характеристика повреждения		
	Единица измерения	Значение	Удельная доля от показателя в допожарный период, %
Площадь поврежденных пожаром участков, в т. ч.:	га	13 145,0	52,0
I степень (умеренно поврежденные)	га	1818,6	7,2
II степень (сильно поврежденные)	га	5268,7	20,8
III степень (очень сильно поврежденные)	га	6058,7	24,0
Площадь погибших насаждений, в т. ч.:	га	2364,0	28,0
спелых и перестойных	га	525,6	34,8
высокопродуктивных (I^a–I классов бонитета)	га	339,8	10,1
Запас древесины в погибших насаждениях, в т. ч.:	тыс. $м^3$/га	234,0	21,8
в спелых и перестойных	тыс. $м^3$/га	92,6	45,7
в высокопродуктивных (I^a–I классов бонитета)	тыс. $м^3$/га	88,6	21,7
Площадь поврежденных высокопродуктивных участков ягодников и лекарственных растений, в т. ч:	га	1536,7	65,3
клюквы	га	1308,7	74,6
черники	га	71,2	34,5
голубики	га	3,4	18,9
багульника болотного	га	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**

6.4.10. Определение стоимостной оценки биологического разнообразия и экосистемных услуг – перспективный подход к оценке материального ущерба от действия антропогенных и естественных факторов

В последние годы в Беларуси при создании ООПТ, прогнозировании воздействия на окружающую среду хозяйственных проектов все более широкое применение находит практика стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия. Методология расчетов определяется техническим кодексом установившейся практики (ТКП) 17.02-10-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия».

Стоимостная оценка экосистемных услуг базируется на стоимостной оценке экологического ресурса различных типов экологических систем. Определение стоимостной ценности биологического разнообразия основано на определении капитализированной величины стоимости экологического ресурса различных типов экологических систем.

Использовался методический подход, основанный на определении *интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг* (денежное выражение экономической ценности системы взаимосвязанных и взаимообусловленных функций природных экологических систем, способствующих удовлетворению совокупности социально-экологических потребностей общества).

Рассмотрим некоторые результаты экономической оценки природопользования на примере Республиканского заказника «Ольманские болота». Расчет интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг проводится по 3 основным («целевым») типам природных экологических систем: лесным, болотным и водным.

Проведение стоимостной оценки экосистемных услуг производилось в 3 этапа: предварительный этап; полевое обследование; проведение расчетов стоимостной оценки экосистемных услуг.

1. ***Предварительный этап*** включает получение первичной информации о биологическом разнообразии и ресурсах заказника. На первом этапе исследований для интеграции разнородных показателей создавали географическую информационную систему (ГИС), которая содержала следующие векторные слои (рис. 6.107): 1) крупномасштабная карта растительности (М 1 : 25 000); 2) лесоводственно-таксационная характеристика насаждений; 3) торфяная залежь; 4) редкие и типичные биотопы; 5) охраняемые виды растений и животных; 6) биологические ресурсы; 7) водные ресурсы; 8) данные по урожайности и запасах клюквенников.

Наполнение баз данных ГИС осуществлялось с привлечением результатов собственных исследований, кадастровых справочников, литературных источников, данных дистанционного зондирования. С использованием функций пространственного анализа ГИС была сформирована единая база

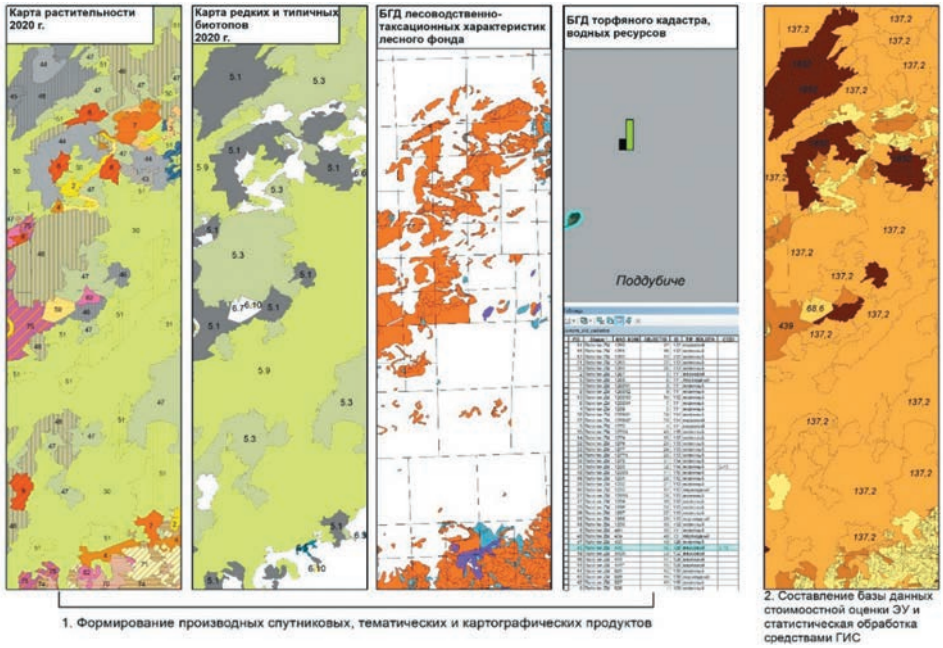


Рис. 6.107. Схема расчета стоимостной оценки экосистемных услуг с использованием ГИС

данных и сводные матрицы для расчетов. В исследованиях главный объект характеристики – биогеоценоз, границы которого условно совпадают с границами выдела геоботанической карты (базовая карта анализа).

2. ***Интеграция спутниковых, тематических и картографических продуктов в единую базу данных, комплексная пространственная и статистическая обработка средствами ГИС, расчет стоимостной оценки экосистемных услуг.***

На основе синтеза спутниковых, тематических и картографических продуктов создавалась интегральная база данных показателей, необходимых для расчета стоимостной оценки экосистемных услуг. Расчеты производились с помощью стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS Desktop 10.5.

Выполнение расчетов стоимостной оценки экосистемных услуг проводится в соответствии с п. 5–6 (ТКП) 17. 02-10-2013 (02120).

3. ***Анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений по вопросам состояния и динамики лесных и других наземных экосистем модельной территории.***

По результатам анализа данных установлена стоимостная оценка экосистемных услуг лесов заказника «Ольманские болота» (рис. 6.108, 6.109, табл. 6.24):

текущая (средневзвешенная) оценка услуг лесных экологических систем – 66,4 USD/га/год;

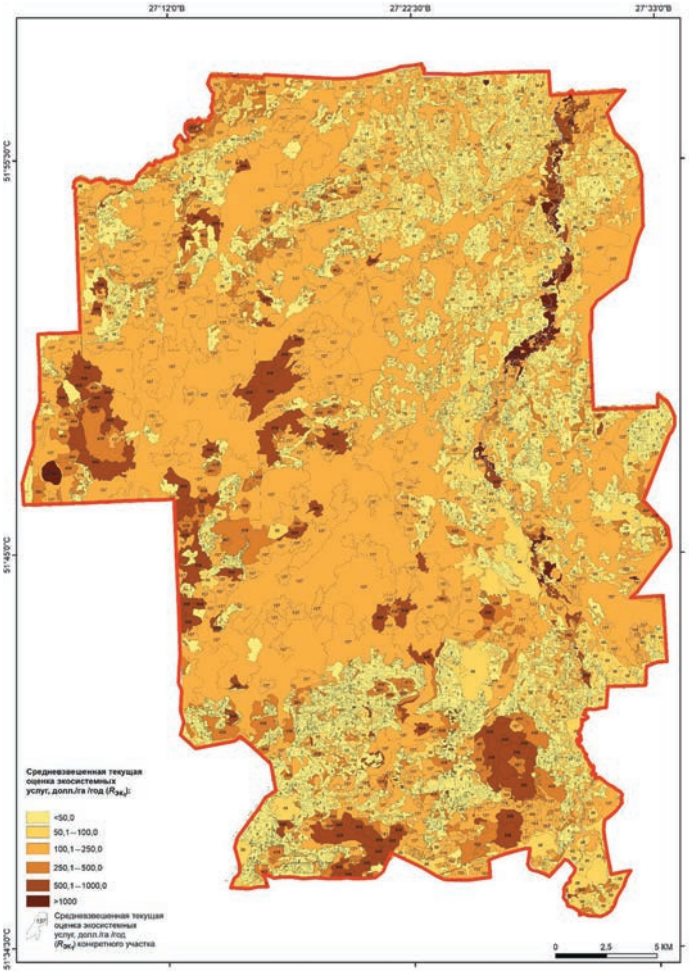


Рис. 6.108. Текущая оценка экосистемных услуг Республиканского заказника «Ольманские болота»

интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг – 3 138 426 USD/год.

В результате воздействия пожаров и других негативных факторов естественного и антропогенного воздействия произошло нарушение (или утрата) экосистемных функций лесных экосистем на площади 5140,6 га, что в стоимостном выражении составляет 213 174 USD/год.

По результатам анализа данных табл. 6.25 установлены стоимостная оценка услуг водных экосистем ООПТ, в том числе:

текущая (средневзвешенная) оценка услуг водных экологических систем – 22 500 USD/га/год;

интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг – 2934 000 USD/год.

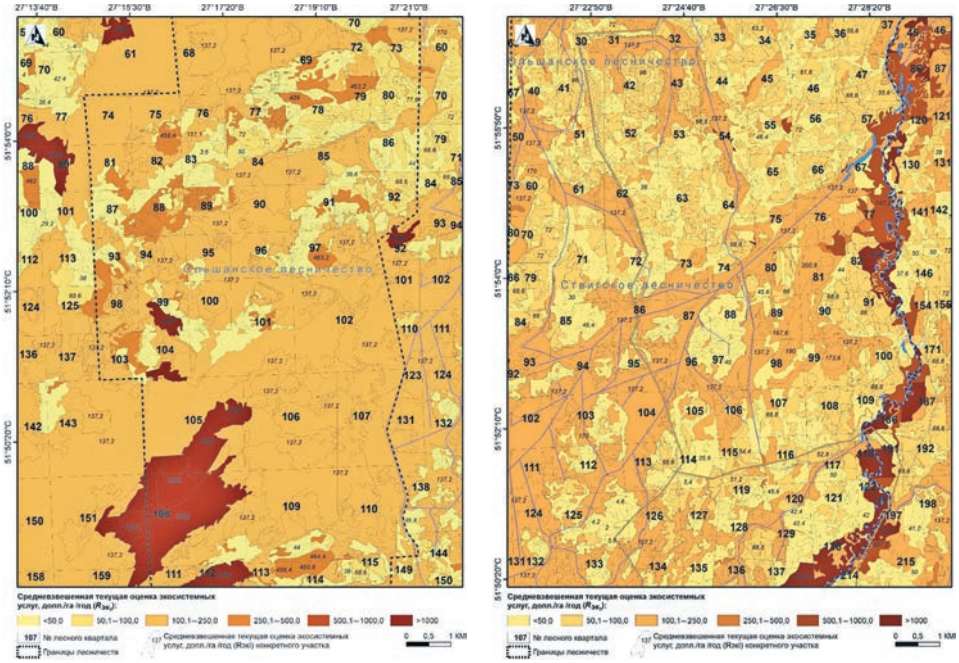


Рис. 6.109. Фрагмент карты текущей оценки экосистемных услуг Республиканского заказника «Ольманские болота», увязанной с материалами лесоустройства

По результатам анализа данных табл. 6.26 установленная стоимостная оценка услуг болотных экосистем заказника «Ольманские болота» составляет:

текущая (средневзвешенная) оценка услуг экологических систем болот – 705,4 USD/га/год;

интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг – 17 499 769 USD/год.

В целом общая стоимость услуг болотных экосистем заказника «Ольманские болота» составляет 23 572 195 USD/год. Вклад лесов в балансовую стоимость экосистемных услуг составляет 13,3 %, водных – 12,5, болот (включая болотные леса) – 74,2 % (табл. 6.27).

Таблица 6.24. **Интегральная оценка услуг лесных экосистем Республиканского заказника «Ольманские болота»**

Тип экосистемы	Площадь, га	Интегральная оценка		
		Средневзвешенная удельная текущая оценка экосистемы, USD/га (R_i)	Средневзвешенная текущая оценка экосистемных услуг, USD/га/год (Rэк$_i$)	Интегральная стоимостная оценка экосист. услуг, USD/год (Цэу)
Лесные и кустарниковые экосистемы	47 308,4	16,3	66,4	3 138 426

Таблица 6.25. **Интегральная оценка экосистемных услуг водных экосистем Республиканского заказника «Ольманские болота»**

Тип экосистемы	Площадь, га	Интегральная оценка		
		Средневзвешенная удельная текущая оценка экосистемы, USD/га (R_i)	Средневзвешенная текущая оценка экосистемных услуг, USD/га/год ($Rэк_i$)	Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг, USD/год (Цэу)
Водные экосистемы	130,4	15 000	22 500	2 934 000

Таблица 6.26. **Интегральная оценка услуг экосистем болот Республиканского заказника «Ольманские болота»**

Тип экосистемы	Площадь участка, га	Удельная текущая оценка экосистемы, USD/га (R_i)	Текущая оценка экосистемных услуг, USD/га/год ($Rэк_i$)	Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг, USD/год (Цэу)
Непокрытые лесом верховые болота	5160,2	37,8	1852,2	9 557 722
Непокрытые лесом низинные и переходные болота	43 474,2	2,8	137,2	5 964 660
Итого по непокрытым лесом болотам	**48 634,4**	**15,7**	**769,0**	**15 522 382**
Лесная экосистема (покрытые лесом верховые болота)	2443,2	113,7	454,8	1 111 167
Лесная экосистема (покрытые лесом низинные и переходные болота)	5774,8	37,5	150,0	866 220
Итого по лесным болотам	**8218,0**	**82,2**	**329**	**1 977 387**
Всего	**56 852,4**	**25,3**	**705,4**	**17 499 769**

Таблица 6.27. **Сводная таблица монетизации экосистемных услуг природного комплекса Республиканского заказника «Ольманские болота»**

Показатель	USD/год	%
Суммарная оценка экосистемных услуг территории, в т. ч.:	**23 572 195**	**100,0**
интегральная оценка услуг лесных экосистем	3 138 426	13,3
интегральная оценка услуг водных экологических систем	2 934 000	12,5
интегральная оценка услуг экологических систем болот (лесных и нелесных)	17 499 769	74,2

При наличии антропогенных нарушений целесообразно рассчитывать стоимостную оценку потери экосистемных услуг. В пределах заказника «Ольманские болота» нарушения связаны преимущественно с пожарами (лесными и торфяными), рубками леса, строительством дорог. Схема последовательности работ включает следующие этапы (рис. 6.110, табл. 6.28):

1) расчет стоимостной оценки экосистемных услуг до начала воздействия;

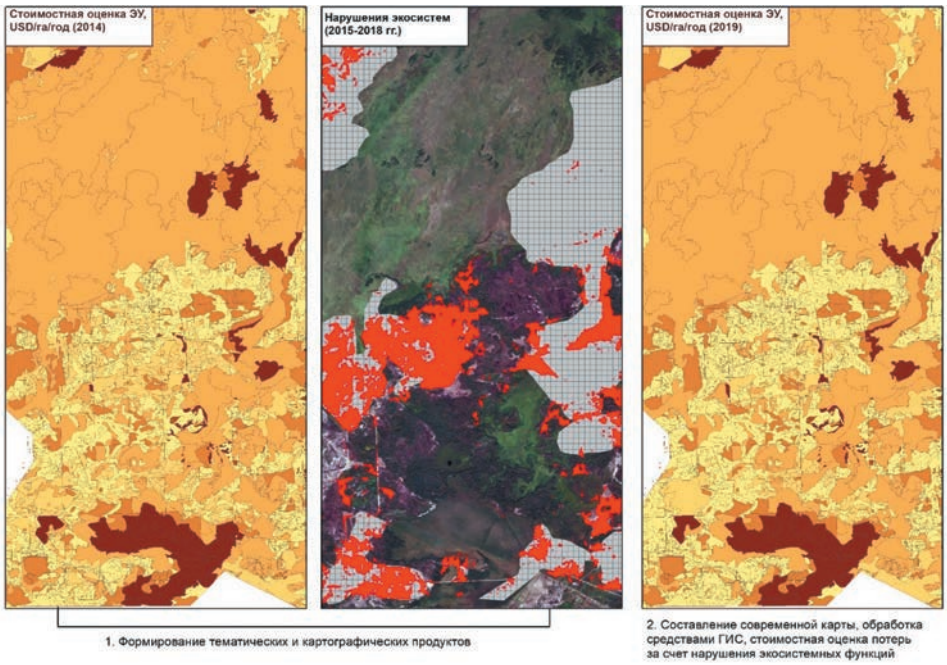


Рис. 6.110. Схема расчета стоимостной оценки потерь в результате нарушения экосистемных функций

2) дешифрирование снимков и определение площадей, поврежденных в результате воздействия. В интерактивном режиме, используя методы дешифрирования и сопоставляя материалы космической съемки до и после прохождения пожара, была составлена карта (М 1 : 100 000) антропогенных нарушений экосистем;

3) составление ведомости поврежденных участков и современной карты стоимостной оценки экосистемных услуг, расчет стоимостных потерь.

Таблица 6.28. **Интегральная оценка услуг лесных экосистем Республиканского заказника «Ольманские болота»**

Тип экосистемы	Площадь, га	Интегральная оценка		
		Средневзвешенная удельная текущая оценка экосистемы, USD/га (R_i)	Средневзвешенная текущая оценка экосистемных услуг, USD/га/год ($Rэк_i$)	Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг, USD/год (Цэу)
На 01.01.2015 г.				
Лесные и кустарниковые экосистемы	52 449,0	15,8	63,1	3 351 600
На 01.01.2019 г.				
Лесные и кустарниковые экосистемы	47 308,4	16,3	66,4	3 138 426
Разница	–5140,6	+0,5	+3,3	–213 174

Установлено, что в пределах исследуемой территории в результате воздействия пожаров и других негативных факторов естественного и антропогенного воздействия произошло нарушение (или утрата) экосистемных функций лесных экосистем на площади 5140,6 га, что в стоимостном выражении составляет 213 174 USD/год.

6.4.11. Мониторинг экосистем с использованием беспилотных летательных аппаратов

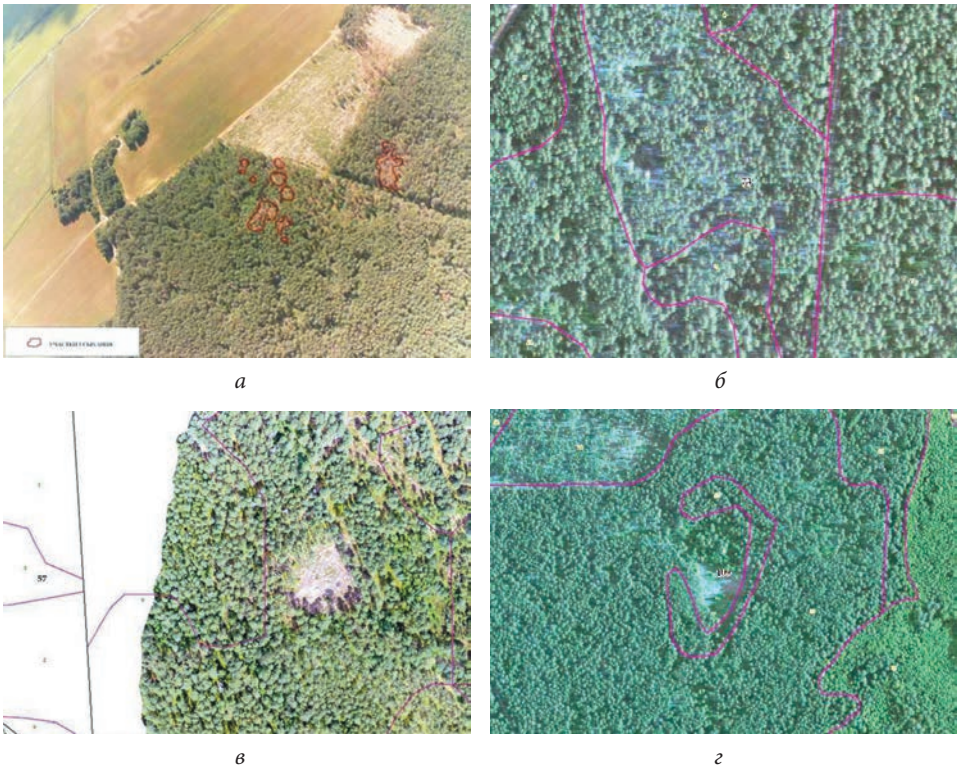
Мониторинг объектов лесного хозяйства и лесопатологический мониторинг с помощью беспилотников. Использование беспилотных летательных аппаратов для регулярного мониторинга лесных угодий позволяет получать свежие данные в максимально короткие сроки. При этом существенно снижаются затраты по сравнению с применением для этих целей дорогостоящей пилотируемой авиации или применение космических спутников.

Беспилотная аэрофотосъемка способна предоставить данные, которые позволяют 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 (рис. 6.111). Все это обеспечивает содержание лесных угодий в хорошем состоянии и помогает рационально вести лесное хозяйство. Также съемка с БПЛА эффективна для оценки состояния несомкнувшихся культур (рис. 6.112), а на основе данных многозональной съемки возможно получение более детальной информации, в том числе и по биометрическим показателям (рис. 6.113).

Ожидаемый результат применения БПЛА при мониторинге лесных объектов: заблаговременное выявление участков с отрицательными лесопатологическими тенденциями (рис. 6.114), снижение производимых затрат на проведение мониторинга состояния лесов, предотвращение возможного ущерба за счет своевременности реализации лесозащитных мероприятий, оценка качества проведенных работ по созданию лесных культур.

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.

С помощью беспилотников реализуется возможность поиска лесных участков с производимой незаконной деятельностью, выявление мест нахождения производственных сил нелегальных лесорубов, сбора информацион-



а *б*

в *г*

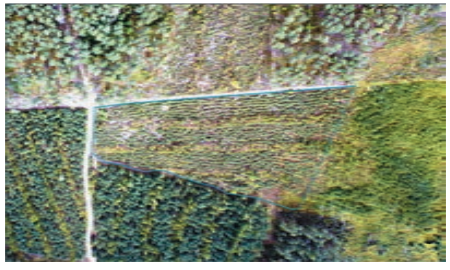
Рис. 6.111. Мониторинг лесов Национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА: *а* – усыхание лесов, *б* – проходная рубка, *в*, *г* – сплошная рубка

ных данных и наведения на эти участки оперативных групп для пресечения незаконных действий.

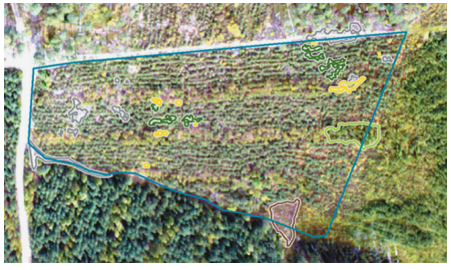
Такой подход к существующей проблеме позволяет расширить контролируемые районы, выявлять маршруты движения техники и объемы транспортировки незаконно добытой лесопродукции, места хранения оборудования и заготовленной древесины.

Ожидаемый результат: повышение раскрываемости экономических преступлений, организация действенной системы по охране особо ценных участков лесного фонда от незаконных вырубок.

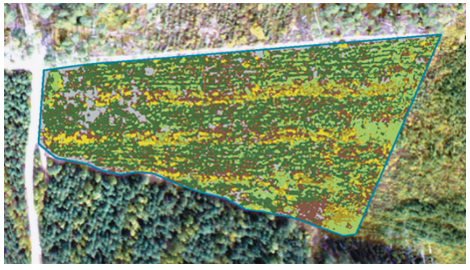
Применение БПЛА для мониторинга пожарной обстановки и при борьбе с лесными и торфяными пожарами. При применении БПЛА в борьбе с лесными пожарами необходимо решить следующие технологические задачи: обеспечение непрерывного мониторинга распространения лесных пожаров, в том числе крупных, при сильном задымлении; передача всей информации в штабы тушения лесных пожаров на большом удалении (рис. 6.115), ретрансляция связи, передача данных информации между командами пожаротушения и штабом для повышения качества управления силами тушения пожаров.



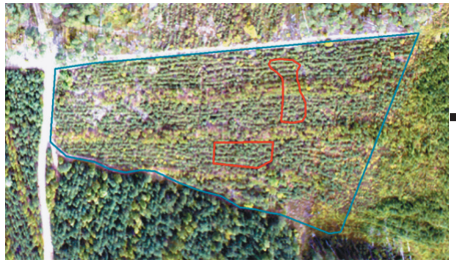
1. Участок лесных культур,
по границам которого построен
полигональный объект (синего цвета)



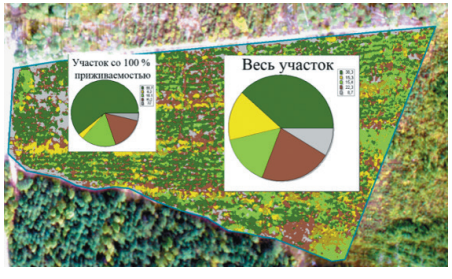
2. Участок лесных культур,
по границам которого построен
полигональный объект (синего цвета)



3. Выделение эталонных участков
(цветами обозначены разные категории
участков)



4. Выделение участков
со 100 %-ной сохранностью



5. Распределение пикселей
классифицированного изображения

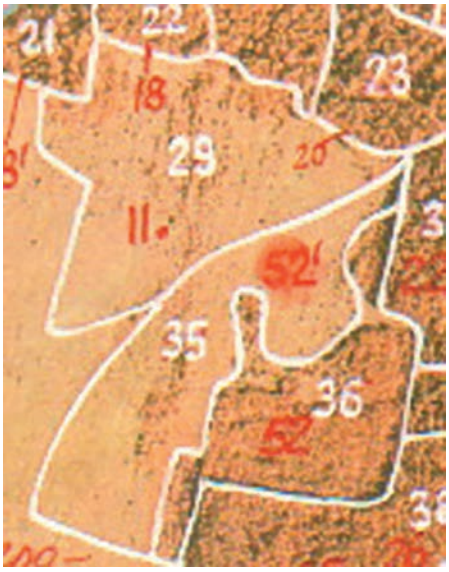
Расчет состава насаждения (для всего участка):
С = 1 331 969 · 100 % / 2 399 796 = 56 %,
Б = 1 067 827 · 100 % / 2 399 796 = 44 %,
расчетная формула состава – 6С4Б.
Расчет состава насаждения (на участке со 100 %-ной приживаемостью):
С = 55 775 · 100 % / 80 094 = 70 %,
Б = 24 322 · 100 % / 80 094 = 30 %,
расчетная формула состава – 7С3Б.

Рис. 6.112. Пример картографирования и оценки состояния несомкнувшихся лесных культур с использованием материалов съемки беспилотного авиационного комплекса

Несомкнувшиеся лесные культуры ели в возрасте 1 года (выд. 3 кв. 5 Пуховичского лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз»)

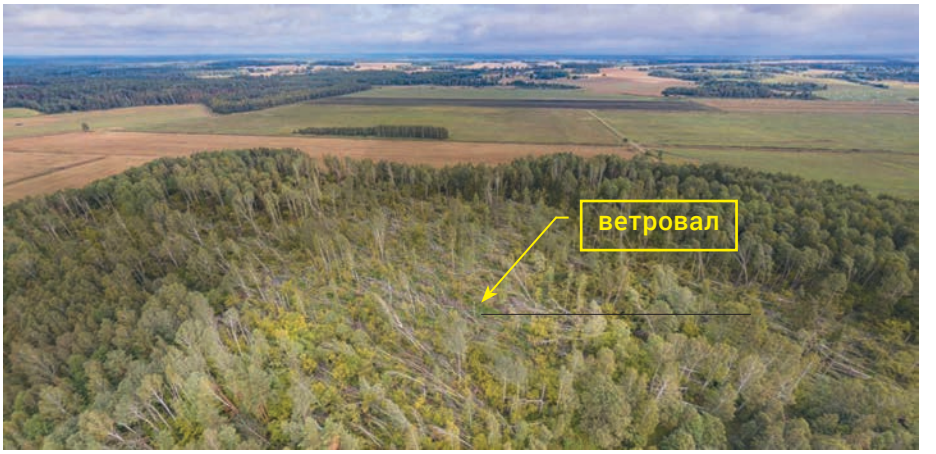
Лесные культуры в возрасте 10 лет (состав 5С5Б, полнота 0,5; выд. 18 кв. 17 Пуховичского лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз»)

Погибшие лесные культуры (выд. 28 кв. 15 Пуховичского лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз»)



Прогалины, оставленные под естественное заращивание (выд. 29, 35 кв. 4 Пуховичского лесничества ГЛХУ «Пуховичский лесхоз»)

Рис. 6.113. Оценка состояния несомкнувшихся культур и прогалин с использованием материалов съемки беспилотного авиационного комплекса (2013 г.)



а

б

в

г

Рис. 6.114. Мониторинг ветровалов и усыхания в лесах Национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА: *а*, *б* – формирование ортофотоплана для оперативного скрининга угроз, *в* – увязка снимка с повреждением лесов с материалами лесоустройства, *г* – оценка площадей ветровалов (м^2)

Эти задачи могут решаться БПЛА малого и среднего классов. При дальности передачи информации до 150 км, обеспечения хорошей работы в условиях сложного рельефа данные задачи могут решаться БПЛА среднего и большого классов.

Ожидаемые результаты: обеспечение мониторинга пожарной ситуации в кризисной зоне, повышение качества связи при 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.

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.

Патрулирование особо охраняемой природной территории. Накопленный опыт показывает, что применение БПЛА для осуществления патрулирования лесного фонда является одной из 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

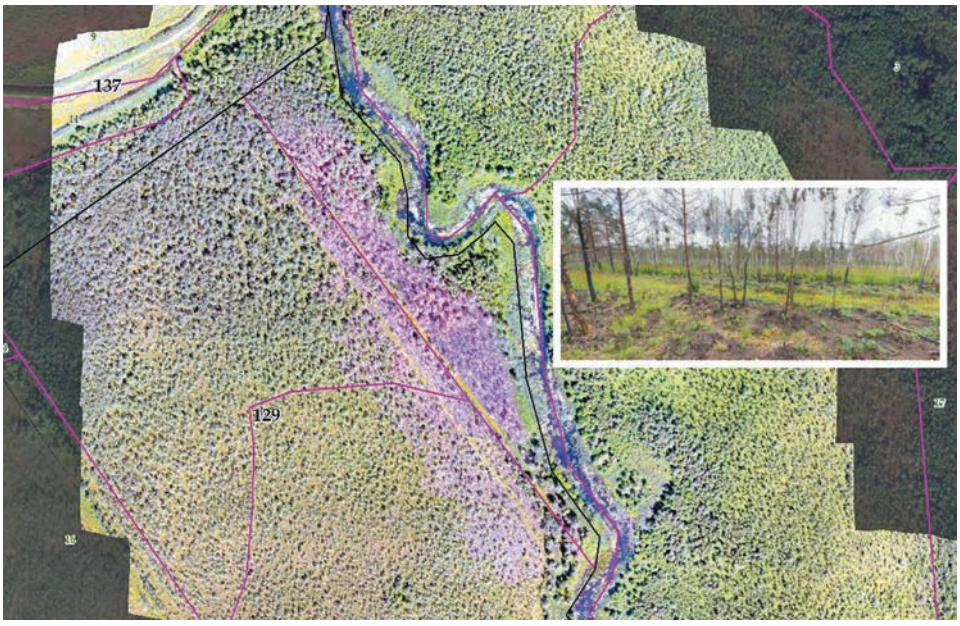
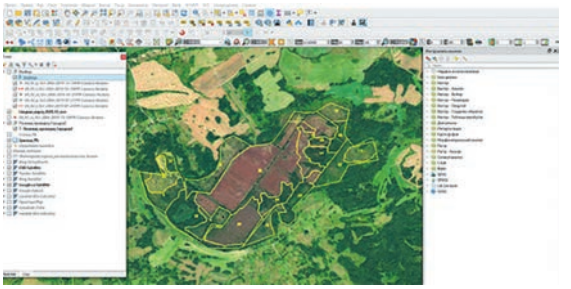
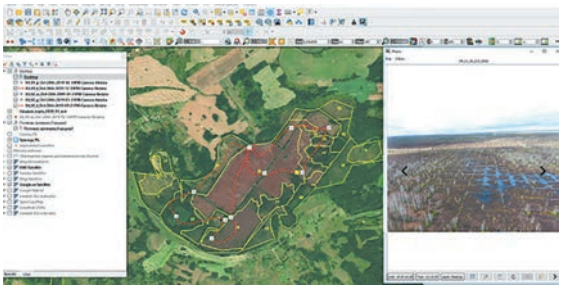


Рис. 6.115. Мониторинг пожаров в труднодоступных участках Национального парка «Нарочанский» с использованием данных БПЛА

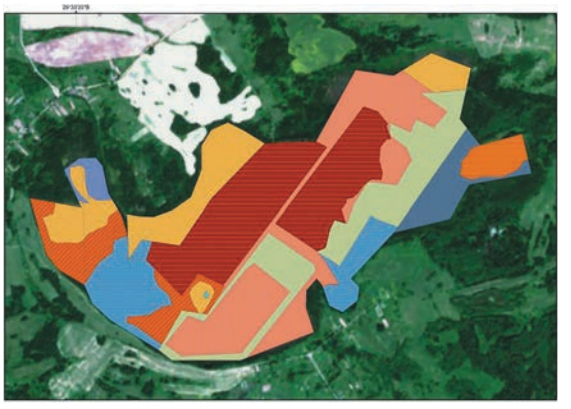


Визуальное дешифрирование модельной территории с составлением прекарты в программном пакете QGIS



Облет БПЛА территории в соответствии с маршрутом эталонирования

Наземное эталонирование территории



Карта экосистем

Рис. 6.116. Использование БПЛА для картографирования экосистем

каналов БПЛА малых классов снижает радиус обзора камер до нескольких километров. Решать такие задачи может БПЛА с радиусом действия от 50 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.

Ожидаемый результат: существенное снижение себестоимости проведения авиапатрулирования, обеспечение нормативной регулярности авиапатрулирования, повышение возможности применения авиации для задач лесного хозяйства.

Крупномасштабное (М 1 : 1000–1 : 25 000) картографирование. Применение БПЛА возможно при крупномасштабном картографировании (рис. 6.116). С помощью БПЛА среднего или большого классов возможно производство плановой аэрофотосъемки крупных территорий. Также с использованием БПЛА возможно выполнять работы по таксации леса: определять границы таксационных выделов и оценивать их характеристики. В наших исследованиях при составлении карты растительности и мониторинге болот и заболоченных земель БПЛА использовались для выборочного эталонирования территории с сокращением на 40 % объема наземных работ.

6.4.12. Биологическое загрязнение

При дистанционном мониторинге биологического разнообразия наиболее актуальной задачей 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, золотарник канадский, эхиноцистис лопастный).

Такие работы возможны прежде всего с применением высокодетальных спутниковых съемок (с разрешением < 2 м), поскольку применение космической съемки среднего разрешения (2–10 м) для этих целей резко ограничено (рис. 6.117). Однако наиболее эффективно использование снимков с беспилотных летательных аппаратов.

Схема выполнения работ включает 5 этапов (рис. 6.118):

1) определение потенциальных мест распространения инвазивных видов растений (бывшие сельскохозяйственные земли, селитебные территории, пустыри, нарушенные торфяники, закустаренные прибрежные полосы рек);

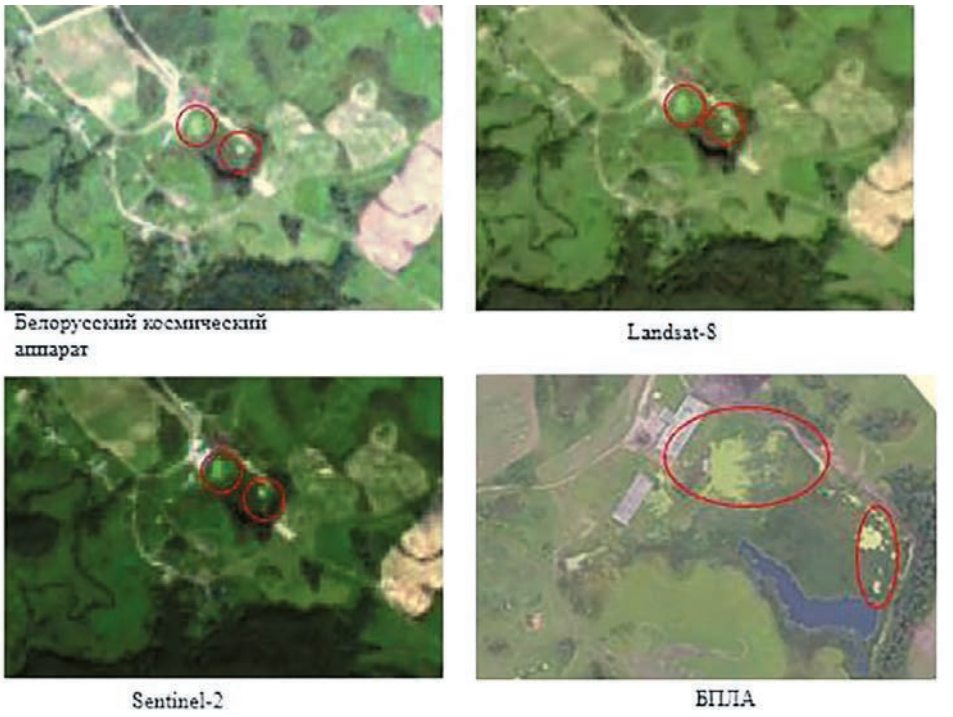


Рис. 6.117. Информативные возможности применения аэрокосмических снимков для мониторинга распространения эхиноцистиса лопастного

2) составление полетного задания для БПЛА или приобретение аэрокосмоснимков со сверхвысоким пространственным разрешением;

3) полевая съемка (с использование БПЛА) и наземное обследование в сроки цветения (табл. 6.29);

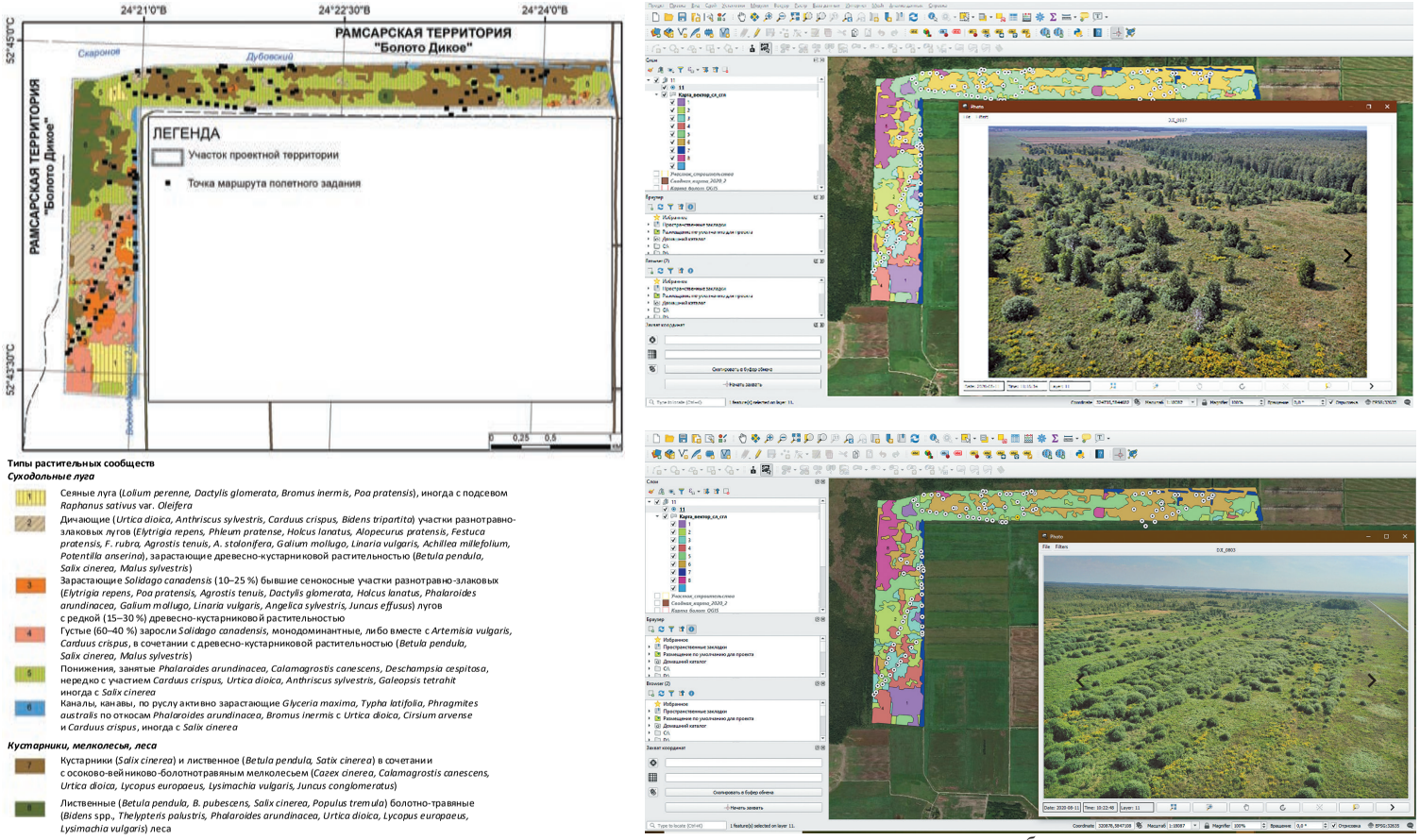
4) обработка материалов съемки БПЛА;

5) составление итоговой карты распространения инвазивного вида.

Оценка зарастания болот, лугов, пастбищ. Регулярный мониторинг нелесопокрытых земель ООПТ позволяет выявить процессы их зарастания древесно-кустарниковой растительностью (рис. 6.119). Это особенно актуально для труднодоступной местности, а также позволяет выполнить обследование территории в сжатые сроки.

Прочие объекты. При съемке БПЛА достаточно легко идентифицируются карьеры, свалки и другие объекты хозяйственной деятельности человека.

Карьеры. Дешифрирование по космоснимкам карьеров, занимающих небольшие площади, имеет определенные трудности. В ряде случаев площадные объекты, распознаваемые на предварительном этапе как карьеры ввиду визуального сходства, не являются таковыми (рис. 6.120–6.122).

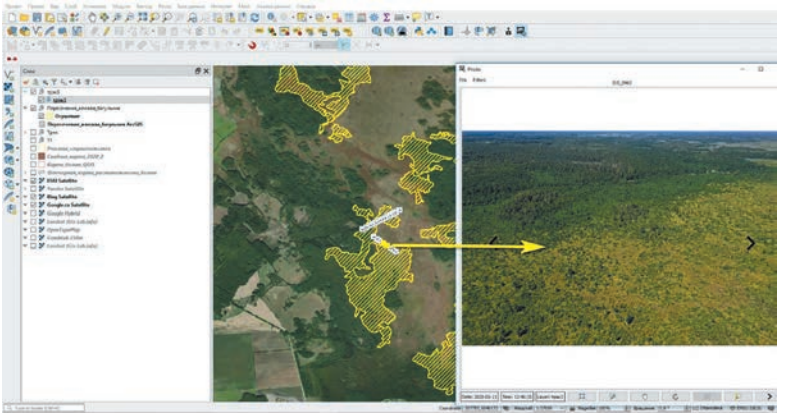


а *б*

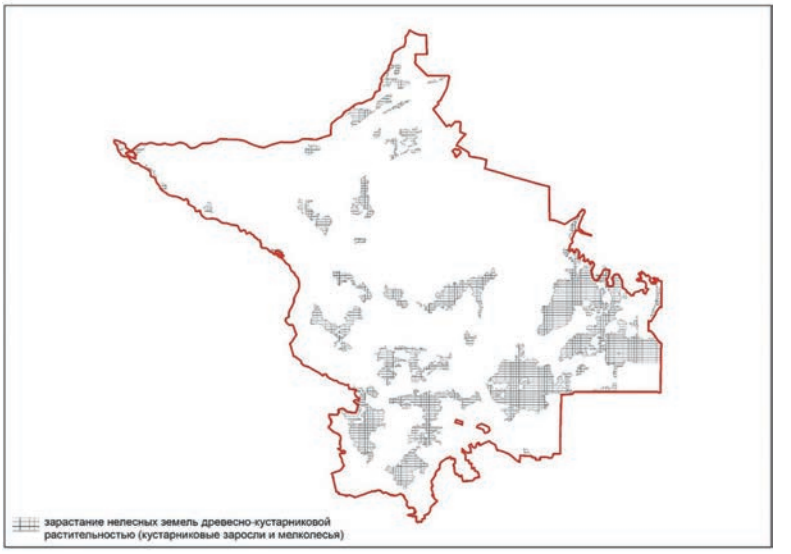
Рис. 6.118. Этапы мониторинга распространения инвазивных видов с использованием беспилотного летательного аппарата:
а – определение полетного задания БПЛА, *б* – обработка материалов съемки БПЛА

Таблица 6.29. **Сроки цветения инвазивных видов растений (по *Определитель высших растений…, 1999*)**

Растение	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Борщевик Сосновского						+	+					
Золотарник канадский							+	+	+			
Эхиноцистис лопастный							+	+	+			



а



б

Рис. 6.119. Мониторинг зарастания древесно-кустарниковой растительностью низинного болота «Дикое» с использованием БПЛА (2020 г.): *а* – маршрут облета с использованием БПЛА; *б* – картографический результат оценки современного зарастания

Рис. 6.120. Бывший карьер, в котором уже давно не ведется добыча и происходит естественное залесение. Карьер расположен в 2 км юго-восточнее д. Большой Тростенец

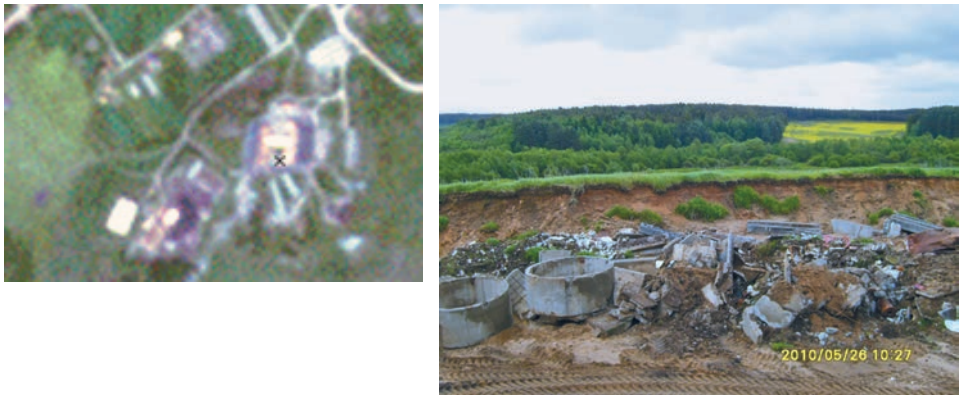


Рис. 6.121. Свалка в действующем карьере

Рис. 6.122. Карьер рекультивирован

Мелкие и средние по размерам карьеры, как и другие небольшие площадные объекты, можно точно дешифрировать с использованием относительно недорогих снимков высокого разрешения, сделанных с беспилотных летательных аппаратов.

Полезащитные полосы. Полезащитные полосы имеют ограниченное распространение и приурочены в Беларуси в основном к осушенным сельскохозяйственным землям. Данные линейные объекты неплохо распознаются на снимках с достаточно высоким разрешением (рис. 6.123, 6.124). Однако на имеющихся в нашем распоряжении космических снимках визу-

Рис. 6.123. Насыпь искусственного происхождения в 600 м восточнее д. Обчак (Минский район)

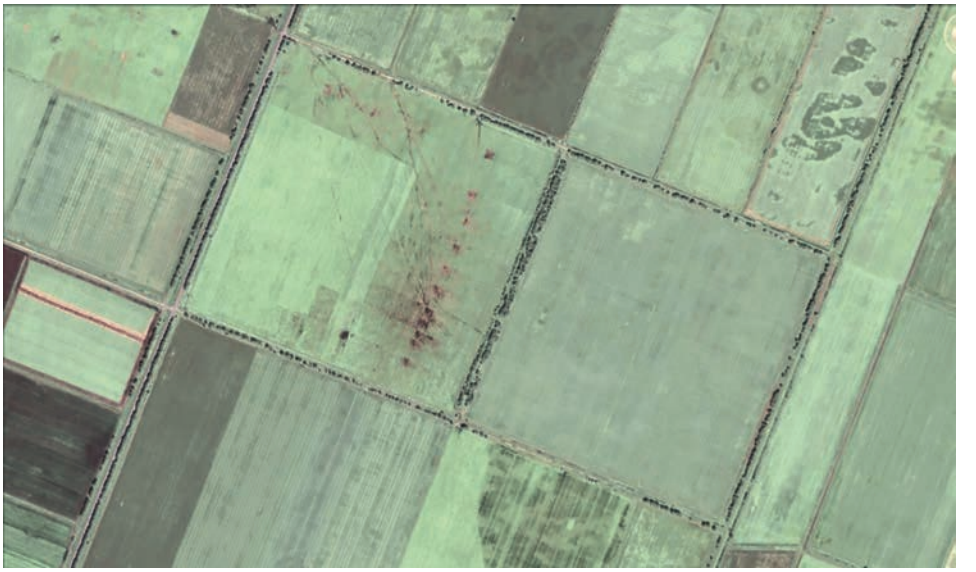


Рис. 6.124. Полезащитные полосы в районе г. Лунинец

ально выделить полезащитные полосы можно только с определенной долей условности.

Для оценки состояния полезащитных и других защитных лесных полос (вдоль железных и автомобильных дорог) необходимо использовать многозональные снимки высокого разрешения, сделанные с беспилотных летательных аппаратов, поскольку в этом случае возможности обработки снимков и получения объемов информации, необходимых для оценки состояния защитных полос, значительно увеличиваются.

Несанкционированные свалки. Результатами многих исследований подтверждена эффективность применения данных ДЗЗ, в частности космических снимков высокого (2–10 м) и сверхвысокого (0,5–2 м) разрешения, для мониторинга как полигонов ТБО, так и мусорных свалок, для выявления стихийных свалок, а также для изучения состояния территории вокруг этих объектов.

Отходы, особенно строительные, имеют очень характерные спектральные свойства. В видимом диапазоне строительные отходы всегда имеют более высокую яркость, чем окружающие земные покровы – растительность на полях, на необрабатываемых землях, почва, вода, искусственные покрытия (асфальт, гравий и т. п.). Бытовые отходы имеют не столь выраженные спектральные признаки, однако, как правило, также отличаются по яркостным параметрам от других материалов.

На изображениях, получаемых с помощью и контролируемой, и неконтролируемой классификаций, могут выделяться ложные объекты, интерпретируемые как свалки: очень часто – карьеры, выемки, а также участки с деградировавшим почвенным покровом, склады сыпучих материалов и т. п. Однако данный подход позволяет выявить некоторые неучтенные места складирования отходов (рис. 6.125).

На оборудованных полигонах различимы участки, поочередно заполняемые мусором, емкости для сбора фильтрата, установки по переработке мусора и выпариванию фильтрата, подъездные пути.

Небольшие свалки также хорошо дешифрируются на снимках очень высокого разрешения, однако высокая стоимость снимков и необходимость многоэтапной обработки исходного материала делает их использование нецелесообразным.

Разновременные аэро- и космические снимки можно использовать в качестве основы при изучении динамики свалок. На снимках высокого разрешения хорошо видны отработанные, закрытые и действующие свалки. Можно вычислить площадь отдельных участков полигонов ТБО, эксплуатировавшихся в различное время.

Таким образом, использование данных аэро- и космической съемки для идентификации и оценки состояния объектов исследования (ветровалов, несомкнувшихся культур, полезащитных полос, карьеров и несанкционированных свалок) достаточно эффективно.

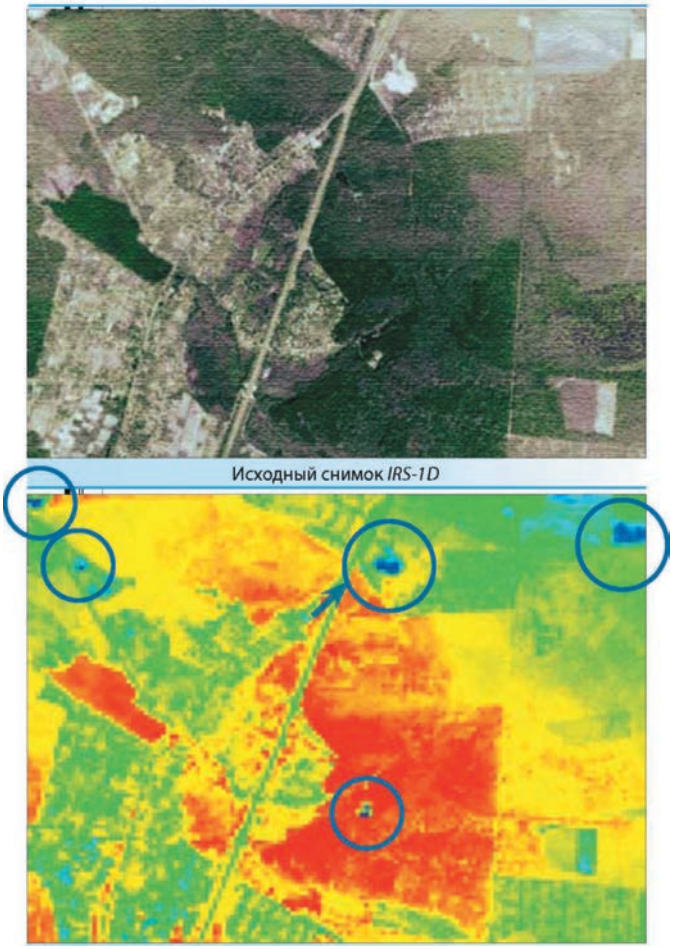


Рис. 6.125. Результат классификации по алгоритму ISODATA
(выделены участки, распознанные как свалки)

6.4.13. 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». Выполнение работ по созданию серии карт опиралось 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 Desktop (рис. 6.126). Были использованы космические снимки Landsat-8, RapidEye, БКА, Sentinel-2, Kaz-EOSat.

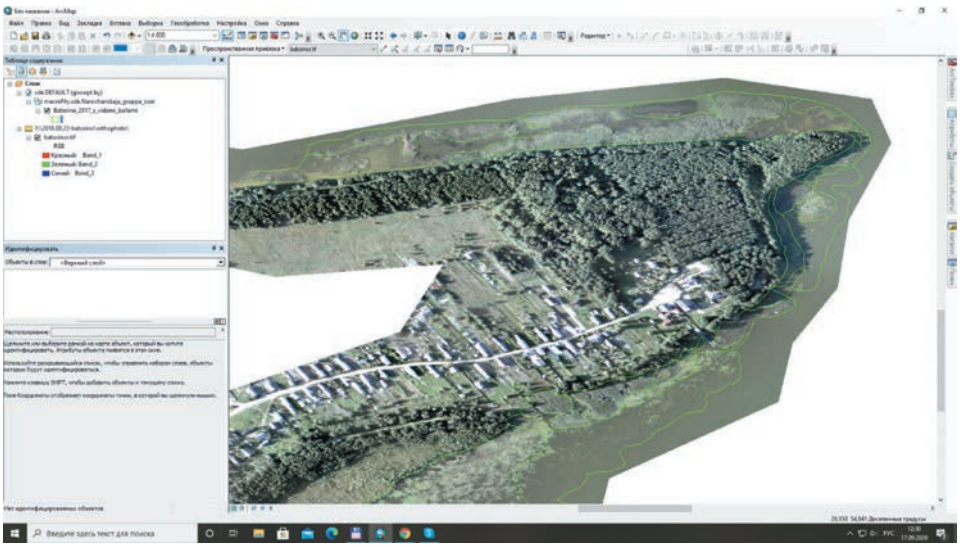


Рис. 6.126. Обработка космических снимков средствами программного пакета ArcGIS Desktop

Предварительная обработка снимков включала приведение к системе координат, принятой для ранее составленных базовых слоев ГИС национального парка, улучшение пространственного разрешения снимков Landsat слиянием (pansharpening) панхроматического канала, а также создание 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 мутьевых 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 (рис. 6.127). 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 визу-

ально – по изображению мутьевых 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 вод. Обработка снимков заключалась в квантовании изображений мутьевых потоков, суммировании результатов квантования и определении степени проточности.

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 км^2), поэтому для картографирования пространственного распространения грунтов в качестве индикатора исполь-

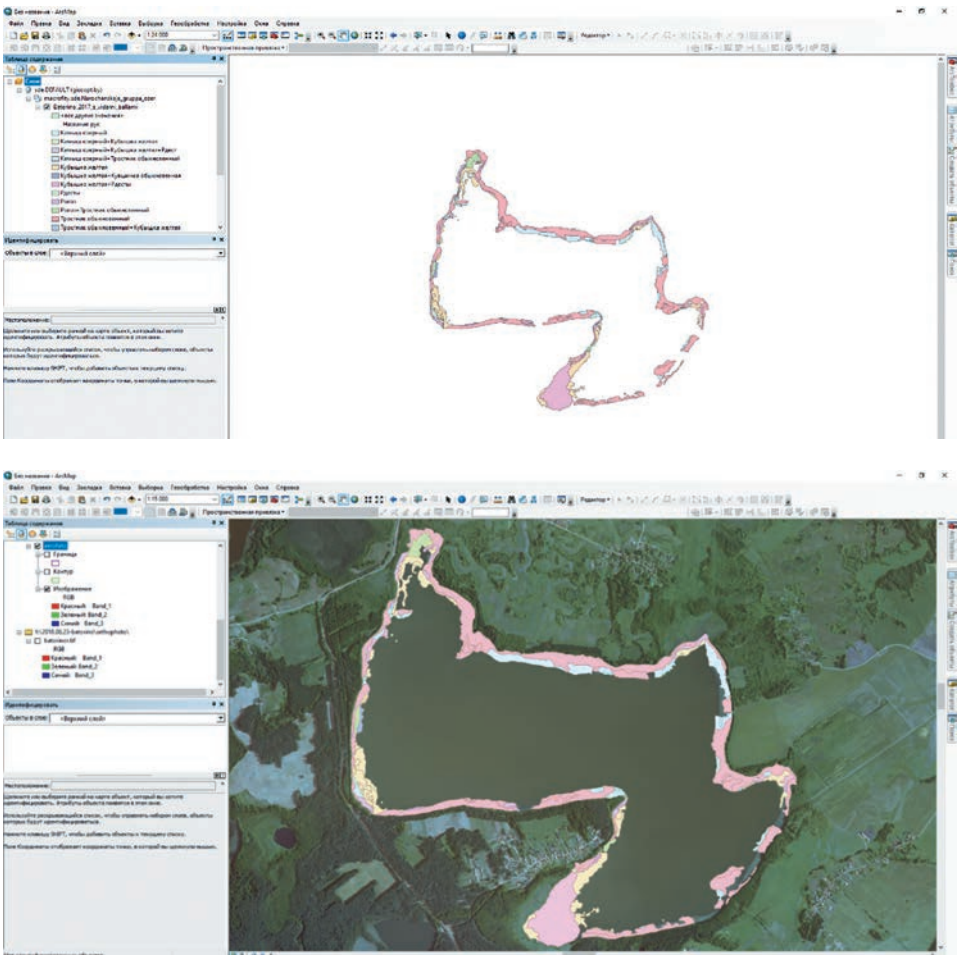


Рис. 6.127. Составление карты распределения по акватории основных растительных сообществ

зовали растительность. Для этого по предварительно отобранным 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.

6.4.14. Фитоиндикационное картографирование и практика применения при мониторинге биоразнообразия экосистем

В связи с тем, что комплексный анализ экологических факторов является достаточно сложным, дорогим и требует проведения многих экспериментов в большой повторности, соответствующего оборудования, одновременного среза на постоянных площадях, то реально осуществить это невозможно вследствие: а) дороговизны оборудования; б) отсутствия достаточного объема материальных и человеческих ресурсов для проведения таких длительных экспериментов. Поэтому перспективным является подход применения методики синфитоиндикации для мониторинга экологических условий особо охраняемых природных территорий.

Суть фитоиндикации состоит в оценке экологической специфики видов, произрастающих только в определенных границах изменения какого-либо экологического фактора. Растительное сообщество, которое формирует свою внутреннюю микросреду, в значительной степени определяет набор видов, тонко реагирующих на экологические изменения и отражающих экологическую специфику биотопа. Поэтому флористический состав ценоза является хорошим и чувствительным индикатором состояния, функционирования и динамики природных экосистем. Для оценки экологических факторов используются либо отдельные виды-индикаторы, либо совокупность всех видов, которые составляют сообщества, с учетом их обилия (проективное покрытие, биомасса). В последнем случаем стандартные геоботанические описания могут быть использованы для составления тематических синфитоиндикационных карт и для оперативной пространственной оценки изменения окружающей среды.

Идея построения фитоиндикационных карт реализуется на основе цифровых карт растительности. В этом случае составляется актуальная геоботаническая карта и базы данных, связанные с тематической картой и содержащие поконтурные фитоиндикационные характеристики экологических режимов. Опорной территориальной единицей для синфитоиндикационной оценки принимается фитоценоз, границы которого совпадают с границами контура растительности на геоботанической карте.

Рассмотрим более подробно методологические основы (рис. 6.128) и результаты фитоиндикационного картографирования на основе карты растительности на примере Рамсарской территории «Болото Дикое» (входит в состав Национального парка «Беловежская пуща»). Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ состояла из 5 этапов.

1. ***Составление цифровой геоботанической карты, подготовка вспомогательных производных спутниковых, тематических и картографических продуктов.*** В качестве базовой карты использовалась цифровая геоботаническая карта национального парка; вспомогательные – спутниковые и тематические картографические продукты: карта потери лесов, карта нарушений и изменения растительного покрова.

2. ***Расчет фитометрических индексов.*** Для оценки толерантности растительных сообществ к режиму увлажнения (F), кислотности субстрата (R), богатства почв азотом (N), освещения (L) использовали экологические шкалы Х. Элленберга (*Ellenberg, 1992*). При этом в анализ включались не отдельные виды, а совокупность всех видов, которые составляют растительные сообщества, с учетом их проективного покрытия. Средние показатели (индексы) экологических факторов (*Y*) рассчитывали на основе геоботанических описаний по формуле:

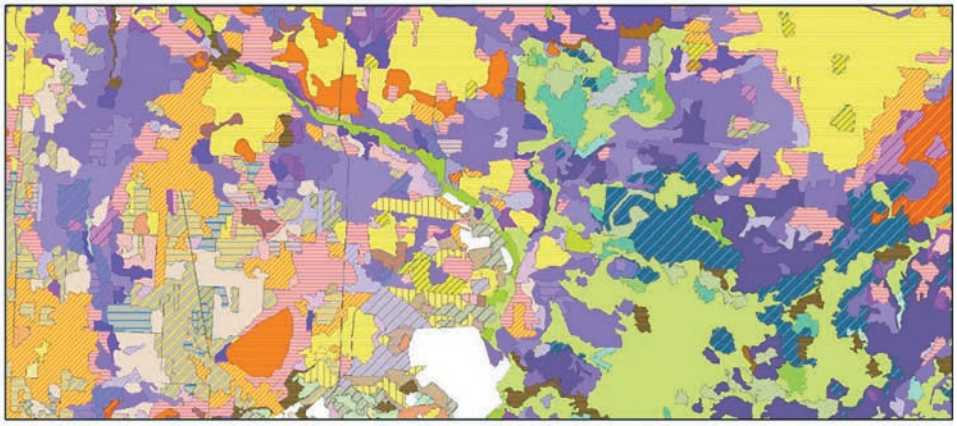
$$Y = \frac{k_1 x_1 + k_2 x_2 + \ldots + k_n x_n}{k_1 + k_2 + \ldots + k_n}, \qquad (6.3)$$

где $x_1, x_2 \ldots x_n$ – значения индекса толерантности каждого вида по данному фактору; n – количество информативных видов, имеющихся в описании; k – балл обилия или проективного покрытия вида (1 – до <5 %, 2 – от 5 до 15 %, 3 – от 16 до 25 %, 4 – от 26 до 50 %, 5 – более 50 %).

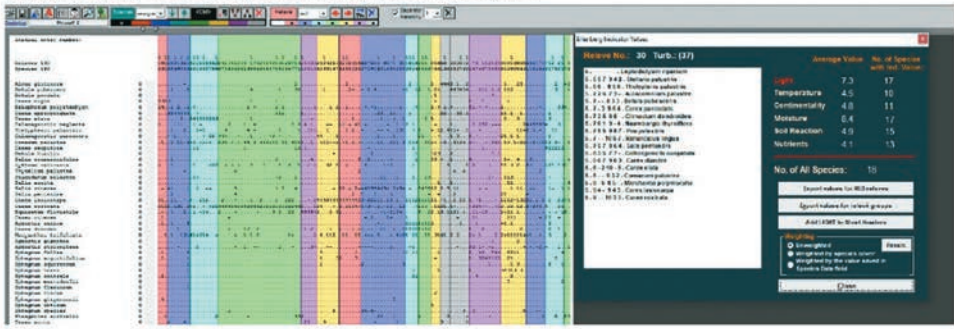
Расчеты фитометрических индексов производили с использованием специального модуля Indicator Value программы JUICE. В наших исследованиях производилась фитоиндикационная оценка режима освещения (L), увлажнения (F), кислотности субстрата (R) и богатства почв (N).

3. ***Составление базы данных, связанных с картой растительности и содержащих поконтурные фитоиндикационные характеристики экологических режимов.***

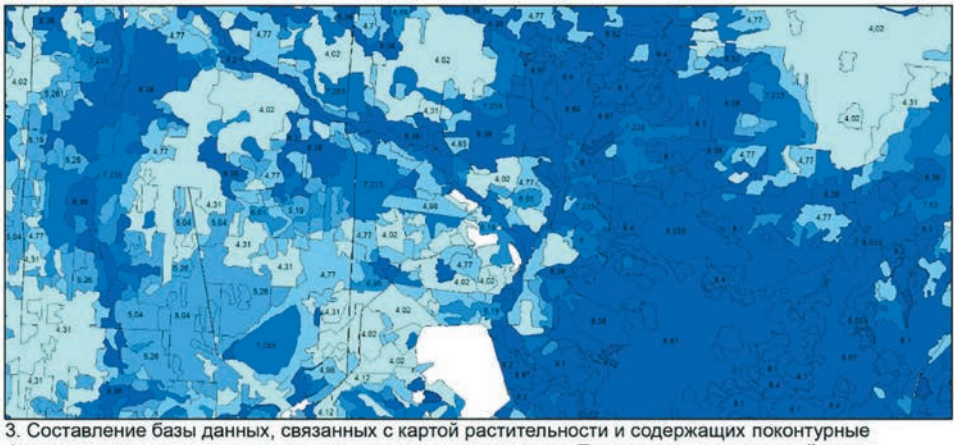
4. ***Построение тематической карты.*** Для рассчитанной на основе геоботанических описаний выборки значений фитометрических индексов составлялась база данных. Для выделов карты растительности, где непосред-



1. Составление цифровой геоботанической карты, подготовка, вспомогательных производных спутниковых, тематических и картографических продуктов



2. Расчет фитометрических индексов с использованием модуля Indicator Value программы JUICE 7.0



3. Составление базы данных, связанных с картой растительности и содержащих поконтурные фитоиндикационные характеристики экологических режимов. Построение тематической карты в среде ArcGIS

Рис. 6.128. Схема исследований по синфитоиндикационному картографированию Национального парка «Беловежская пуща»

ственно проводились геоботанические описания, с использованием стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS Desktop автоматически присваивались рассчитанные значения индексов. Для фитоценозов, где не были выполнены описания, проводилась экстраполяция путем присвоения выделу растительности медианного значения индекса, рассчитанного для каждого картируемого таксона. Анализ и оформление карт осуществлялись в программной среде ArcGIS Desktop.

5. ***Комплексная пространственная и статистическая обработка тематической карты средствами ГИС, анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений.*** Цифровая карта разбивалась регулярной сетью, с размером ячейки 0,5 × 0,5 км. Для каждой ячейки рассчитывались статистические показатели значений индикаторов. Расчеты производились с помощью стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS Desktop 10.7 и MS Excel.

Синфитоиндикационная оценка (в баллах) режима влажности почв (F) по типам местообитаний Рамсарской территории «Болото Дикое» находится в пределах от 4,02 (умеренно влажные) до 9,15 (мокрые) субстраты. Наиболее «сухие» биотопы сконцентрированы в северо-восточном секторе Рамсарской территории, где преобладают бедные песчаные почвы недостаточного увлажнения (рис. 6.129, табл. 6.30). В наибольшей степени увлаж-

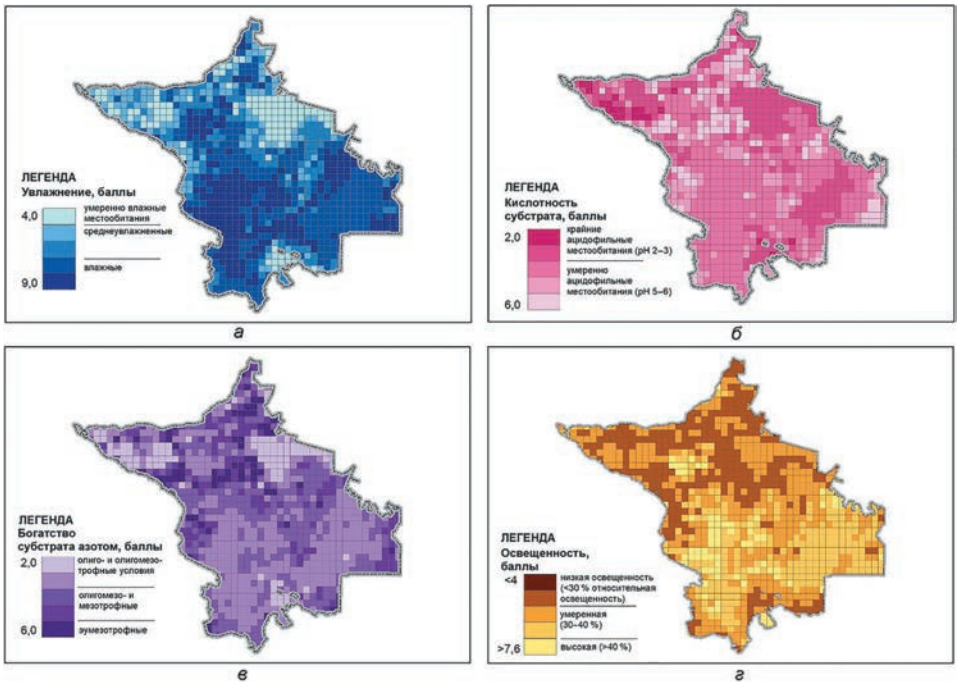


Рис. 6.129. Фитоиндикационная оценка режима влажности (*а*), кислотности (*б*), обеспеченности субстрата азотом (*в*) и освещения (*г*), в баллах по шкалам Х. Элленберга *(Ellenberg, 1992)*

ненные местообитания размещаются в ядре природного комплекса, где доминируют участки низинного болота. Медиана (Me), рассчитанная для выборки значений индекса, составляет 8,10 баллов, что свидетельствует о преобладании влажных местообитаний.

Таблица 6.30. **Синфитоиндикационная оценка местообитаний Рамсарской территории «Болото Дикое», в баллах по шкалам Х. Элленберга (*Ellenberg, 1992*)**

Синфитоиндикационная оценка	Статистические показатели						
	n	*M*	±*m*	Me	σ	min	max
Освещение (L)	1031	6,52	0,02	6,53	0,68	4,67	7,59
Увлажнение (F)	1041	7,43	0,05	8,10	1,46	4,02	9,15
Кислотность субстрата (R)	1041	4,58	0,02	4,71	0,78	1,86	6,05
Богатство субстрата азотом (N)	1041	4,10	0,02	4,02	0,74	2,51	6,14

Примечание. *M* – средняя величина, *m* – ошибка средней величины, Me – медиана, min – минимальная величина, max – максимальная величина, *n* – объем выборки, σ – стандартное отклонение.

Значения индекса кислотности почв (R) характеризуемого природного комплекса находится в пределах от 1,86 (крайние (pH = 2–3) ацидофильные условия) до 5,70–6,05 (умеренно (pH = 5–6) кислые почвы); медианное значение – 4,71, что свидетельствует о преобладании в целом умеренно (pH = 4–5) ацидофильных местообитаний.

Фитоиндикационные показатели обеспеченности субстрата азотом (N) по типам местообитаний варьируют в широком диапазоне: от 2,51 (олиготрофные условия) до 5,87–6,14 (умеренно богатые), Me = 4,02 (олигомезотрофные местообитания). Наиболее богатые азотом участки размещены в северном секторе водно-болотного угодья (см. рис. 6.129).

Оценка светового режима (см. табл. 6.30, рис. 6.129) свидетельствует о преобладании местообитаний с недостаточно хорошими условиями освещения (Me = 6,53; <30 % относительной освещенности). Наиболее освещенные местообитания (>40 %) размещаются в центральной части природного комплекса и приурочены к участкам осокового низинного болота.

6.4.15. Оценка техногенного загрязнения методом аккумулятивной биоиндикации

Технология аккумулятивной биоиндикации имеет отправную точку – фоновый или базовый уровень концентраций контролируемых веществ. Рекомендуется различать понятия «фоновый» (background) и «базовый» (baseline) уровни концентрации элемента. Обычно базовый уровень не соответствует фоновому. Фон подразумевает представление о естественной или природной концентрации, которая в идеале исключает влияние человека. Базовый уровень концентрации элемента представляет собой совокупность

рассеянных примесей в данном районе, для которых нет возможности разделить отдельные источники загрязнения. Фон отражает идеализированную ситуацию, и его определение является более проблематичным в сравнении с измерением базового уровня концентрации элемента. Для установления фона необходим анализ образцов доиндустриального периода развития человеческого общества.

Существует ряд способов вычисления базового уровня концентрации. В наших исследованиях мы использовали методику расчета, разработанную в Институте экспериментальной метеорологии Госкомгидромета СССР. В табл. 6.31 приводятся результаты расчетов и данные прямых измерений в образцах, собранных на территории Могилевского тестового полигона в доиндустриальный период (1959 г.), а также в фоновых районах. Они свидетельствуют, что фактические и расчетные результаты оценки концентрации тяжелых металлов (ТМ) в тест-объекте расходятся незначительно.

Таблица 6.31. **Сравнение теоретических и экспериментальных значений содержания тяжелых металлов**

Элемент	Фактическая концентрация, мг/кг воздушно-сухой массы				Расчетная концентрация, мг/кг воздушно-сухой массы
	в образцах, собранных на территории Могилевского тестового полигона (1959 г.)		в образцах, собранных на территории фоновых районов бореальных лесов		
	M	min–max	*M*	min–max	
Гипогимния вздутая					
Cd	0,15	0–0,56	0,28	0,04–0,64	0,25
Pb	7,56	4,0–14,19	5,24	0,4–9,2	7,1
Zn	24,09	13,7–49,3	26,1	17,6–40,6	22
Cu	4,83	0,87–5,71	5,7	2,3–8,4	4,5
Cr	1,89	0,37–2,93	1,21	0,5–2,68	2,1
Co	0,32	0,05–0,70	–	–	0,4
Ni	0,78	0,62–1,97	1,0	0,7–1,3	0,8
V	1,47	0,25–2,96	2,48	0,82–10,74	2,1
Mn	154,86	120–285	122	11–263	176
Сосна обыкновенная (кора)					
Cd	0,09	0–0,22	–	–	0,05
Pb	2,44	1,83–3,79	1,5	1,0–3,8	2
Zn	14,24	10,85–26,71	21,8	14,8–53,4	15
Cu	5,62	2,17–9,45	4,5	3,7–11,2	5
Cr	0,59	0,33–0,80	1,5	0,2–9,3	0,5
Co	0,67	0,37–0,87	–	–	0,5
Ni	1,23	0,76–1,84	1,1	0,56–3,48	1
V	0,74	0,12–1,67	–	–	0,5
Mn	139,48	115,19–194,5	–	–	150

Примечание. Прочерк означает отсутствие сведений; *M* – средняя велечина, min – минимальная величина, max – максимальная величина.

Расчетные данные о базовых концентрациях металлов в некоторых природных тест-объектах представлены в табл. 6.32. Основу для расчетов составили результаты собственных исследований, а также обширный фондовый материал лаборатории геоботаники ИЭБ НАН Беларуси и литературные источники.

Данные о базовых концентрациях могут быть использованы для биоиндикации загрязнения окружающей среды, а также при разработке систем нормирования (в том числе санитарно (ветеринарно)-гигиенических) токсичных ингредиентов в растительных объектах.

Следует отметить, что последнее направление в биогеохимическом мониторинге имеет большие перспективы и становится важным разделом многих научных дисциплин. Успешное его осуществление имело бы большое социальное значение. В наших исследованиях также предпринята попытка разработки шкал экологического нормирования тяжелых металлов (по валовому содержанию) для некоторых биоиндикаторов, а также для лекарственного и технического сырья. При этом мы использовали следующую схему определения уровней содержания металлов в тест-объектах: «очень низкий» – содержание металла не превышает местный базовый уровень концентрации; «низкий» – содержание металла не выше 2 базовых уровней; «умеренный» – с накоплением металла в 2–5 раза выше базовых значений; «высокий» – содержание металла в 5–10 раз выше базовых значений; «очень высокий» – содержание металла более 10 базовых значений.

Таблица 6.32. **Базовые уровни концентрации тяжелых металлов в биоиндикаторах, лекарственном и техническом сырье, мг/кг воздушно-сухой массы**

Объект исследования	Элемент								
	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	V	Mn
Лесная подстилка*	0,25	10	25	8	2,5	0,9	3,5	2	200
Зеленые мхи	0,15	3,5	30	5	2	0,5	1,5	2	300
Сыроежка (виды)	0,05	2	30	15	0,5	0,2	1	0,1	65
Гипогимния вздутая	0,25	7,1	22	4,5	2,1	0,4	0,8	2,1	176
Сосна:									
хвоя	0,03	1	20	3	0,4	0,2	0,4	0,2	200
кора	0,05	2	15	5	0,5	0,5	1	0,5	150
Ель:									
хвоя	0,04	2	30	5	0,5	0,3	0,5	0,4	350
кора	0,10	1,5	20	5	0,5	0,5	0,9	0,6	250
Черника:									
листья	0,02	2,5	18	3	0,5	0,1	0,5	0,5	350
ягоды	0,01	1	20	6	0,2	0,1	0,3	0,1	150
Брусника (листья)	0,05	1,2	15	2	0,2	0,2	0,5	0,3	300
Малина (листья)	0,03	1,5	15	3	0,4	0,2	0,8	0,5	500

* Подгоризонт A_0L.

Современное состояние с нормированием тяжелых металлов в почвах и растениях нельзя назвать удовлетворительным из-за недостаточной разработанности принципа нормирования и, как следствие этого, слабой обоснованности рекомендованных нормативов. Вместе с тем предложенные шкалы помогают оценить эколого-геохимическую обстановку исследуемой территории, определить размер и степень техногенной нагрузки на природные (лесные) экосистемы, выявить основные источники их загрязнения.

При картографировании загрязнения компонентов природной среды представление окончательных результатов может быть показано различными способами. Представление данных с помощью точек, окрашенных в соответствии с уровнем загрязнения в местах измерения, отражает изученность территории, однако скрывает пространственную непрерывность поля загрязнения. Реконструировать эту непрерывность можно с помощью методов интерполяции, оценивающих значения переменной там, где пробы не отбирались. Существуют различные методы интерполяции пространственных данных: сглаживание, аппроксимация, линейная интерполяция, крикинг и т. д. Выбор наилучшего метода интерполяции проводится заново для каждого конкретного обследования, исходя из имеющейся информации.

В наших исследованиях интерполяционные расчеты проводились с применением программного пакета ArcGIS Desktop, который позволяет по опытным точкам рассчитывать концентрации в узлах регулярной сетки желаемой густоты. Затем по этой расчетной сетке строились изолинии концентраций с заданным шагом.

Для интегральной оценки техногенного загрязнения (табл. 6.33, рис. 6.130) для каждой точки рассчитывается суммарный показатель загрязнения:

$$(Z_C) = \sum Kc - (n - 1), \qquad (6.4)$$

где Kc – коэффициенты техногенной концентрации, превышающие 1,5 (нижний порог аномальности), n – число элементов с $Kc > 1{,}5$.

Определение уровней загрязнения по значениям Z_C проводилось в соответствии с существующими нормативами.

Таблица 6.33. **Шкала оценки эколого-геохимической обстановки**

Экологическая обстановка	Уровень загрязнения природных сред	Тяжелые металлы, Z_C
Относительно удовлетворительная	Допустимый	<16
Напряженная	Умеренно опасный	16–32
Критическая	Опасный	32–64
Чрезвычайная	Высоко опасный	64–128
Экологического бедствия	Чрезвычайно опасный	>128

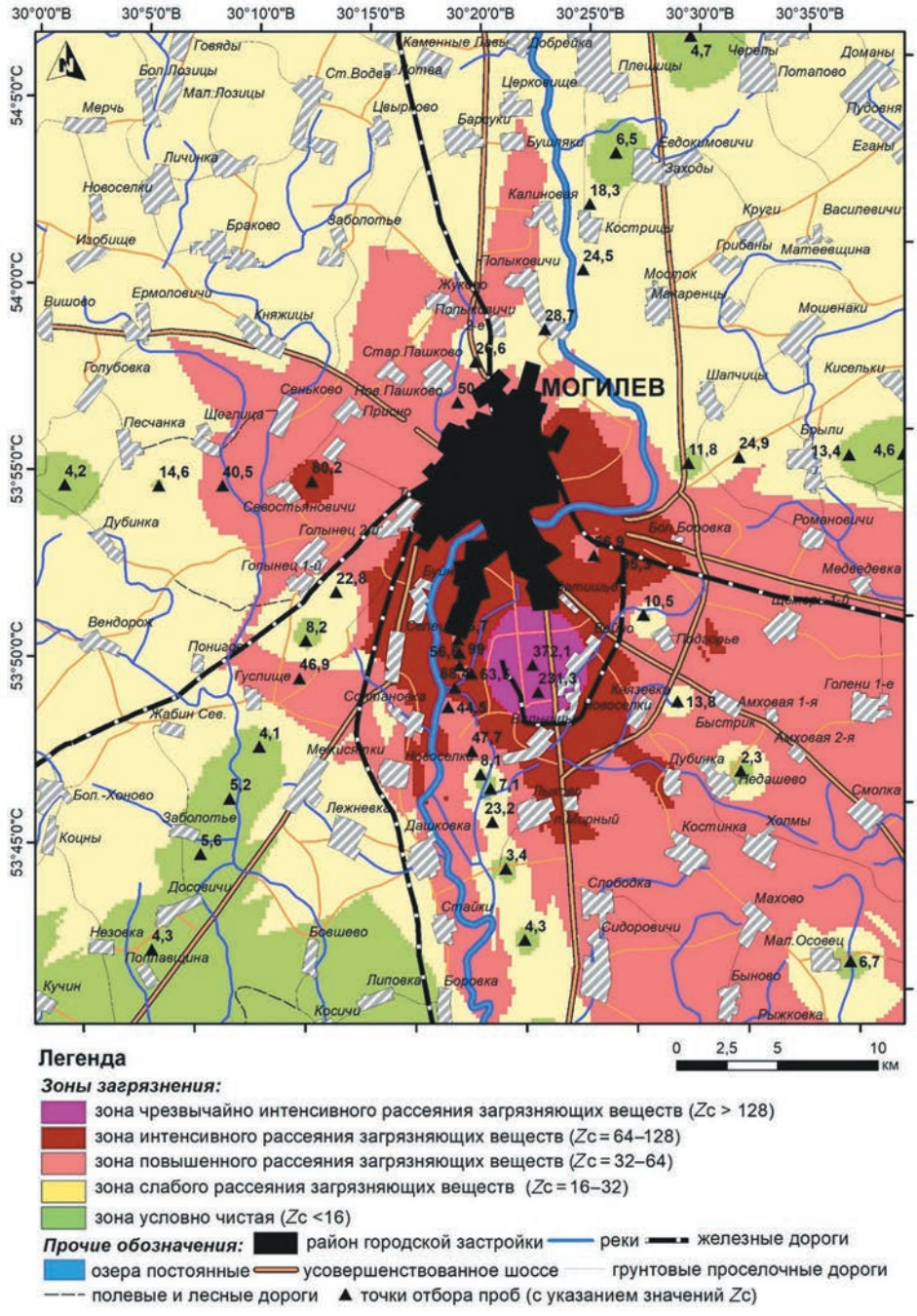


Рис. 6.130. Зонирование 25-км зоны вокруг Могилевского промрайона по значениям суммарного показателя загрязнения (*Zc*) биоиндикатора (слоевище лишайника гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes*)

6.5. 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 (*Белов, Лямкин, Соколова, 2002; Берлянт, 1978; Берлянт, Себенюк, Тикунов, 1980; Левицкий, Пересадько, 1991; Котова [и др.], 2000; Природная среда побережья …, 2003; Природная среда…, 2007*).

В зависимости от задач исследования диагностика состояния растительных сообществ может стать самоцелью или индикационным методом определения состояния других компонентов экосистем (*Белов, Лямкин, Соколова, 2002; Волкова [и др.], 2001*).

Для оценки экологического состояния растительного покрова перспективно использование картографического подхода, дающего пространственное представление о степени и масштабах деградации растительности и экосистем в результате воздействия различных факторов (*Белов, Лямкин, Соколова, 2002; Котова [и др.], 2000; Юнтоловский региональный комплексный…, 2005*).

Оценка современного состояния растительного покрова проводится через установление степени ее нарушенности (сохранности). При этом принимаются во внимание всякие проявления разнообразных изменений в видовом и ценотическом составе и структуре фитоценозов (*Белов, Лямкин, Соколова, 2002; Волкова [и др.], 2001; Федорчук [и др.], 1998*).

Стадии нарушенности отражают состояние фитоценоза (природного биогеоценоза) в результате действия природных катастрофических факторов или хозяйственной деятельности. Степень антропогенной деградации определяется по критериям отклонения составов и структуры растительных сообществ от естественного их состояния или от выбранного состояния на определенный момент времени (*Волкова [и др.], 2001*). Определение этого интегрального показателя необходимо для оценки качества экосистемы как объекта охраны.

В наших исследованиях схема картографирования состояния растительного покрова с использованием данных ДДЗ и ГИС-технологий включала 3 этапа.

1. ***Разработки оценочной системы состояния экосистем.*** Подход к разработке оценочной системы состояния проводился по схеме, приведенной в табл. 6.34.

2. ***Составление тематической карты, расчет индикаторов состояния экосистем.*** На основе анализа картографических продуктов (рис. 6.131) и разработанной схемы составлялась тематическая карта. По каждому субъекту модельных территорий рассчитывались площади, занимаемые экосистемами различных стадий нарушенности, а также индекс состояния экосистем (I_C).

Таблица 6.34. **Оценочная система состояния экосистем**

Диагностические признаки	Растительные сообщества
1. Естественная или слабонарушенная экосистема	
Экосистема без следов природных катастроф или хозяйственного воздействия; местообитание, структура растительных сообществ практически не нарушена	Коренные и длительно-производные хвойные, лиственные коренные болотные леса; коренные и условно-коренные растительные сообщества необлесенных болот и речных пойм
2. Средненарушенная экосистема	
Местообитание затронуто несущественно, но состав и структура, естественный ход формирования растительного сообщества существенно отличаются от естественного состояния	Коренные и длительно-производные хвойные, лиственные коренные болотные леса с умеренным воздействием антропогенных (выборочные рубки, рекреационные нагрузки, мелиорация) и естественных факторов: состав древостоя соответствует тому, который имеют древостои естественной фазы сукцессии, местообитание практически не нарушено; кратковременно-производные хвойно-мелколиственные леса, образовавшиеся в результате действия факторов естественного и антропогенного происхождения и имеющие тенденцию к восстановлению исходного состояния; искусственные леса на малопреобразованных лесных местообитаниях: состав и структура фитоценозов незначительно отклоняется от состава естественных лесов; кратковременно-производные растительные сообщества необлесенных болот и речных пойм, сформировавшиеся под влиянием хозяйственной деятельности (мелиорация, торфодобыча); относительно устойчивые производные леса с состоянием местообитания, близком к естественным; относительно неустойчивые первичные леса начальных стадий сукцессии, возникшие после преобразования на почвах, ранее не бывших под лесом
3. Сильнонарушенная экосистема	
Местообитание подверглось существенному воздействию	Первичные и вторичные антропогенные леса, возникшие после преобразования местообитания (на осушенных землях, временного сельскохозяйственного или иного использования); длительно-производные растительные сообщества необлесенных болот и речных пойм, сформировавшиеся под влиянием интенсивной хозяйственной деятельности (мелиорация, торфодобыча);

Окончание табл. 6.34

Диагностические признаки	Растительные сообщества
Местообитание подверглось существенному воздействию	вторичные мелколиственные леса с сильно измененным составом и структурой древостоя и подчиненных ярусов, без признаков восстановления коренных типов леса; коренные хвойные и лиственные леса, в которых хозяйственное влияние (пожары, осушительная мелиорация, выборочные рубки) и (или) последствия воздействия природно-климатических факторов катастрофического характера существенно нарушили местообитания фитоценозов, а также их состав и структуру; искусственные леса (включая несомкнувшиеся культуры) на антропогенных преобразованных местообитаниях: состав древостоя и состояние всего сообщества изменены по сравнению с естественными лесами в результате интенсивной обработки почвы, удобрения, осушения, уплотнения и др.; серийные сообщества на месте лесных и болотных сообществ, сформированные в результате антропогенного воздействия (мелиорация, торфодобыча, сельскохозяйственное использование)
4. Уничтоженная природная экосистема	
Местообитание подверглось существенному воздействию в сравнении с естественными лесами в результате интенсивной обработки почвы, осушения, уплотнения и др.; природный растительный покров уничтожен	Местообитания с полностью уничтоженной природной растительностью (суходольные луга, сельскохозяйственные земли, промышленная и селитебная застройка) с низким уровнем хозяйственного использования с признаками восстановления природной растительности

$$I_{\mathrm{C}} = \frac{\sum \mathrm{C}_j s_i}{s}, \qquad (6.5)$$

где C_j – стадия нарушенности; s_i – площадь экосистем в данном состоянии; N – общая площадь исследуемой территории.

На основе расчетного индекса территории квалифицировали следующим образом:

<1,5 – естественная или слабонарушенная территория (с преобладанием экосистем 1-й стадии нарушенности);

1,51–2,50 – средненарушенная территория (с преобладание экосистем 2-й стадии нарушенности);

2,51–3,50 – сильнонарушенная территория (с преобладанием экосистем 3-й стадии нарушенности);

>3,50 – антропогенная пустошь (с преобладанием антропогенных экосистем).

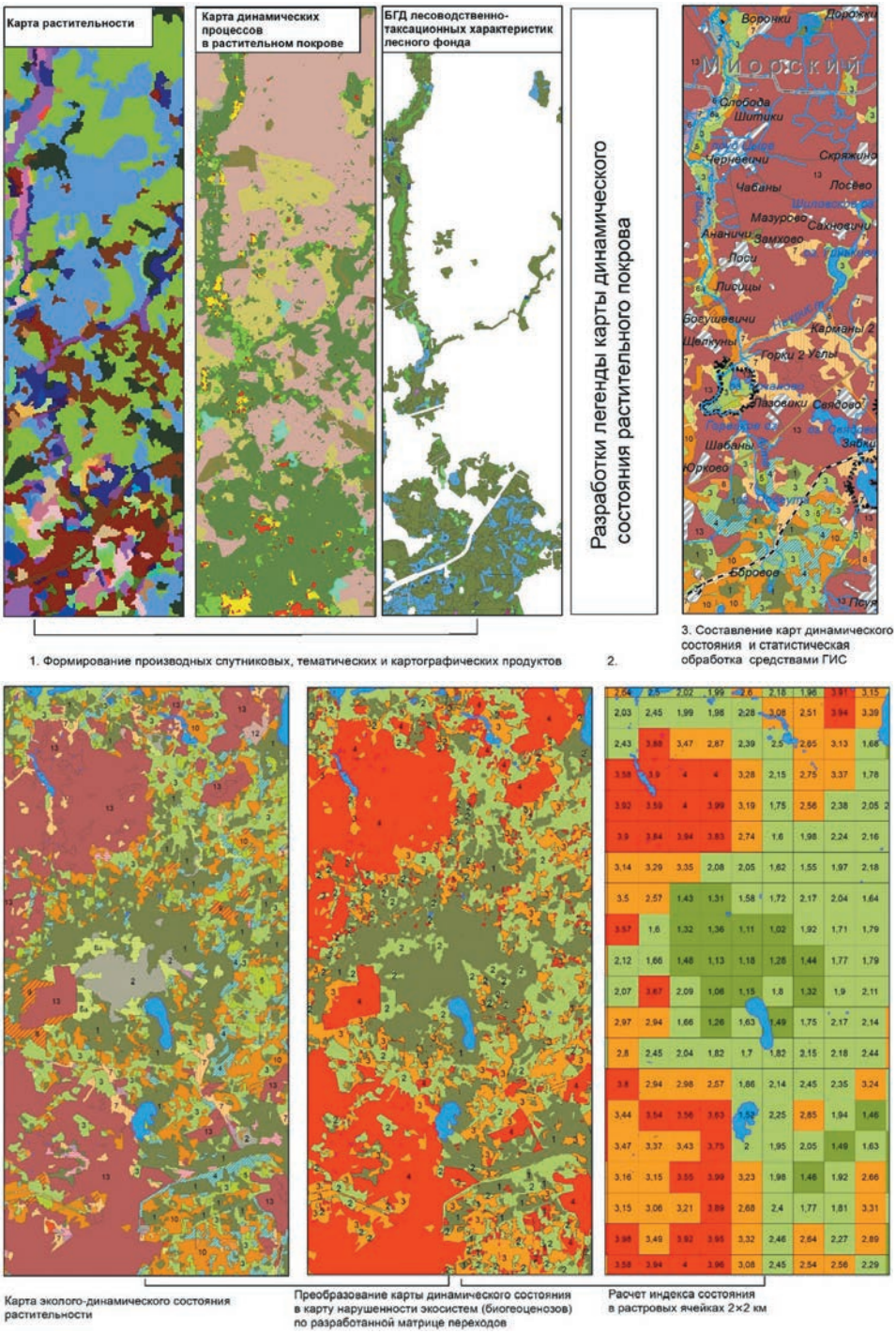


Рис. 6.131. Картографические продукты и схема исследований по оценке состояния наземных экосистем особо охраняемых природных территорий Беларуси

3. А***нализ полученных результатов, формирование выводов и заключений по вопросам состояния наземных экосистем модельных территорий.*** Результаты исследований рассмотрим на примере 5 модельных территорий (рис. 6.132–6.134), составленные по блокам «Особо охраняемая природная территория (с ограниченным режимом хозяйствования) – административный район, где размещен объект природно-заповедного фонда»: 1) Березинский биосферный заповедник (ББЗ) – Докшицкий, Лепельский районы; 2) Национальный парк «Браславские озера» – Браславский район; 3) Национальный парк «Нарочанский» – Мядельский район; 4) Республиканский заказник «Красный Бор» – Россонский район; 5) Республиканский заказник «Освейский» – Верхнедвинский район.

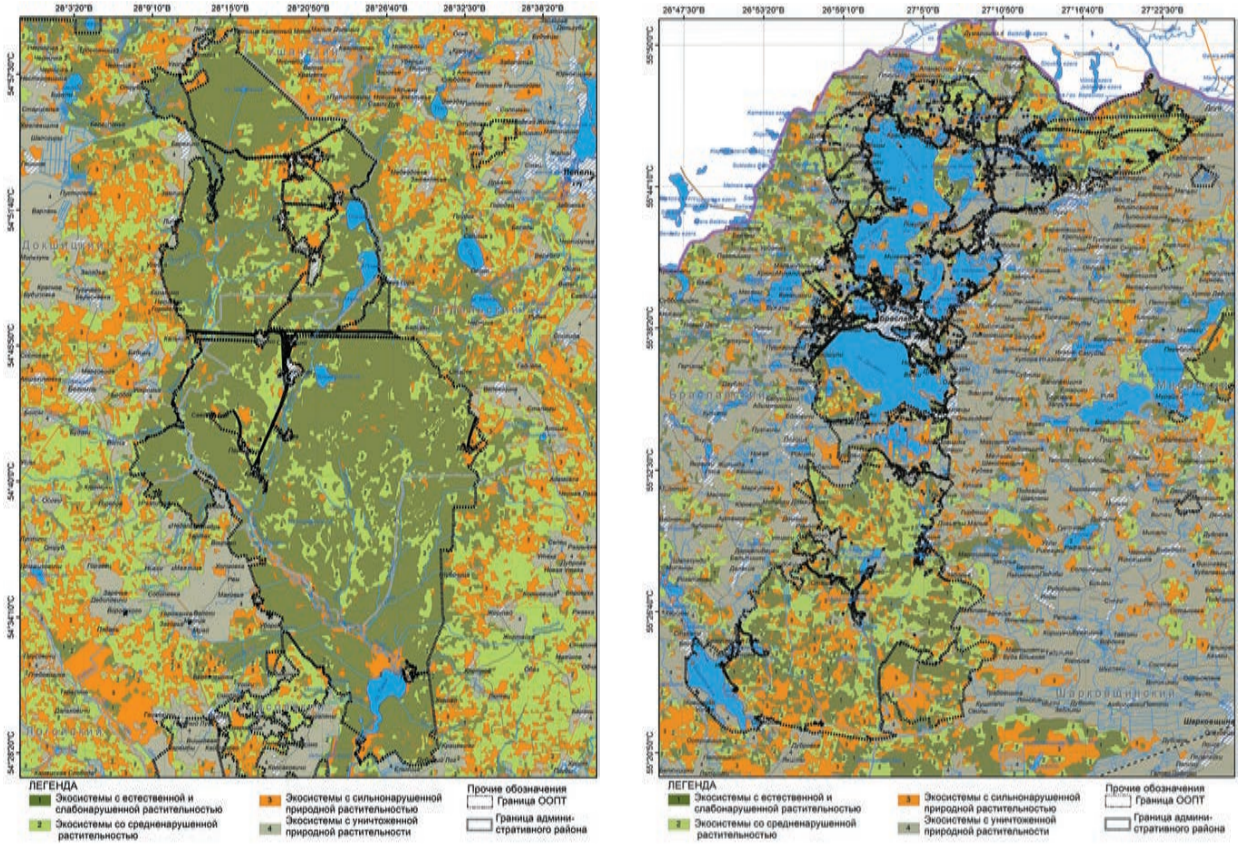
В пределах исследованных особо охраняемых природных территорий доля естественных и слабонарушенных экосистем составляет в среднем 37,5 %, колеблясь от 20,5 % (НП «Нарочанский») до 71,8 % (ББЗ). В границах административных районов с различной стратегией землепользования и плотностью населения доля естественных и слабонарушенных экосистем составляет в среднем 17,4 %, при этом наименьший показатель характерен для Верхнедвинского района (11,7 %), наибольший – для Лепельского (25,9 %) (табл. 6.35).

Доли умеренно нарушенных экосистем для исследованных объектов природно-заповедного фонда в среднем составляют 33,1 %, для административных районов – 26,4 %.

Таблица 6.35. **Соотношение площадей по стадиям нарушенности наземных экосистем модельных территорий, %**

Стадия нарушенности экосистем	Березинский заповедник	НП «Браславские озера»	НП «Нарочанский»	РЗ «Красный Бор»	РЗ «Освейский»	Докшицкий район	Лепельский район	Браславский район	Мядельский район	Россонский район	Верхнедвинский район
1. Естественные и слабонарушенные экосистемы	71,8	22,4	20,5	39,9	32,7	19,4	25,9	13,3	13,0	21,1	11,7
2. Средненарушенные экосистемы	20,9	34,5	33,5	35,2	29,4	24,3	25,2	20,8	28,8	36,3	20,9
3. Сильнонарушенные экосистемы	7,0	22,3	12,6	22,2	25,1	19,7	23,2	18,2	14,9	31,5	29,0
4. Уничтоженные природные экосистемы	0,3	20,8	33,4	2,7	12,8	36,6	25,7	47,7	43,3	11,1	38,4
Индекс состояния (I_C)	1,36	2,42	2,59	1,88	2,18	2,74	2,49	3,00	2,89	2,33	2,94

Участие сильнонарушенных природных экосистем в границах ООПТ в среднем составляет 17,8 %, при этом наибольшее их распространение (22–25 %) в растительном покрове территорий характерно для объектов



а *б*

Рис. 6.132. Карты нарушенности экосистем особо охраняемых природных территорий Беларуси:
а – Березинский биосферный заповедник; *б* – Национальный парк «Браславские озера»

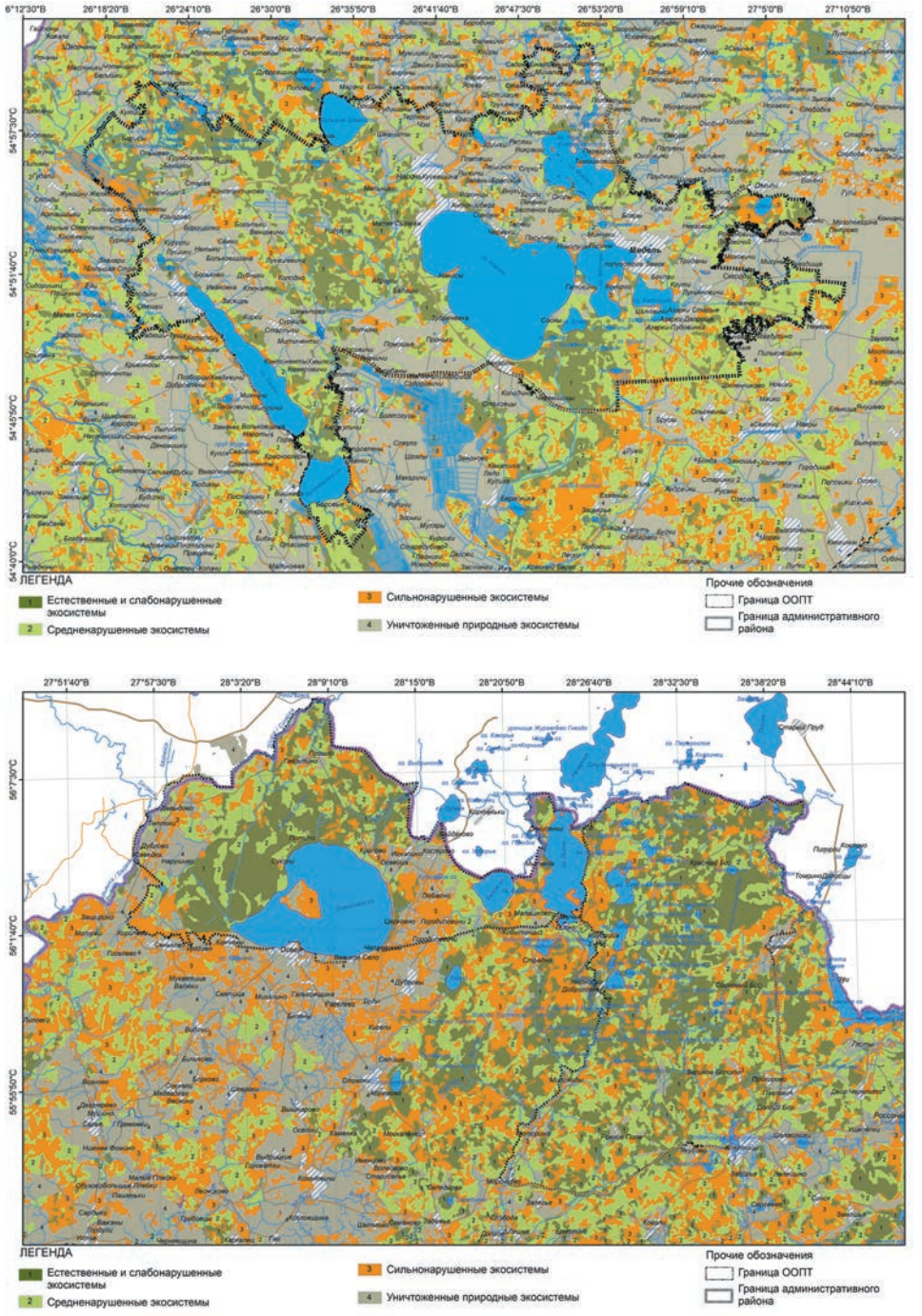


Рис. 6.133. Карты нарушенности экосистем особо охраняемых природных территорий Беларуси: *а* – Национальный парк «Браславские озера»; *б* – республиканские заказники «Освейский», «Красный Бор»

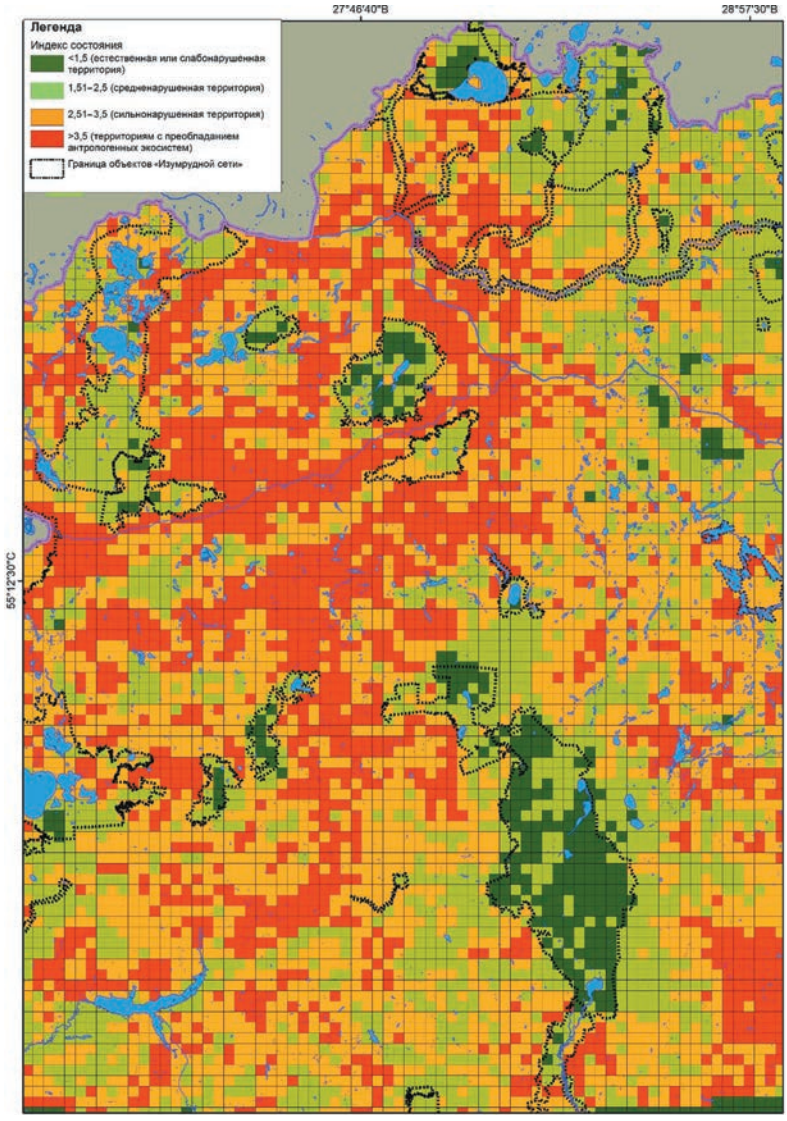


Рис. 6.134. Стратификация модельных территорий по степени нарушенности экосистем модельной территории

природно-заповедного фонда с наименее строгим природоохранным режимом (заказники «Красный Бор», «Освейский»), наименьшее – для ББЗ (7,0 %). В пределах модельных административных районов доля территорий с сильнонарушенными местообитаниями и структурой фитоценозов находится в пределах 14,9 % (Мядельский район) – 31,5 % (Россонский район), в среднем она составляет 22,8 % (см. рис. 6.132, 6.133).

Участки с полностью уничтоженными природными экосистемами на особо охраняемых природных территориях занимают в среднем 14,0 %,

варьируя в диапазоне от 0,3 % (ББЗ) до 33,4 % (НП «Нарочанский»). В пределах административных районов аналогичный показатель составляет 33,8 %. Наиболее высокий уровень антропогенной трансформации природного экосистемного разнообразия характерен для Мядельского (43,3 %) и Браславского (43,3 %) районов, наименьший – для Россонского (11,1 %) района.

По индексу состояния объекты исследования ранжируются следующим образом:

ООПТ: Березинский биосферный заповедник (1,36) < РЗ «Красный Бор» (1,88) < РЗ «Освейский» (2,18) < НП «Браславские озера» (2,42) < НП «Нарочанский» (2,59);

административные районы: Россонский (2,33) < Лепельский (2,49) < Докшицкий (2,74) < Мядельский (2,89) < Браславский (3,0).

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.

Этап I. Создается предварительный перечень угроз экосистемам и биологическому разнообразию исследуемой ООПТ и оценивается информативность их определения с использованием материалов наземного и дистанционного мониторинга (табл. 6.36).

Этап II. 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;

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, то есть не выше 10 %) съемкой;

приемлемая стоимость данных космической съемки.

Источником информации для получения открытых данных ДЗЗ является Интернет. В настоящее время наиболее развиты веб-сервисы мониторинга экосистем на основе снимков MODIS (*https://terra. nasa.gov*), Landsat (*https://landsat.usgs.gov; https://libra.developmentseed.org*), Sentinel (*https://scihub.copernicus.eu*) и ASTER (*https://asterweb.jpl.nasa.gov).* Адреса других

каталогов разнообразных типов снимков различного разрешения приведены в приложении Ж.

Также следует отметить возможность использования веб-инструментов для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений (см. приложение И).

Таблица 6.36. **Информативность идентификации угроз экосистемам и биологическому разнообразию ООПТ по данным наземного и дистанционного мониторинга**

Перечень возможных угроз	Наземные работы	Данные дистанционного зондирования		
		по аэрофотоснимкам	по космическим снимкам с разрешением	
			2–10 м	10–30 м
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	+	+	+	+ сплошные рубки
Чрезмерное пользование природными ресурсами (повреждение ягодных кустарничков, подсочка лиственных, превышение норм заготовки и т. д.)	+	–	–	–
		проектирование маршрута мониторинга для определения мест приоритетной заготовки ресурсов		
Перевыпас	+	+	+ по косвенным признакам	–
Выпас крупных стад животных и устройство летних лагерей скота	+	+	+ по косвенным признакам	–
Размножение фитофагов	+	–	–	–
Болезни	+	+	+ по косвенным признакам	–
Энтомоповреждение	+	+	+ по косвенным признакам	–
Подтопление, затопление	+	+	+	+
Загрязнение техногенное и органогенное	+	–	–	–
Загрязнение биологическое (инвазивные виды)	+	+ отдельные виды	–	–

Окончание табл. 6.36

Перечень возможных угроз	Наземные работы	Данные дистанционного зондирования		
		по аэрофотоснимкам	по космическим снимкам с разрешением	
			2–10 м	10–30 м
Свалки мусора	+	+	+	+ по косвенным признакам
Гидротехническая мелиорация	+	+	+	+ по косвенным признакам
Нарушение почвы техногенное и зоогенное	+	–	–	–
Воздействие аномальных природных явлений (поздневесенние и раннелетние заморозки, засухи, ураганы, затяжные паводки и пр.)	+	+	+ в зависимости от выраженности признака	+ в зависимости от выраженности признака
Изменение землепользования	+	+	+ в зависимости от выраженности признака	+ в зависимости от выраженности признака
Нецелевое использование земель	+	+	+ в зависимости от выраженности признака	+ в зависимости от выраженности признака

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 (рис. 6.135).

Шаг 2. Определение области интереса (с буфером) вокруг исследуемой территории (рис. 6.136). С использованием инструментов панели определяются сенсор, временной интервал спутниковых данных и требования к ДДЗ.

Шаг 3. Синтезируются комбинации каналов данных спутниковых сенсоров (рис. 6.137).

Шаг 4. Загрузка данных дистанционного зондирования (рис. 6.138). В окне отображается изображение в комбинации каналов натуральных цветов (настроено по умолчанию).

Шаг 5–6. Выбор комбинации каналов. Из списка можно выбрать варианты отображения предустановленных сочетаний каналов, а также составить пользовательский вариант (вкладка «Custom»).

Схема подготовка снимков с использованием EO Browser (https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser) представлена на рис. 6.139. Готовое синтезированное изображение может быть загружено в картографический вьювер (ArcGis, MapInfo, QGIS, Google Earth Pro) (рис. 6.140).

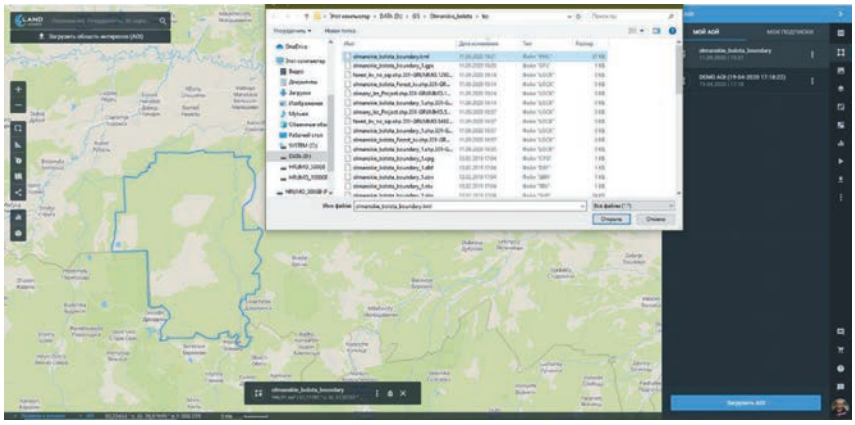


Рис. 6.135. Шаг 1. Загрузка границы (*.kml) исследуемой ООПТ

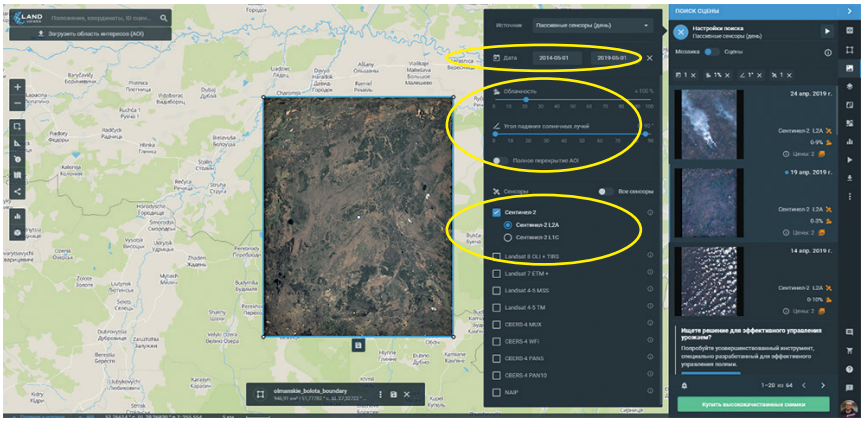


Рис. 6.136. Шаг 2. Определение области интереса (с буфером) вокруг исследуемой территории. С использованием инструментов панели определяются сенсор, временной интервал спутниковых данных и требования к ДДЗ

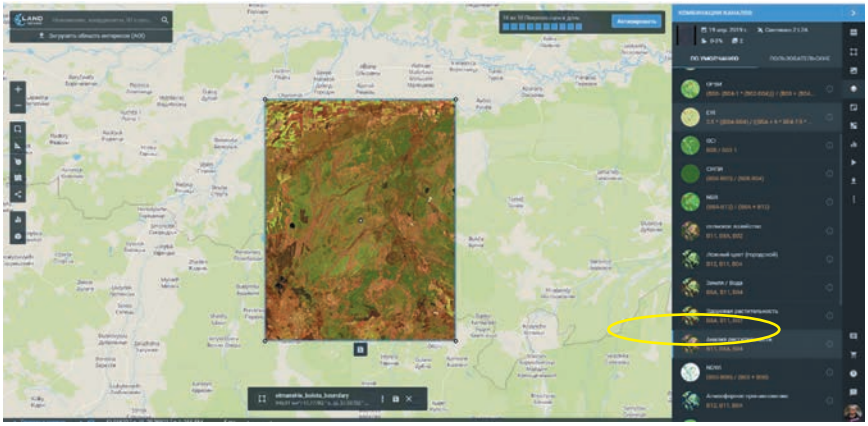
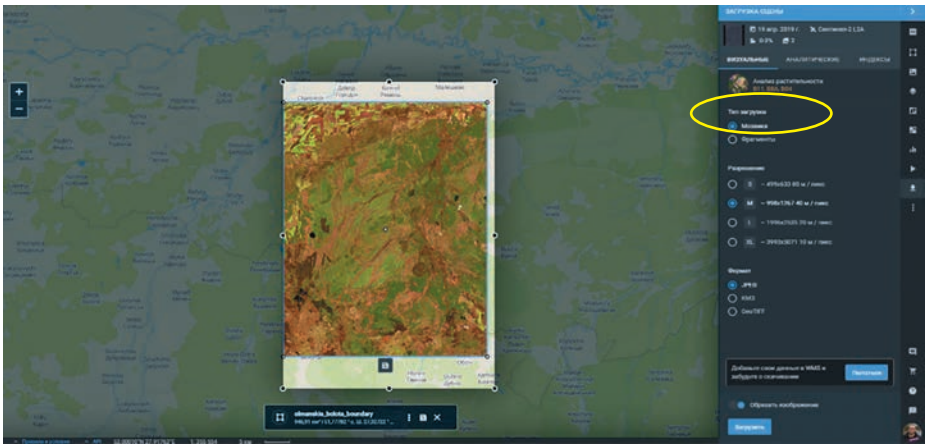
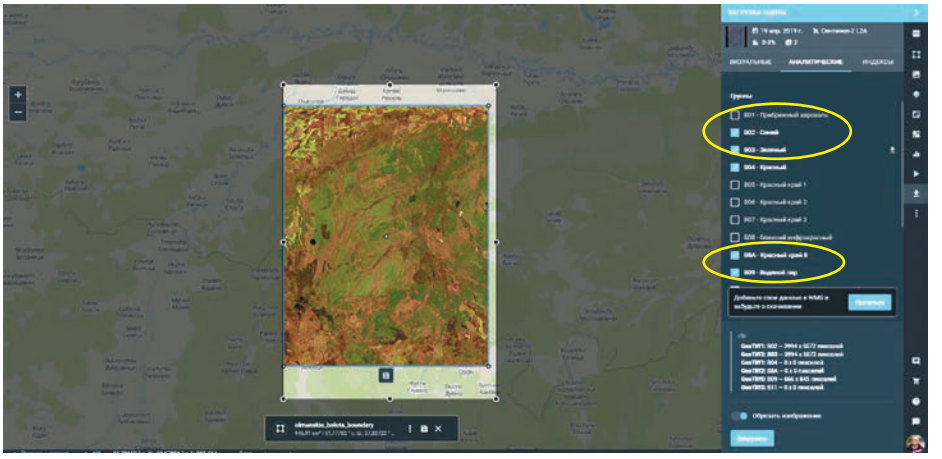


Рис. 6.137. Шаг 3. Синтезируются комбинации каналов данных спутниковых сенсоров



а



б

Рис. 6.138. Шаг 4. Загрузка данных дистанционного зондирования:
а – загрузка готовой мозаики (*.tif); *б* – загрузка отдельных («сырых») каналов спутниковой съемки

Этап III. Работа с данными ДЗЗ в программной среде ГИС (Esri, MapInfo, QGIS (Quantum GIS), Google Earth Pro (см. рис. 6.140).

В программную среду ГИС можно загружать не только снимки, полученные по отдельным каналам. Получение мультиспектрального изображения проводится на основе синтеза каналов в соответствии со схемами синтеза сенсоров (см. приложение К):

1) запускаем ArcGIS Desktop (рис. 6.141);

2) загружаем «сырые» спутниковые снимки (вариант RGB для Sentinel-2: B04–B03–B02) (рис. 6.142);

3) начинаем процедуру синтеза каналов (рис. 6.143) через опцию ОКНА – АНАЛИЗ изображений;

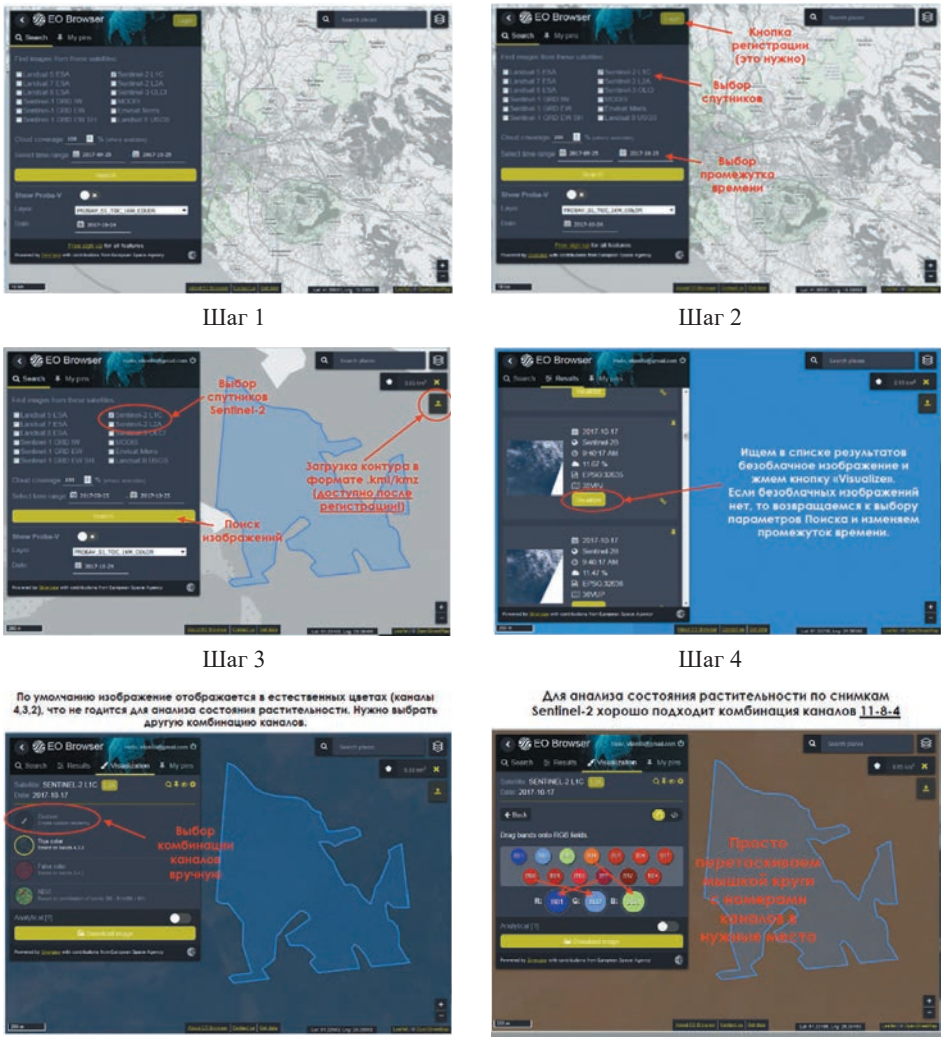


Рис. 6.139. Подготовка снимков с использованием EO Browser (*https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser*)

4) в окне АНАЛИЗ изображений при нажатой Ctrl выбираем спектральные каналы (рис. 6.144) в том порядке, как записаны формулы синтеза изображений (первым – B04, вторым – B03, третьим – B02);

5) нажимаем на значок СИНТЕЗ (рис. 6.145);

6) сохраняем композитный снимок в рабочей папке (рис. 6.146).

Этап IV. Формирование базовых данных как уровня отсчета мониторинговых наблюдений.

Этап V. Улучшение изображение и тематическая обработка изображений (см. параграф 6.3).

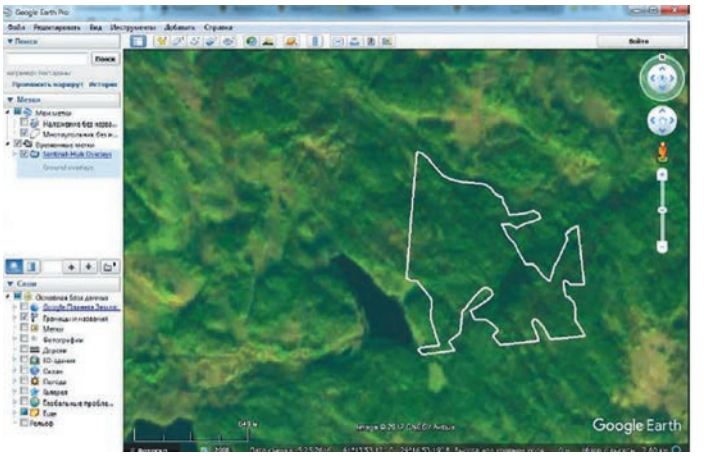


Рис. 6.140. Загрузка синтезированного приложения в среду Google Earth Pro

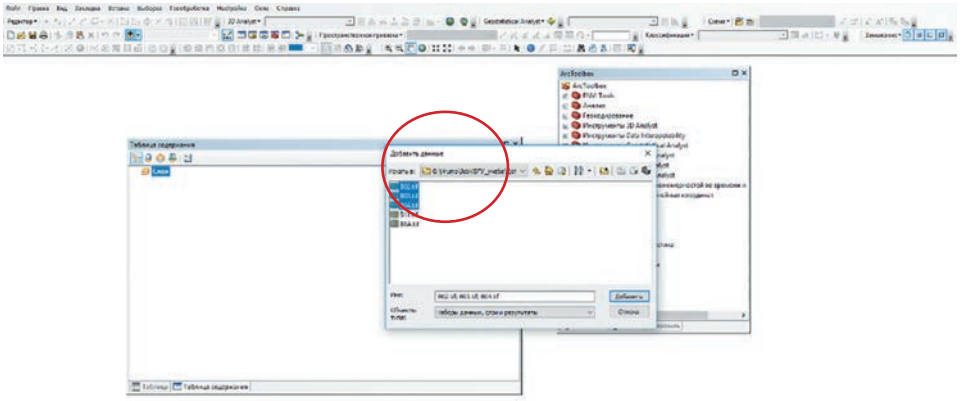


Рис. 6.141. Шаг 1. Запускаем ArcGIS Desktop

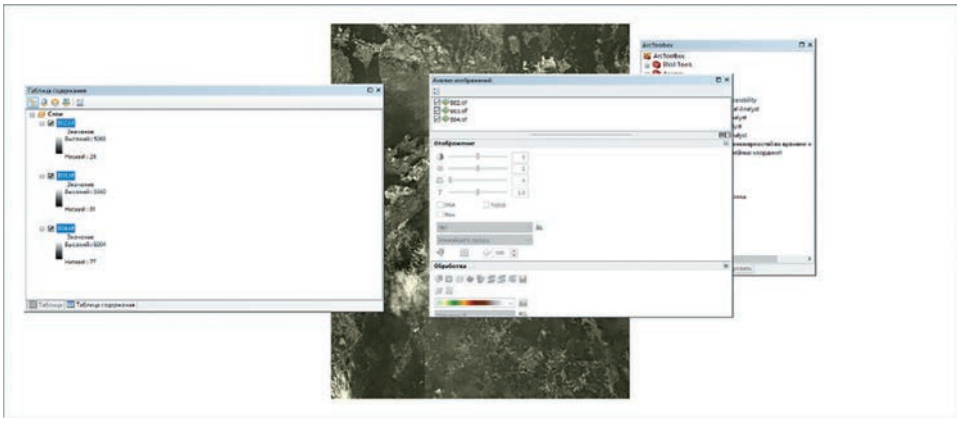


Рис. 6.142. Шаг 2. Загружаем «сырые» спутниковые снимки поканально (вариант RGB: B04–B03–B02)

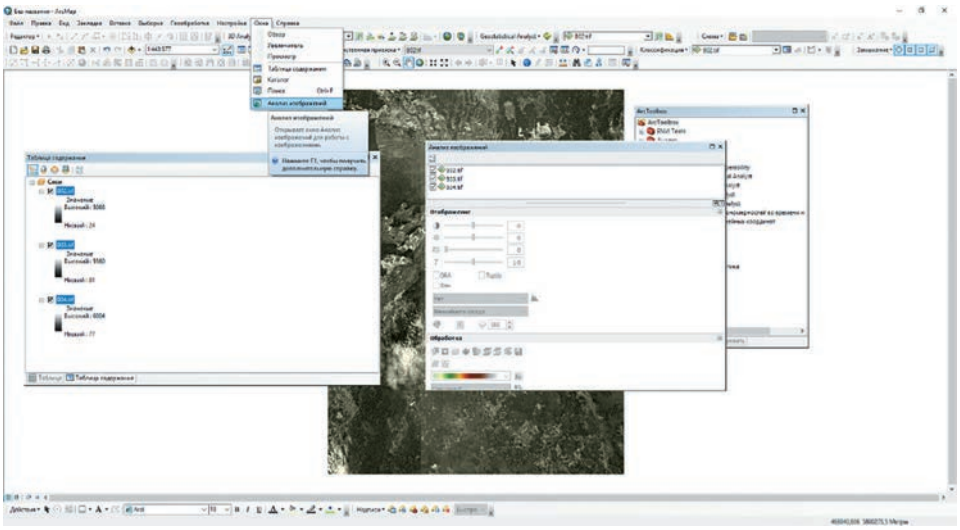


Рис. 6.143. Шаг 3. Запускаем процедуру синтеза каналов (через опцию ОКНА – АНАЛИЗ изображений)

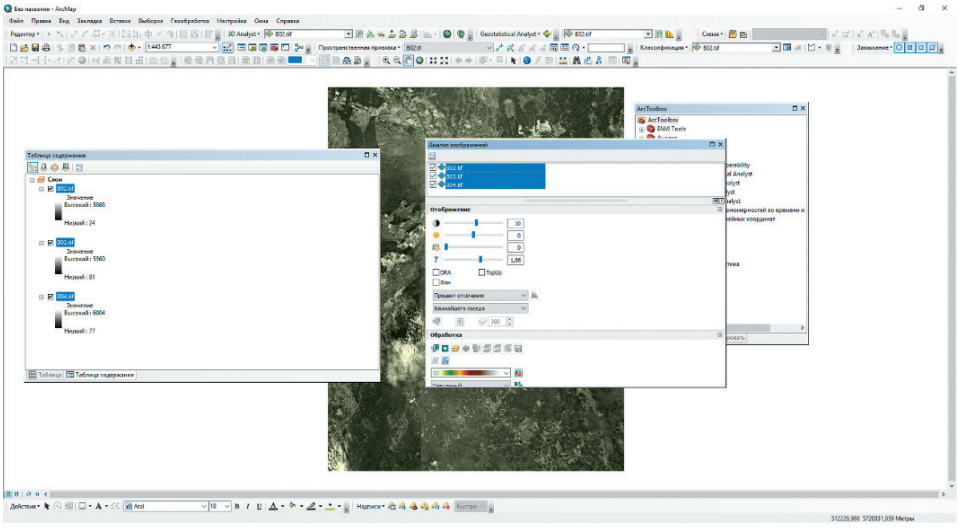


Рис. 6.144. Шаг 4. В окне АНАЛИЗ изображений при нажатой Ctrl выбираем спектральные каналы в том порядке, как записаны формулы синтеза изображений (первым – B04, вторым – B03, третьим – B02)

Этап VI. Составление предварительной карты угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием ДЗЗ и определение маршрута исследований (рис. 6.147, 6.148).

Этап VII. Для оперативной оценки и формирования маршрута мониторинга возможно использовать альтернативный метод с применением яркостных преобразований (расчетов вегетационных индексов в сочетании

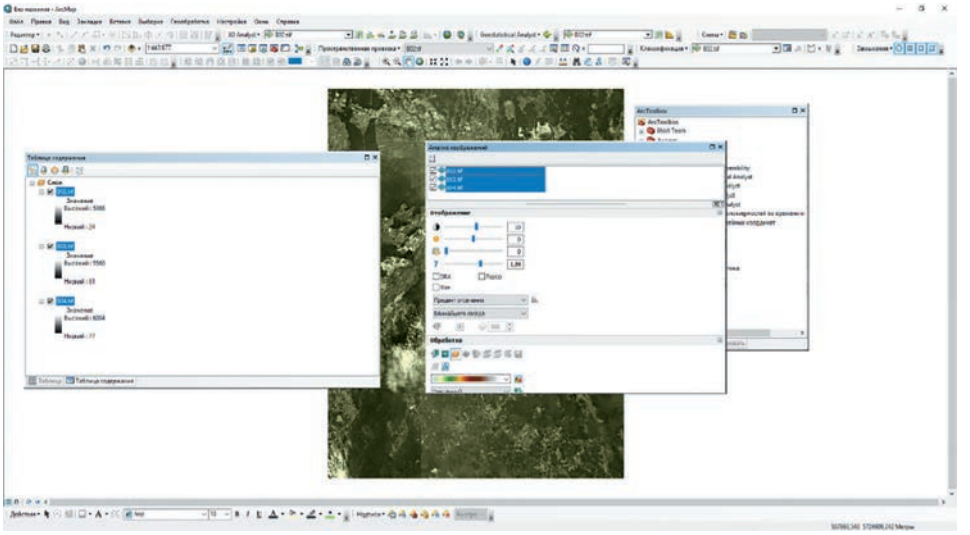


Рис. 6.145. Шаг 5. Нажимаем на значок СИНТЕЗ

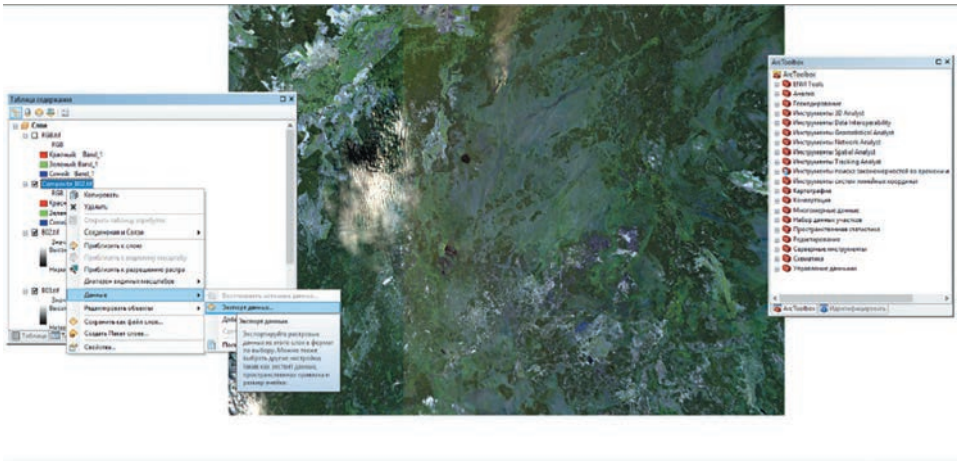


Рис. 6.146. Шаг 6. Сохраняем композитный снимок в рабочей папке

с методами анализа разновременных изображений). В этом случае угрозы «обезличены» и выделяются как участки со значительным снижением (увеличением) вегетационных индексов. Также для сравнительной оценки можно использовать возможности EO Browser.

Этап VIII. Проводится полевая проверка карты на маршрутах мониторинга.

Этап IX. В камеральных условиях оценивается масштаб угроз, рассчитываются с использованием стандартного модуля площади негативных

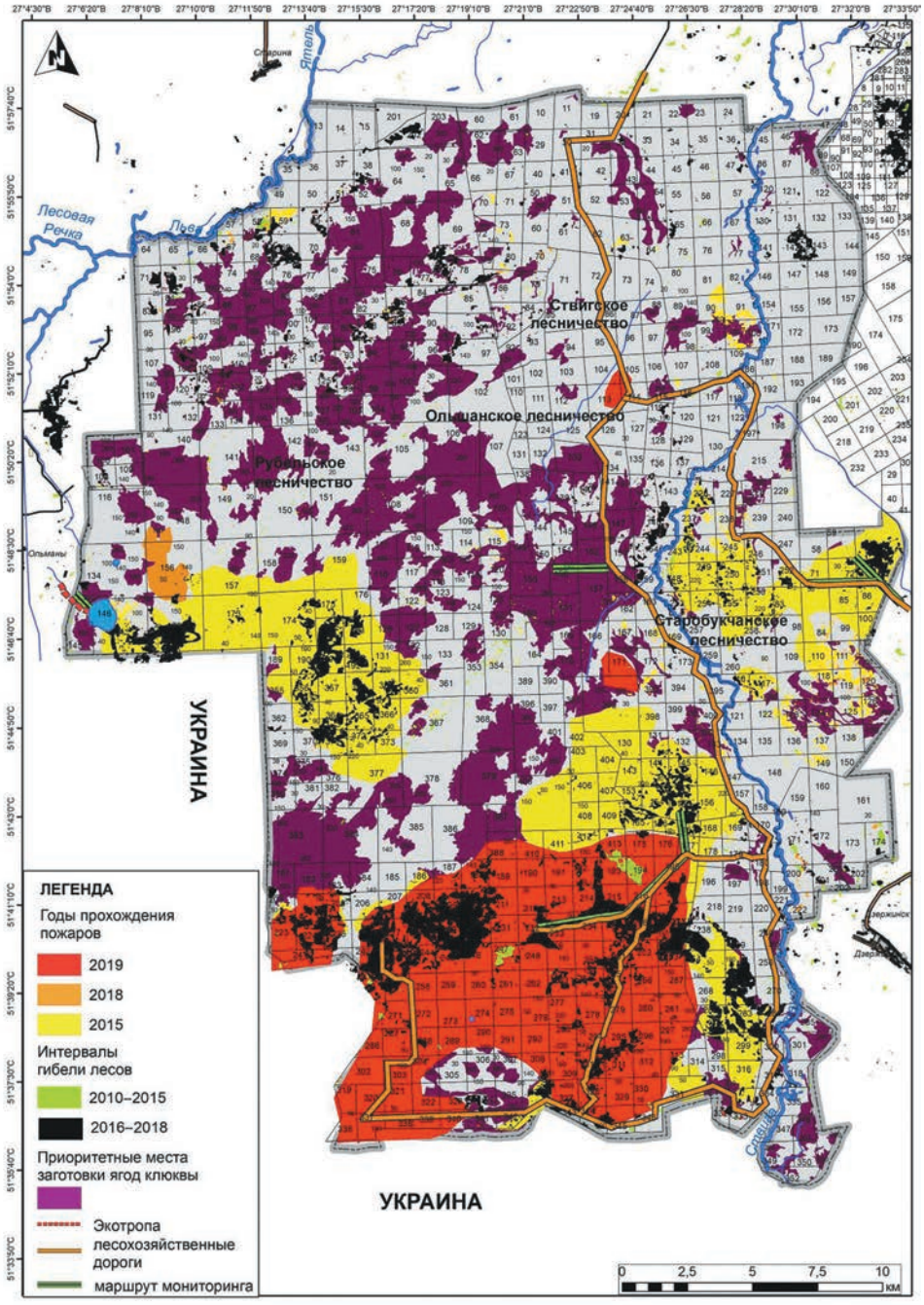


Рис. 6.147. Предварительная карта угроз экосистемам и биологическому разнообразию с маршрутом полевых исследований
(на примере Республиканского заказника «Ольманские болота»)

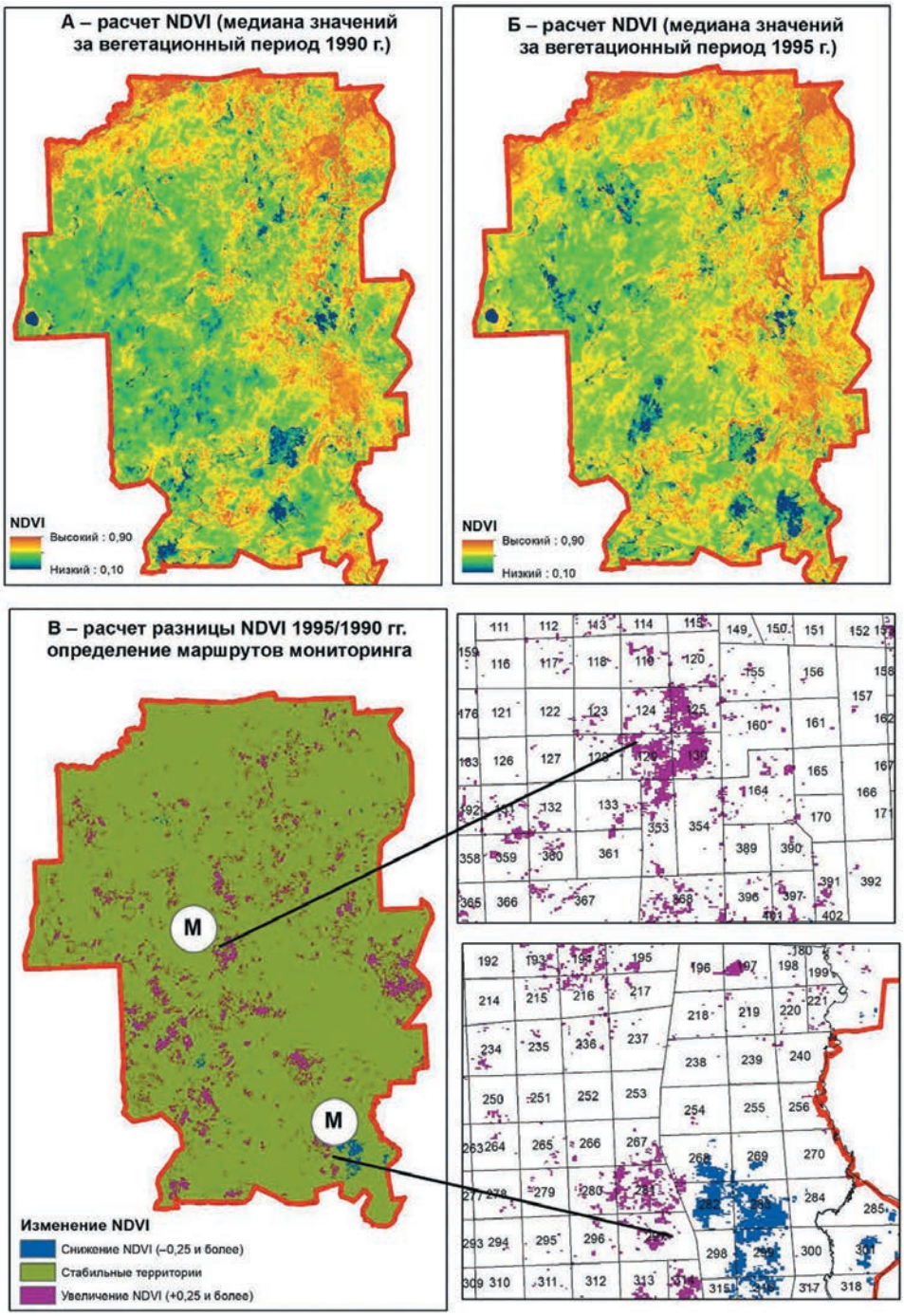


Рис. 6.148. Примеры формирования маршрута мониторинга с использованием разности вегетационных индексов

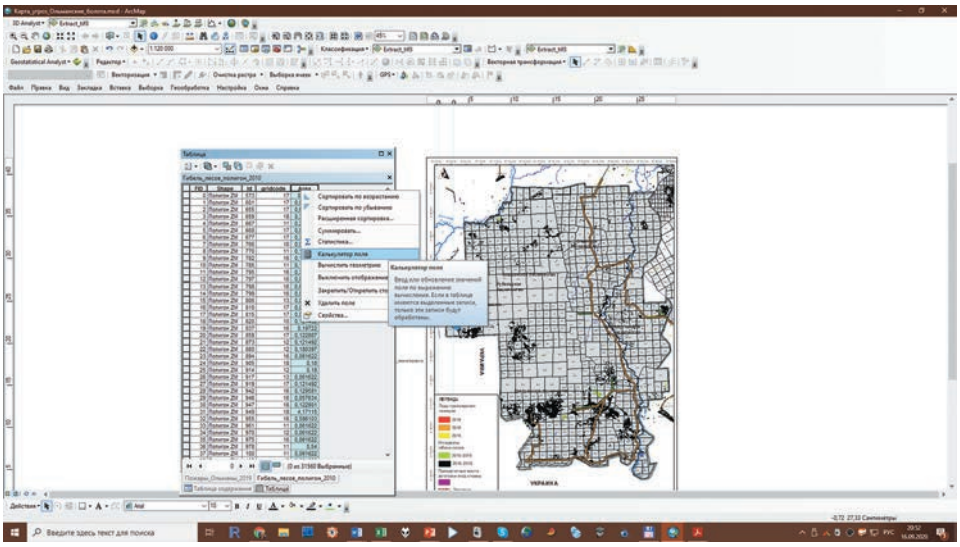


Рис. 6.149. Расчет площадей угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием ArcGIS Desktop

воздействий (рис. 6.149), составляются электронные базы данных, сводная ведомость угроз.

Этап X. Составляется итоговая тематическая карта угроз или вносятся изменения в базовую карту мониторинга.

6.7. Карты угроз для биологического разнообразия и планирования хозяйственных и природоохранных мероприятий – заключительный этап наземного и дистанционного мониторинга

На заключительном этапе исследований составляется итоговая карта локализации экологически опасных (конфликтных) ситуаций естественного и антропогенного происхождения, оказывающих угрозу функционированию его природных экосистем.

По характеру воздействия антропогенные факторы можно подразделить на 3 группы (*Волкова [и др.], 2001*): очаговые (сенокосы, свалки мусора, селитебная застройка, пашни); линейные (дороги разного типа, мелиоративные канавы, нефте- и газопроводы); площадные (рубки, пожары, рекреационные нагрузки и др.).

Существенное значение при оценке состояния растительности имеет давность и длительность воздействия того или иного фактора (*Волкова [и др.], 2001*). Одни из них произошли совсем недавно, другие оказывают

влияние в течение длительного времени и до настоящего момента. Воздействие третьих прекратилось в последнее десятилетие или ранее. К первым отнесены такие факторы, как: недавние сплошные рубки, пожары последних лет, выборочные рубки, сенокошение и выпас скота, замусоренность территории, загрязнение (техногенное, органогенное, биологическое), рекреационное воздействие, чрезмерное пользование природных ресурсов, потери леса в результате размножения насекомых, подтопление, загрязнение и нарушение почв, воздействие аномальных природных явлений, гидротехническая мелиорация. Эти факторы относят к прямодействующим (*Волкова [и др.], 2001*).

Действие других факторов уже не проявляется непосредственно, но существенные изменения в растительном покрове происходят в настоящее время под воздействием различных процессов, обусловленных прошлой деятельностью человека. К ним можно отнести зарастание старых вырубок, лесопосадки на месте старых гарей и вырубок, подтопление вдоль дорог, заболачивание старых вырубок и гарей, рудерализация и заболачивание земель, выбывших из хозяйственного использования, зарастание древесно-кустарниковой растительностью открытых участков (болот, лугов, агроценозов), формирование лесов на ранее нелесных землях.

Для построения карты анализируются все выделы геоботанической карты и отражается действие наиболее значимых факторов либо отсутствие (или минимальное влияние) их антропогенного пресса. В качестве примера приведена карта (рис. 6.150) для Рамсарской территории «Болото Дикое» (входит в состав НП «Беловежская пуща»).

С использованием средств геоинформационных систем проводится комплексная пространственная и статистическая обработка тематических картографических продуктов с целью оценки площадей, нарушенных в результате негативного воздействия, составления сводной ведомости угроз, анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений по вопросам влияния угроз на экосистемы и биологическое разнообразие исследуемой территории.

В границах Рамсарской территории «Болото Дикое» к прямодействующим факторам отнесены такие факторы (табл. 6.37), как: осушительная мелиорация (4558 га – 19,7 %), нарушение гидрологического режима из-за строительства автомобильной дороги Порозово – Пружаны (482 га – 2,1 %), выборочные рубки (121 га – 0,5 %), сплошные санитарные рубки (3 га – <0,1 %), сельскохозяйственное использование (94 га – 0,4 %), рекреационное воздействие (377 га – 1,6 %).

Некоторые существенные изменения в экосистемах Рамсарской территории происходят в настоящее время под воздействием различных процессов, обусловленных прошлой деятельностью человека. К ним можно отнести (см. табл. 6.37): гибель лесов (122 га – 0,5 %), лесопосадки на месте вырубок (24 га – 0,1 %), зарастание древесно-кустарниковой растительно-

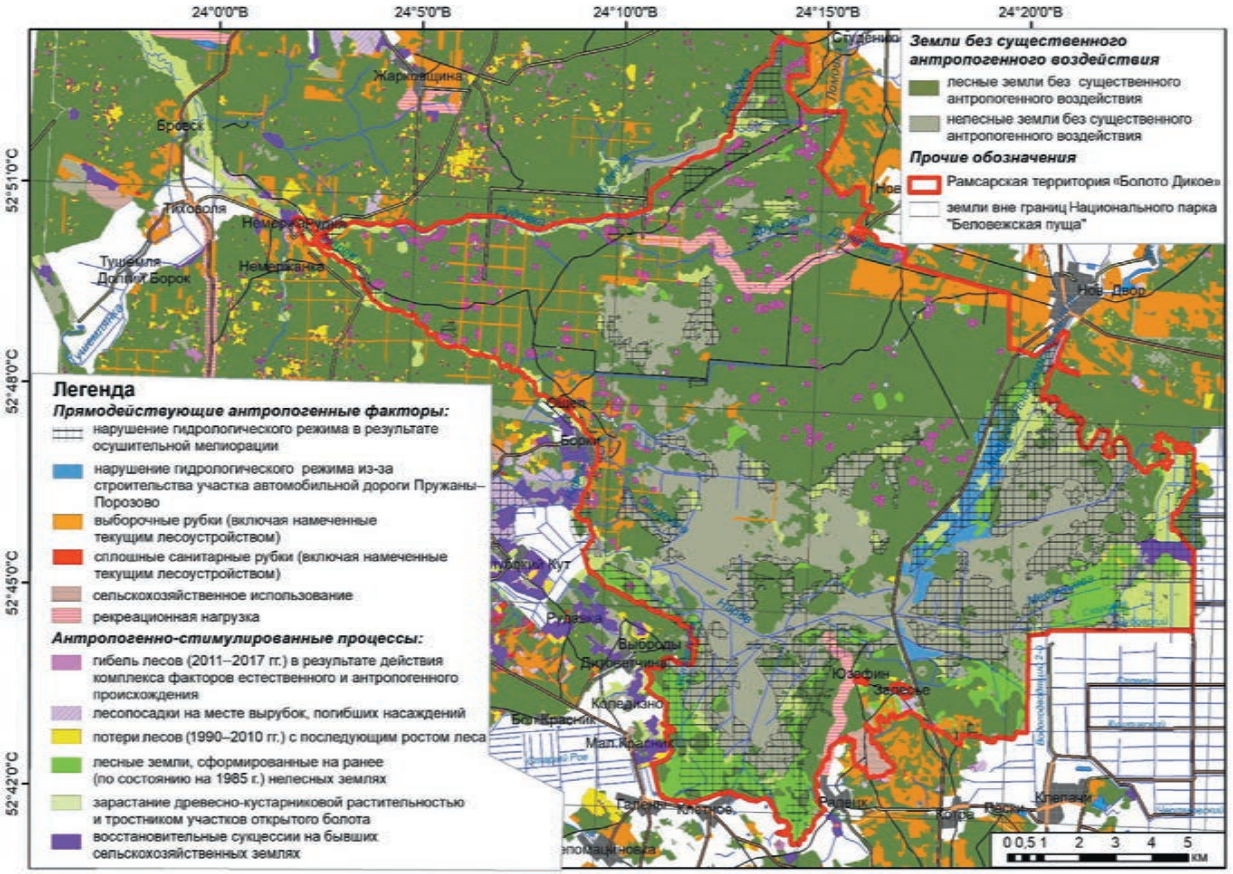


Рис. 6.150. Карта угроз экосистемам и биологическому разнообразию Рамсарской территории «Болото Дикое» (по состоянию на 2020 г.)

стью участков открытых травяных болот (2166 га – 9,4 %), облесение ранее нелесных земель сельскохозяйственного назначения (1600 га – 6,9 %).

Отсутствует видимое негативное воздействие на площади более 13,6 тыс. га (58,6 %). Основные источники воздействия на экосистемы природного комплекса сконцентрированы в его южном и восточном секторах. На участке с заповедным режимом охраны не выявлены прямодействующие факторы антропогенного влияния, а основные воздействия связаны с хозяйственной деятельностью человека в прошлом.

Тематическими картами, подводящими итоги исследования состояния биоразнообразия, являются карты планирования, которые иллюстрируют необходимость проведения целевых хозяйственных и природоохранных мероприятий.

Таблица 6.37. **Факторы антропогенного воздействия на природные экосистемы Рамсарской территории «Болото Дикое»**

Факторы воздействия	Площадь проявления фактора	
	га	%
Прямодействующие антропогенные факторы:	**5635**	**24,3**
нарушение гидрологического режима в результате осушительной мелиорации;	4558	19,7
нарушение гидрологического режима из-за строительства участка автомобильной дороги Порозово – Пружаны;	482	2,1
выборочные рубки последних лет;	121	0,5
сплошные санитарные рубки;	3	<0,1
сельскохозяйственное использование (пашня, сенокос);	94	0,4
рекреационное воздействие	377	1,6
Антропогенно-стимулированные процессы:	**3912**	**16,9**
лесопосадки на месте вырубок, погибших насаждений последних лет (2000–2018 гг.);	24	0,1
зарастание древесно-кустарниковой растительностью участков открытого болота в результате изменения традиционного использования болота (прекращение сенокошения);	2166	9,4
формирование лесов на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях (луга, сельскохозяйственные земли);	1600	6,9
гибель лесов (2010–2017 гг.)	122	0,5
Линейные факторы воздействия:	**38**	**0,2**
дороги с твердым покрытием;	9	<0,1
мелиоративные канавы	29	0,1

Такие карты составляются в крупном масштабе, имеют конкретную привязку к землепользователю и, как правило, создаются при подготовке Плана управления ООПТ или других документов стратегического планирования (рис. 6.151). С использованием возможностей ГИС на основании

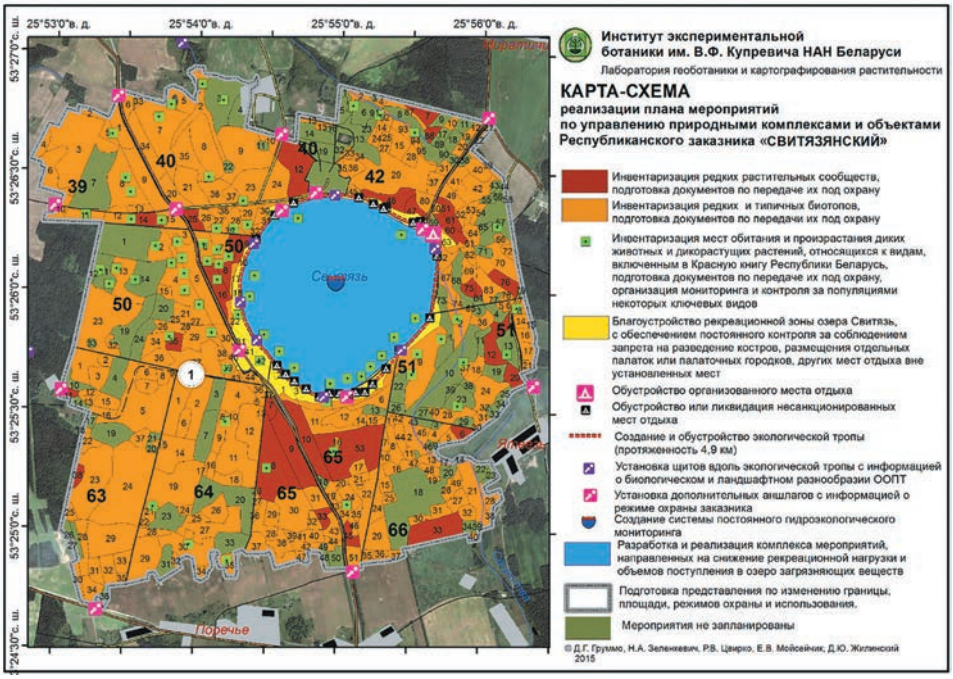


Рис. 6.151. Карта-схема реализации мероприятий по управлению природными комплексами и объектами Республиканского заказника «Свитязянский»

цифровых карт рассчитываются площади проведения (запрета) запроектированных мероприятий и сметы бюджетного планирования (табл. 6.38).

В заключение следует отметить, что успех использования разновременных, разнотипных, с разной степенью детальности съемочных данных, а также всех доступных картографических материалов зависит от привлечения современных геоинформационных технологий. Целесообразно создавать геоинформационные системы локального уровня, которые могут объединить подробные тематические и общегеографические данные, материалы аэро- и космических съемок разных лет, результаты стационарных наблюдений на тестовых площадках и другие дополнительные данные, имеющиеся на изучаемом участке ООПТ.

В наших исследованиях перечень тематических блоков в типовой ГИС выглядит следующим образом.

Базовый блок. Предназначен для географической привязки и согласования пространственных данных. Он включает: а) слой с выбранными элементами топографической основы; б) слой с гидрографической сетью.

Блок дистанционных данных (космоснимков, материалов автоматической классификации), который используется как для составления или уточнения базового слоя, так и для получения данных о характеристиках растительного покрова в результате дешифрирования.

Таблица 6.38. **Мероприятия по охране и рациональному использованию биологического и ландшафтного разнообразия Республиканского заказника «Свитязянский»**

№ п/п	Перечень мероприятий	Единица измерения	Показатель
1	Создание и обустройство экологической тропы	км	4,9
2	Установка щитов вдоль экологической тропы с информацией о биологическом и ландшафтном разнообразии особо охраняемой природной территории	ед.	9
3	Установка дополнительных аншлагов с информацией о режиме охраны заказника	ед.	18
4	Обустройство или ликвидация несанкционированных мест отдыха	ед.	25
5	Обустройство организованного места отдыха	ед.	1
6	Инвентаризация мест обитания и произрастания диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, подготовка документов по передаче их под охрану, организация мониторинга и контроля за популяциями некоторых ключевых видов	местообитание	72
7	Благоустройство рекреационной зоны озера Свитязь с обеспечением постоянного контроля за соблюдением запрета на разведение костров, размещения отдельных палаток или палаточных городков, других мест отдыха вне установленных мест	га	40,6
8	Инвентаризация редких и типичных биотопов, подготовка документов по передаче их под охрану	га	926,3

Геоморфологический блок. Включает следующие слои: а) гипсометрический (оцифрованные горизонтали с топографической карты); б) цифровую модель рельефа.

Блок с данными лесоустройства: а) слой с границами лесоустроительных кварталов и выделов; б) слой таксационных данных (возраст, состав, высота, диаметр, полнота насаждения, запас древесины) болотных лесов и примыкающих территорий; в) слой информации о выполненных хозяйственных мероприятиях.

Фитоценотический блок. Включает следующие слои: а) пункты проведения наземных полевых обследований растительности (геоботанических описаний, учета популяций древесных или травянистых растений на постоянных пробных площадях, профилях и трансектах; б) пункты находок редких или ценных видов растений; в) границы выделов базовой карты мониторинга (геоботаническая карта или карта экосистем).

Фаунистический блок. Включает следующие слои: а) пункты проведения наземных полевых обследований животного мира (места учета популяций объектов животного мира на постоянных пробных площадях, профилях и трансектах); б) пункты местообитаний редких или охраняемых видов животных.

Экологический блок включает слои: а) инструментальные измерения экологических параметров местообитаний (pH, электропроводность и уровень стояния вод, физико-химические свойства почв); б) фитометрические индексы (увлажнение, кислотность, трофность, освещение).

Антропогенный блок включает слои: а) данные выделения защитных территорий разного назначения; б) данные о лесных пожарах; в) информацию о состоянии растительности и негативных факторах воздействия; г) сведения о прокладке или функционировании коммуникаций.

6.8. Экономический потенциал и перспектива развития системы мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий

Космическая информация для дистанционного зондирования Земли широко используется во всем мире для решения производственных задач и научных исследований. Объем продаж материалов космической съемки в мире в настоящее время достигает величины 2,4–3,5 млрд USD и продолжает увеличиваться со скоростью 15–20 % в год. При появлении новых продуктов материалов космической съемки (в том числе тематических карт биоразнообразия) или расширении перечня услуг операторов космических систем можно ожидать скачкообразное увеличение спроса на материалы космической съемки для ДЗЗ на мировом рынке. В соответствии с прогнозами емкость гражданского мирового рынка материалов ДЗЗ из космоса к 2030 г. достигнет величины 4,5–5,0 млрд USD.

Это в первую очередь связано с тем, что при использовании космической информации удается сократить затраты на получение традиционных данных, повысить оперативность получения информации, улучшить статистическую достоверность данных при увеличении их объема, а также получить дополнительные сведения, не доступные потребителям при получении подобных данных традиционными методами.

Потенциальная емкость белорусского рынка тематического картографирования биоразнообразия на основе ДЗЗ с учетом размеров территории составляет около 1,5–2 млн USD в настоящее время и должна увеличиться до 15–20 млн USD к 2030 г.

Это определяет пристальное внимание потребителей космической информации к стратегии развития космической деятельности Беларуси, от содержания которой будет зависеть сфера использования космической информации в нашей стране в ближайшей перспективе. Охрана, рациональное использование и оценка состояния растительных ресурсов являются важным направлением развития национальной экономики. В связи с этим разработанные технологии позволят значительно улучшить существующие

Рис. 6.152. Концептуальная схема развития системы дистанционного мониторинга экосистем на ООПТ

технические решения в специализированных отраслевых системах спутникового мониторинга, обеспечив их эффективную эксплуатацию на основе комплексной обработки разнородных аэрокосмических данных на различных уровнях пространственной дифференциации.

Экономическая целесообразность развития технологий дистанционного зондирования для изучения растительного покрова Беларуси определяется следующими факторами:

1) исследованию может быть подвергнута любая точка страны, включая труднодоступные и опасные регионы (например, 30-км зона вокруг ЧАЭС, труднопроходимые болота Полесья);

2) применение технологии позволит снизить затраты на проведение инвентаризации объектов растительного мира в 2,5–3 раза (13–15 чел. × сут/1000 га наземными методами против 5 чел. × сут/1000 га с использованием ДЗЗ);

повысить качество и оперативность учета текущих изменений в растительном покрове в 1,5–2 раза;

3) масштабность исследований: покрываемая одним снимком площадь может достигать десятков тысяч квадратных километров;

4) стоимость единицы объема материалов аэросъемки в соотношении с наземными съемками составляет пропорцию 1 : 3, и в соотношении с данными космических съемок 1 : 1;

5) стоимость услуг, предоставляемых национальной системой дистанционного мониторинга, существенно ниже зарубежных аналогов. Услуги дистанционного мониторинга растительного мира могут предоставляться для территории Российской Федерации, ее регионов и субъектов, для локальных территорий, интересующих отдельные компании и коммерческие организации, а также для территорий различных государств (страны СНГ, Европы, Азии).

Концептуальная схема развития системы дистанционного мониторинга экосистем на ООПТ представлена на рис. 6.152.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Аксенов, Ярошенко, 2009 – Аксенов, Д. Е. Космические снимки для задач лесного хозяйства / Д. Е. Аксенов, А. Ю. Ярошенко // Земля из космоса: наиболее эффектив. решения. – 2009. – Вып. 1. – С. 10–16.

Алейников [и др.], 2010 – Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / А. А. Алейников [и др.] ; отв. ред.: Л. Б. Заугольнова, Т. Ю. Браславская. – М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. – 383 с.

Алехин, 1986 – Алехин, В. В. Теоретические проблемы фитоценологии и степеведения / В. В. Алехин. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1986. – 213 с.

Белавская, 1975 – Белавская, А. П. Высшая водная растительность / А. П. Белавская // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовской [и др.] ; отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. – М., 1975. – С. 117–132.

Белавская, 1979 – Белавская, А. П. К методике изучения водной растительности / А. П. Белавская // Ботан. журн. – 1979. – Т. 64, № 1. – С. 32–41.

Белов, Лямкин, Соколова, 2002 – Белов, А. В. Картографическое изучение биоты / А. В. Белов, В. Ф. Лямкин, Л. П. Соколова ; отв. ред. В. А. Снытко. – Иркутск : Облмашинформ, 2002. – 160 с.

Белова, Ершов, 2010 – Белова, Е. С. Методика создания безоблачных композитных изображений по спутниковым данным Landsat / Е. С. Белова, Д. В. Ершов // Восьмая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов», Москва, 15–19 ноября 2010 г. : тез. докл. / Ин-т косм. исслед. РАН. – М., 2010. – С. 33–34.

Белова, Ершов, 2011 – Белова, Е. С. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat-TM/ETM+ при создании безоблачных изображений местности / Е. С. Белова, Д. В. Ершов // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 73–82.

Берлянт, 1978 – Берлянт, А. М. Картографический метод исследования / А. М. Берлянт. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 255 с.

Берлянт, Себенюк, Тикунов, 1980 – Берлянт, А. М. Картографическое моделирование как средство исследования природной среды / А. М. Берлянт, С. Н. Себенюк, В. С. Тикунов // Картографические методы в исследовании окружающей среды : сб. науч. тр. / Геогр. о-во СССР, АН СССР ; отв. ред. К. А. Салищев. – М., 1980. – С. 35–46.

Биоразнообразие и функционирование..., 2021 – Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем / О. В. Смирнова [и др.] ; под ред. Н. В. Лукиной. – М. : Т-во науч. изд. КМК, 2021. – 327 с.

Бондур, Цидилина, Черепанова, 2019 – Бондур, В. Г. Космический мониторинг воздействия природных пожаров на состояние различных типов растительного покрова в федеральных округах Российской Федерации / В. Г. Бондур, М. Н. Цидилина, Е. В. Черепанова // Исслед. Земли из космоса. – 2019. – № 3. – С. 13–32.

Бурцев [и др.], 2019 – Современные возможности и перспективы развития Объединенной системы распределенной работы с данными НИЦ «Планета» / М. А. Бурцев [и др.] // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 198–212.

Власов, Гигевич, 2002 – Власов, Б. П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды : метод. рекомендации / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 2002. – 84 с.

Волкова [и др.], 2001 – Комплексное картографирование природной среды побережья Финского залива (район Лужской губы) / Е. А. Волкова [и др.] ; ред. Т. А. Асанович. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. гос. хим.-фармацевт. акад., 2001. – 139 с.

Гаврилюк, Ершов, 2012 – Гаврилюк, Е. А. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области / Е. А. Гаврилюк, Д. В. Ершов // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 15–23.

Гельтман, 1982 – Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман ; ред. И. Д. Юркевич. – Минск : Наука и техника, 1982. – 326 с.

Гигевич, Власов, 2000 – Гигевич, Г. С. Мониторинг высшей водной растительности как метод контроля за трансформацией природной среды / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов // Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия / Белорус. гос. ун-т, Univ. of Silesia ; ред.: А. Т. Янковский, И. И. Пирожник. – Минск ; Сосновец, 2000. – С. 186–192.

Гигевич, Власов, Вынаев, 2001 – Гигевич, Г. С. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов, Г. В. Вынаев ; под общ. ред. Г. С. Гигевич. – Минск : БГУ, 2001. – 231 с.

Груммо [и др.], 2015 – Карта растительности болот центральной ландшафтной зоны Березинского биосферного заповедника / Д. Г. Груммо [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : материалы II Междунар. науч. семинара (Минск, 24–25 сент. 2015 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Белорус. ботан. о-во. – Минск, 2015. – С. 38–41.

Груммо [и др.], 2021 – Картографирование растительности торфяных болот и заболоченных земель Беларуси: методические подходы и результаты / Д. Г. Груммо [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : материалы IV Междунар. науч. семинара (22–24 сент. 2021 г., Минск – Витебск) / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Витеб. гос. ун-т ; редкол.: Н. А. Зеленкевич [и др.]. – Минск, 2021. – С. 29–37.

Девятова, Ершов, 2005 – Девятова, Н. В. Съемка MODIS/TERRA в мониторинге вспышек массового размножения очагов насекомых-вредителей / Н. В. Девятова, Д. В. Ершов // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2005. – Вып. 2, т. 2. – С. 262–266.

Диагнозы и ключи возрастных..., 1980 – Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений : метод. разраб. для студентов биол. специальностей / Моск. гос. пед. ин-т ; [редкол.: Т. И. Серебрякова (отв. ред.) и др.]. – М. : МГПИ, 1980. – Ч. 1 : Однодольные. Злаки. – 109 с.

Диагнозы и ключи возрастных..., 1983 – Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений : метод. разраб. для студентов биол. специальностей / Моск. гос. пед. ин-т ; [редкол.: Т. И. Серебрякова (отв. ред.) и др.]. – М. : МГПИ, 1983. – Ч. 2. – 96 с.

Диагнозы и ключи возрастных..., 1983 – Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений : метод. разраб. для студентов биол. специальностей / Моск. гос. пед. ин-т ; редкол.: Т. И. Серебрякова [и др.]. – М. : МГПИ, 1983. – Ч. 3. – 79 с.

Диагнозы и ключи возрастных..., 1987 – Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Эфемероиды : метод. разраб. для студентов биол. специальностей / Моск. гос. пед. ин-т ; подгот.: М. М. Старостенкова [и др.]. – М. : МГПИ, 1987. – 79 с.

Диагнозы и ключи возрастных..., 1989 – Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники : метод. разраб. для студентов биол. специальностей / Моск. пед. ин-т ; под ред. О. В. Смирновой. – М. : Прометей, 1989. – Ч. 1. – 105 с.

Ершов [и др.], 2004 – Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров / Д. В. Ершов [и др.] // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2004. – Вып. 1, т. 1. – С. 47–57.

Жирин, 2004 – Жирин, В. М. Оценка лесопатологического состояния насаждений по материалам съемок / В. М. Жирин // Болезни и вредители в лесах России : справ. : в 3 т. / М-во природ. ресурсов Рос. Федерации, Федер. агентство лес. хоз-ва. – М., 2004. – Т. 3 : Методы мониторинга вредителей и болезней леса. – С. 43–57.

Жирин, Лебедева, 2006 – Жирин, В. М. Применение материалов аэрокосмических съемок для проведения мониторинга зеленых насаждений / В. М. Жирин, Г. С. Лебедева. – М. : Мосэкомониторинг, 2006. – 40 с.

Жирин [и др.], 2012 – Сезонная информативность многоспектральных космических снимков высокого разрешения при изучении породно-возрастной динамики лесов / В. М. Жирин [и др.] // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 87–94.

Жирин, Князева, Эйдлина, 2013 – 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.

Жирин, Князева, Эйдлина, 2014 – Жирин, В. М. Динамика спектральной яркости породно-возрастной структуры групп типов леса на космических снимках Landsat / В. М. Жирин, С. В. Князева, С. П. Эйдлина // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 3–12.

Заугольнова, Денисова, Никитина, 1993 – Заугольнова, Л. Б. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений / Л. Б. Заугольнова, Л. В Денисова, С. В. Никитина // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы, Отд. биол. – 1993. – Т. 98, вып. 5. – С. 100–108.

Заугольнова [и др.], 1993 – Мониторинг фитопопуляций / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Успехи соврем. биологии. – 1993. – Т. 113, вып. 4. – С. 402–414.

Зенкевич, Глушков, Антонова, 2009 – 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: наиболее эффектив. решения. – 2009. – Вып. 1. – С. 17–21.

Зубков, Скрипачев, 2007 – Зубков, И. А. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ / И. А. Зубков, В. О. Скрипачев // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2007. – Вып. 4, т. 1. – С. 57–62.

Ильючик, Цай, 2011 – Ильючик, М. А. Предварительная ресурсная оценка повреждений лесных насаждений на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий / М. А. Ильючик, С. С. Цай // Тр. БГТУ. Сер.: Лес. хоз-во. – 2011. – № 1 (139). – С. 26–29.

Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004 – Книжников, Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований : учеб. / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М. : Academia, 2004. – 332 с.

Королева [и др.], 2018 – Оценка масштабов зарастания нелесных земель в Национальном парке «Смоленское Поозерье» за 25 лет по спутниковым данным Landsat / Н. В. Королева [и др.] // Лесоведение. – 2018. – № 2. – С. 83–96.

Котова [и др.], 2000 – Опыт картографирования экологического состояния растительного покрова / Т. В. Котова [и др.] // Экология. – 2000. – № 5. – С. 349–354.

Кочуб, Топаз, 2012 – Кочуб, Е. В. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли / Е. В. Кочуб, А. А. Топаз // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Приклад. науки. – 2012. – № 16. – С. 132–140.

Кравцов, 2008 – Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли : анализ методов / С. Л. Кравцов. – Минск : Объед. ин-т проблем информатики, 2008. – 255 с.

Красная книга… (животные), 2015 – Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; ред.: И. М. Качановский [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2015. – 317 с.

Красная книга… (растения), 2015 – Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; ред.: И. М. Качановский [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2015. – 445 с.

Круганова, Баранова, Буртыс, 1996 – Круганова, Е. А. Вопросы геоботанического картографирования луговой растительности Белоруссии / Е. А. Круганова, М. Е. Баранова, Н. А. Буртыс // Геоботанические исследования : сб. ст. / Ин-т эксперим. ботаники Акад. наук БССР [и др.] ; редкол.: И. Д. Юркевич [и др.]. – Минск, 1966. – С. 52–56.

Курлович, 2011 – Курлович, Д. М. ГИС-картографирование земель : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 2011. – 244 с.

Курлович, 2013 – Курлович, Д. М. Геоинформационные методы анализа и прогнозирования погоды : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 2013. – 191 с.

Лабутина, Балдина, 2011 – Лабутина, И. А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ : метод. пособие / И. А. Лабутина, Е. А. Балдина. – М. : Всемир. фонд дикой природы (WWF России), 2011. – 88 с.

Левицкий, Пересадько, 1991 – Левицкий, И. Ю. Тенденции зарубежного экологического картографирования / И. Ю. Левицкий, В. А. Пересадько // Международное совещание «Принципы и методы экологического картографирования», Пущино, 1–5 окт. 1991 г. : тез. докл. / Ин-т эволюц. морфологии и экологии животных, Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – Пущино, 1991. – С. 10–11.

Лесные экосистемы…, 1990 – Лесные экосистемы и атмосферные загрязнения / Акад. наук СССР, Ботан. ин-т ; под ред. В. А. Алексеева. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1990. – 198 с.

Лесоустроительный проект…, 2021 – Лесоустроительный проект государственного природоохранного учреждения «Национальный парк «Нарочанский» на 2022–2031 годы : пояснительная записка / А. В. Таркан [и др.]. – Минск : ЛРУП «Белгослес», 2021. – 292 с.

Лупян [и др.], 2014 – Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «ПЛАНЕТА» / Е. А. Лупян [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 12. – С. 89–97.

Лупян, Балашев, Бурцев, 2015 – Современные возможности организации распределенной обработки данных дистанционного зондирования / Е. А. Лупян [и др.] // Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве», Санкт-Петербург, 16–17 сентября 2015 г. / Агрофиз. науч.-исслед. ин-т [и др.] ; [редкол.: С. Ю. Блохина, О. А. Агеенкова, А. Ю. Цивилев]. – СПб., 2015. – С. 89–94.

Миркин, Наумова, Соломещ, 2000 – Миркин, Б. М. Современная наука о растительности : учеб. / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М. : Логос, 2000. – 263 с.

Миртова, Ершов, Мягкова, 2013 – Миртова, И. А. Использование спутниковых данных для оценки повреждения лесов короедом-типографом на примере Московской области / И. А. Миртова, Д. В. Ершов, Д. А. Мягкова // Изв. высш. учеб. заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 77–82.

Носенко, Лошкарев, 2010 – Носенко, Ю. И. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 1) / Ю. И. Носенко, П. А. Лошкарев // Геоматика. – 2010. – № 3. – С. 35–43.

Определитель высших растений..., 1999 – Определитель высших растений Беларуси : учеб. пособие для студентов биол. специальностей / Т. А. Сауткина [и др.] ; под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 471 с.

Пидопличко, 1961 – Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии : (генезис, стратиграфия и районирование) / А. П. Пидопличко. – Минск : Изд-во Акад. наук Белорус. ССР, 1961. – 192 с.

Полевая геоботаника, 1960 – Полевая геоботаника : [в 4 т.] / Акад. наук СССР, Ботан. ин-т ; под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. – М. ; Л. : Изд.-во Акад. наук СССР, 1960. – Т. 2. – 499 с.

Полевая геоботаника, 1964 – Полевая геоботаника : [в 4 т.] / Акад. наук СССР, Ботан. ин-т ; под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. – М. ; Л. : Наука, 1964. – Т. 3. – 530 с.

Полевая геоботаника, 1972 – Полевая геоботаника : [в 4 т.] / Акад. наук СССР, Ботан. ин-т ; под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1972. – Т. 4. – 336 с.

Природная среда..., 2007 – Природная среда и биологическое разнообразие архипелага Березовые острова (Финский залив) / Н. М. Алексеева [и др.] ; отв. ред. Н. Н. Цвелев. – СПб. : Бостон-спектр, 2007. – 368 с.

Природная среда побережья..., 2003 – Природная среда побережья и акватории Финского залива: (район порта «Приморск») / А. Г. Бубличенко [и др.] ; ред.: Е. А. Волкова, В. Н. Храмцов, Г. А. Исаченко. – СПб. : Ботан. ин-т РАН, 2003. – 127 с.

Программный комплекс ENVI, 2007 – Программный комплекс ENVI : учеб. пособие. – М. : Совзонд, 2007. – 229 с.

Пугачевский, Судник, Вершицкая, 2005 – Пугачевский, А. В. Концепция экологического каркаса лесной территории и ландшафтного планирования устойчивого лесного хозяйства / А. В. Пугачевский, А. В. Судник, И. Н. Вершицкая // Природ. ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 106–118.

Работнов, 1983 – Работнов, Т. А. Фитоценология : учеб. пособие / Т. А. Работнов. – 2-е изд. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 290 с.

Раменский, 1937 – Раменский, Л. Г. Методические предпосылки ответственной геоботанической работы и постановки геоботанических исследований силами колхозников, учителей, краеведов и других местных работников / Л. Г. Раменский // Совет. ботаника. – 1937. – № 3. – С. 10–20.

Рамсарские территории Беларуси..., 2020 – Рамсарские территории Беларуси: «Болото Дикое» / Д. Г. Груммо [и др.] ; науч. ред. Д. Г. Груммо. – Минск : Колорград, 2020. – 259 с.

Растительность и биотопы..., 2017 – Растительность и биотопы Национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (М 1 : 60 000) и картой биотопов (М 1 : 60 000) / Д. Г. Груммо [и др.] ; ред. А. В. Пугачевский. – Минск : Колорград, 2017. – 81 с.

Рачковская, Темирбеков, Садвокасов, 2000 – Рачковская, Е. И. Использование дистанционных методов для оценки степени антропогенной трансформации пастбищ / Е. И. Рачковская, С. С. Темирбеков, Р. Е. Садвокасов // Геоботан. картографирование. – 2000. – № 1998–2000. – С. 16–25.

Рожков, 2001 – Рожков, Л. Н. Основы теории и практики рекреационного лесоводства / Л. Н. Рожков. – Минск : Белорус. гос. технол. ун-т, 2001. – 292 с.

Русецкий, Жилинский, Груммо, 2020 – Русецкий, С. Г. Ретроспективная оценка пирологической ситуации на территории лесоболотного комплекса «Ольманские болота» на основе ДЗЗ / С. Г. Русецкий, Д. Ю. Жилинский, Д. Г. Груммо // Ботаника (исследования) / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по биоресурсам [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 49. – С. 124–133.

Саевич, 1990 – Саевич, К. Ф. Рациональное использование лесных ресурсов / К. Ф. Саевич. – Минск : Ураджай, 1990. – 232 с.

Солоневич, 1971 – Солоневич, Н. Г. К методике определения биологической продуктивности болотных растительных сообществ / Н. Г. Солоневич // Ботан. журн. – 1971. – Т. 56, № 4. – С. 497–511.

Сукачев, Дылис, 1966 – Программа и методика биогеоценологических исследований / В. Н. Сукачев [и др.] ; под ред. В. Н. Сукачева, Н. В. Дылиса. – М. : Наука, 1966. – 334 с.

Сухих, 2005 – Сухих, В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве : учеб. / В. И. Сухих. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2005. – 392 с.

Сухих, Жирин, 2005 – 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 Всерос. совещ.-семинара с междунар. участием, 28 сент. – 1 окт. 2005 г., Красноярск / Федер. агентство лес. хоз-ва МПР РФ [и др.] ; науч. ред. А. С. Исаев. – Красноярск, 2005. – С. 99–102.

Торфяной фонд..., 1979 – Торфяной фонд Белорусской ССР : кадастровый справ. : по сост. разведанности на 1 янв. 1978 г. : в 6 т. / Упр. гос. торф. фонда при Госплане БССР (Госторффонд). – Минск : [б. и.], 1979–1980. – 6 т.

Турубанова [и др.], 2017 – Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 / С. А. Турубанова [и др.] // Russ. J. of Ecosystem Ecology. – 2017. – Vol. 2, № 1. – P. 1–11.

Уранов, 1960 – Уранов, А. А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе / А. А. Уранов // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. – 1960. – Т. 65, вып. 3. – С. 77–92.

Усова, 2009 – Усова, Л. И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири / Л. И. Усова. – СПб. : Нестор-История, 2009. – 78 с.

Федорчук [и др.], 1998 – Резерват «Вепсский лес». Лесоводственные исследования / В. Н. Федорчук [и др.]. – СПб. : СПбНИИЛХ, 1998. – 208 с.

Флора и растительность..., 2010 – Флора и растительность ландшафтного заказника «Ельня» / Д. Г. Груммо [и др.] ; под ред. Н. Н. Бамбалова. – Минск : Минсктиппроект, 2010. – 200 с.

Ценопопуляции растений..., 1976 – Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Л. И. Воронинова [и др.] ; отв. ред.: А. А. Уранов, Т. И. Серебрякова. – М. : Наука, 1976. – 217 с.

Чабан, 2013 – Чабан, Л. Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации для картографирования геопространственных данных : учеб. пособие / Л. Н. Чабан. – М. : МИИГАиК, 2013. – 96 с.

Черепанов, Дружинина, 2009 – Черепанов, А. С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.

Черепанов, 2011 – Черепанов, А. С. Вегетационные индексы / А. С. Черепанов // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.

Шаталов [и др.], 2006 – К оценке повреждения лесов Национального парка «Водлозерский» по космическим изображениям QuickBird / А. В. Шаталов [и др.] // Водлозерские чтения: естественнонаучные и гуманитарные основы природоохранной, научной и просветительской деятельности на охраняемых природных территориях Русского Севера : материалы науч.-практ. конф., 27–28 апр. 2006 г., Петрозаводск / Федер. служба по надзору в сфере природопользования, Нац. парк «Водлозерский» ; редкол.: О. В. Червяков [и др.]. – Петрозаводск, 2006. – С. 102–106.

Шенников, 1950 – Шенников, А. П. Экология растений / А. П. Шенников. – М. : Совет. наука, 1950. – 376 с.

Юнтоловский региональный комплексный..., 2005 – Юнтоловский региональный комплексный заказник / Е. Н. Андреева [и др.] ; под ред. Е. А. Волковой, Г. А. Исаченко, В. Н. Храмцова. – СПб. : Бостон-Спектр, 2005. – 202 с.

Юркевич, 1980 – Юркевич, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах : (вспомогательные таблицы) / И. Д. Юркевич. – Изд. 3-е, доп. – Минск : Наука и техника, 1980. – 120 с.

Юркевич, Бусько, Степанович, 1987 – Юркевич, И. Д. Кормовая оценка луговой флоры Белоруссии / И. Д. Юркевич, С. Р. Бусько, И. М. Степанович // Ботаника (исследования) / Отд-ние биол. наук АН БССР, Белорус. респ. ботан. о-во. – Минск, 1987. – Вып. 28. – С. 3–15.

Юркевич, Голод, Красовский, 1989 – Юркевич, И. Д. Рекреационные ресурсы бассейна Нарочи и их использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, Е. Л. Красовский. – Минск : Наука и техника, 1989. – 224 с.

Юркевич, Ярошевич, 1974 – Юркевич, И. Д. Биологическая продуктивность типов и ассоциаций сосновых лесов (по исследованиям в БССР) / И. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич. – Минск : Наука и техника, 1974. – 296 с.

Birth, McVey, 1968 – Birth, G. S. Measuring the color of crowing turf with a reflectance spectroradiometer / G. S. Birth, G. McVey // Agronomy J. – 1968. – Vol. 60, is. 6. – P. 640–643.

Ceccato [et al.], 2001 – Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato [et al.] // RSE. – 2001. – Vol. 77, is. 1. – P. 22–33.

Champagne [et al.], 2003 – Validation of a hyperspectral curve-fitting model for the estimation of plant water content of agricultural canopies / C. M. Champagne [et al.] // RSE. – 2003. – Vol. 87, is. 2–3. – P. 148–160.

Chu, Guo, 2014 – Chu, T. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions : a review / T. Chu, X. Guo // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6, is. 1. – P. 470–520.

Crippen, 1990 – Crippen, R. E. Calculating the vegetation index faster / R. E. Crippen // RSE. – 1990. – Vol. 34, is. 1. – P. 71–73.

Datt, 1999 – Datt, B. A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using *eucalyptus* leaves / B. Datt // J. Plant Physiology. – 1999. – Vol. 154, is. 1. – P. 30–36.

Ellenberg, 1992 – Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen Mitteleuropa / H. Ellenberg. – 2 Aufl. – Göttingen : Goltze, 1992. – 258 S. – (Scripta geobotanica ; Bd. 18).

Forest..., 1997 – Forest health monitoring: field methods guide (International – Baltics 1997) / USDA Forest Service. – Washington, 1997. – 307 p.

Gao, 1996 – Gao, B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space / B. Gao // RSE. – 1996. – Vol. 58, is. 3. – P. 257–266.

Giglio [et al.], 2018 – The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product / L. Giglio [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 217. – P. 72–85.

Gitelson, Merzlyak, 1994 – Gitelson, A. A. Quantitative estimation of chlorophyll-α using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves / A. Gitelson, M. N. Merzlyak // J. Photochemistry and Photobiology. – Vol. 13, is. 3. – P. 247–252.

Humber [et al.], 2019 – Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products / M. L. Humber [et al.] // Intern. J. of Digital Earth. – 2019. – Vol. 12, № 4. – P. 460–484.

Hansen, Loveland, 2012 – Hansen, M. C. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data / M. C. Hansen, T. R. Loveland // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 122. – P. 66–74.

Hansen [et al.], 2013 – High-resolution global maps of 21st-century forest cover change / M. C. Hansen [et al.] // Science. – 2013. – Vol. 342, № 6160. – P. 850–853.

Hardisky, Klemas, Smart, 1983 – Hardisky, M. A. The influence of soil salinity, growth form and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies / M. A. Hardisky, V. Klemas, R. M. Smart // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1983. – Vol. 49, is. 1. – P. 77–83.

Huete, 1988 – Huete, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) / A. R. Huete // RSE. – 1988. – Vol. 25, is. 3. – P. 295–309.

Huete, Justice, Liu, 1994 – Huete, A. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS / A. Huete, C. Justice, H. Liu // RSE. – 1994. – Vol. 49, is. 3. – P. 224–234.

Huete [et al.], 1997 – A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS / A. R. Huete [et al.] // RSE. – 1997. – Vol. 59, is. 3. – P. 440–451.

Hunt, Rock, 1989 – Hunt, E. R. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances / E. R. Hunt, B. N. Rock // RSE. – 1989. – Vol. 30, is. 1. – P. 43–54.

ICP Forests..., 2011 – ICP Forests Manual [Electronic resource] // ICP Forests. – Mode of access: http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual. – Date of access: 13.05.2022.

Jackson, Slater, Pinter Jr., 1983 – Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres / R. D. Jackson, P. N. Slater, P. J. Pinter Jr. // RSE. – 1983. – Vol. 13, is. 3. – P. 187–208.

Jackson [et al.], 2004 – Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans / T. J. Jackson [et al.] // RSE. – 2004. – Vol. 92, is. 4. – P. 475–482.

Jensen, 1996 – Jensen, J. R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective / J. R. Jensen. – 2nd ed. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 1996. – 316 p.

Jordan, 1969 – Jordan, C. F. Derivation of Leaf-Area Index from quality of light on the forest floor / C. F. Jordan // Ecology. – 1969. – Vol. 50, is. 4. – P. 663–666.

Kaufman, Tanré, 1992 – Kaufman, Y. J. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS / Y. J. Kaufman, D. Tanré // IEEE Transactions Geosci. Remote Sensing. – 1992. – Vol. 30, is. 2. – P. 261–270.

Kaufman, Tanrė, 1996 – Kaufman, Y. J. Strategy for direct and indirect methods for correcting the aerosol effect on remote sensing / Y. J. Kaufman, D. Tanré // RSE. – 1996. – Vol. 55, is. 1. – P. 65–79.

Kriegler [et al.], 1969 – Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition / F. Kriegler [et al.] // Proc. of the 6th Intern. Symposium on Remote Sensing of Environment. – Ann Arbor, MI : Univ. of Michigan, 1969. – P. 97–131.

Leprieur, Verstraete, Pinty, 1994 – Leprieur, C. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data / C. Leprieur, M. M. Verstraete, B. Pinty // Remote Sensing Rev. – 1994. – Vol. 10, is. 4. – P. 265–284.

Lesinski, Armolaitis, 1992 – Lesinski, J. A. Papildomi pušies ir eglės pažeidimų požymiai miškų monitoring / J. A. Lesinski, K. Armolaitis. – Umeå : Švedijos Žemės Ūkio Univ., 1992. – 24 p.

Lillesand, Kiefer, 1987 – Lillesand, T. M. Remote sensing and image interpretation / T. M. Lillesand, R. W. Kiefer. – Chichester : John Wiley & Sons, 1987. – 721 p.

Lillesand, Kiefer, Chipman, 2004 – Lillesand, T. M. Remote sensing and image interpretation / T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, J. W. Chipman. – 5th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2004. – 820 p.

Mouillot [et al.], 2014 – Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing – a review: analysis of user needs and recommendations for future developments / F. Mouillot [et al.] // Intern. J. of Appl. Earth Observ. a. Geoinform. – 2014. – Vol. 26. – P. 64–79.

Overview of land..., 2022 – Overview of land degradation neutrality (LDN) in Europe and Central Asia / Food a. Agriculture Organization of the UN. – Rome : FAO, 2022. – 88 p.

Penuelas, Baret, Filella, 1995 – Penuelas, J. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll-α ratio from leaf spectral reflectance / J. Penuelas, F. Baret, I. Filella // Photosynthetica. – 1995. – Vol. 31, is. 2. – P. 221–230.

Pinty, Verstraete, 1991 – Pinty, B. GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites / B. Pinty, M. M. Verstraete // Vegetation. – 1991. – Vol. 101. – P. 15–20.

Potapov, Turubanova, Hansen, 2011 – Potapov, P. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia / P. Potapov, S. Turubanova, M. C. Hansen // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115, № 2. – P. 548–561.

Potapov [et al.], 2014 – Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P. V. Potapov [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 159. – P. 28–43.

Qi [et al.], 1994 – Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) / J. Qi [et al.] // RSE. – 1994. – Vol. 48, is. 2. – P. 119–126.

Richardson, Everitt, 1992 – Richardson, A. Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity / A. Richardson, J. Everitt // Geocarto Intern. – 1992. – Vol. 7, is. 1. – P. 63–77.

Rock [et al.], 1986 – Remote Detection of Forest Damage / B. Rock [et al.] // BioScience. – 1986. – Vol. 36, is. 7. – P. 439–445.

Rouse [et al.], 1973 – Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite) / J. W. Rouse [et al.] // Proc. of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10–14 December 1973.– P. 309–317.

Shimada [et al.], 2014 – New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010) / M. Shimada [et al.] // RSE. – 2014. – Vol. 155. – P. 13–31.

Sellers, 1985 – Sellers, P. J. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration / P. J. Sellers // Intern. J. Remote Sensing. – 1985. – Vol. 6, is. 8. – P. 1335–1372.

Senf, Seidl, Hostert, 2017 – Senf, C. Remote sensing of forest insect disturbances: Current state and future directions / C. Senf, R. Seidl, P. Hostert // Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2017. – Vol. 60. – P. 49–60.

Sims, Gamon, 2002 – Sims, D. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages / D. A. Sims, J. A. Gamon // RSE. – 2002. – Vol. 81, is. 2–3, – P. 337–354.

Tucker, 1979 – Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C. J. Tucker // RSE. – 1979. – Vol. 8, is. 2. – P. 127–150.

Tucker [et al.], 1979 – Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data / C. J. Tucker [et al.] // RSE. – 1979. – Vol. 8, is. 3. – P. 237–248.

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	1	Кабаны	
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)

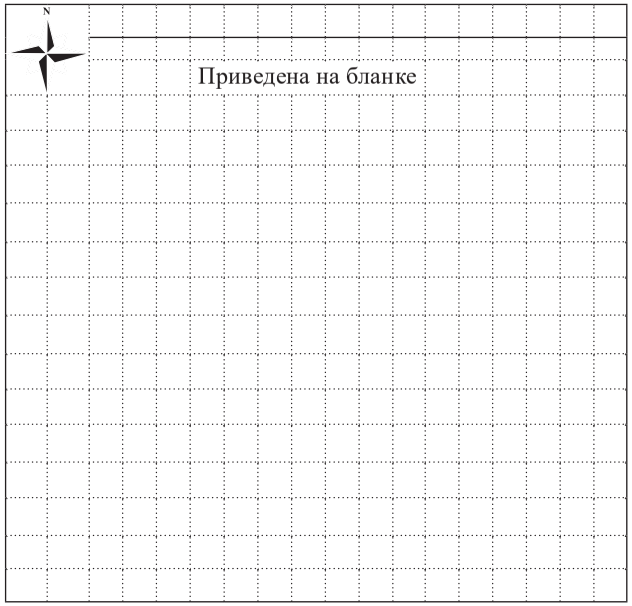
землепользователь Россонский лесхоз

Географические координаты ППУ:

Широта 56° 00′ 26,6″ с. ш.

Долгота 29° 11′ 32,2″ в. д.

ПРИВЯЗКА ППУ



Примечание

Едем из д. Горбачево на д. Воронино и дальше почти до границы с Российской Федерацией. Стрелка на квартальной просеке в 100 м от границы. ППН в 100 м дороги.

ТУ 2 расположена у квартальной просеки.

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ППУ

Положение

Землепользователь Лесхоз

Лесхоз Россонский

Лесничество Горбачевское

Год лесоустройства

№ квартала

№ выдела

Площадь выдела, га

Группа лесов I

Категория лесов леса ООПТ

Геоботанический район

Высота над у. м. 168 м

Топография

Экспозиция

Угол наклона

Мощность торфяной залежи (при ее наличии)

Тип леса Березняк елово-кисличный

ТУМ С2

Таксационное описание

Состав I яруса 5Б3Е1С1ОЛЧ + ОС

II яруса –

Происхождение естеств.

Возраст, лет I яруса 55

II яруса –

Полнота I яруса 0,65

II яруса –

Бонитет IA

Запас, $м^3$/га I яруса 230

II яруса –

Хозмероприятия за последние 5 лет –

Подрост состав 9Е1Д + Кл

ср. высота, м 1,5

ср. возраст, лет 15

густота, шт/га 700

состояние благонад.

Подлесок состав лщ, крл, ряб, бер

густота, шт/га средн.

Дата 23 июля 2022 г.

Исполнители

зав. сектором А. В. Судник

науч. сотр. Р. М. Голушко

ООПТ Заказник «Синьша» ППН № СИ-ЛЕС-03 Дата 23 июля 2022 г.

№ ТУ	Порода	Категория состояния	Дефолиация, %	Класс повреждения	Лишайники		Повреждения	Примечание
					наличие	покрытие, %		
1-С	1. Ель	ослабл.	20	1	–	0		
	2. Ель	ослабл.	25	1	–	0		
	3. Береза	б/п	15	1	–	0		
	4. Береза	б/п	10	0	–	0		
	5. Береза	ослабл.	25	1	–	0		
	6. Береза	б/п	10	0	–	0		
	7. Береза	б/п	10	0	–	0		
	8. Береза	б/п	10	0	–	0		
	9. Береза	б/п	10	0	–	0		
	10. Береза	б/п	10	0	–	0		
	Сухостой (свежий/старый):			Бурелом (ветровал):			Снеголом (снеговал):	
2-В	1. Береза	ослабл.	20	1	+	5		
	2. Береза	б/п	0	0	+	1		
	3. Береза	б/п	10	0	+	5		
	4. Ель	б/п	10	0	–	0		
	5. Ель	ослабл.	20	0	–	0		
	6. Ольха черн.	б/п	10	0	–	0	1 % энтомол.	
	7. Ольха черн.	б/п	10	0	+	1	% энтомол.	
	8. Ольха черн.	б/п	10	0	–	0	5 % энтомол.	
	9. Ольха черн.	б/п	10	0	–	0	1 % энтомол.	
	10. Ольха черн.	б/п	10	0	–	0		
	Сухостой (свежий/старый): / 1 Бб			Бурелом (ветровал):			Снеголом (снеговал):	
3-Ю	1. Ель	ослабл.	15	0	–	0		
	2. Ель	ослабл.	20	1	–	0		
	3. Ель	ослабл.	15	0	–	0		
	4. Ель	б/п	5	0	+	1		
	5. Ель	б/п	10	0	–	0		
	6. Ель	ослабл.	15	1	+	1		
	7. Ель	ослабл.	15	1	+	1		
	8. Ель	б/п	5	0	–	0		
	9. Осина	б/п	10	0	–	0		
	10. Сосна	б/п	10	0	–	0		
	Сухостой (свежий/старый): / 1 Ос			Бурелом (ветровал):			Снеголом (снеговал):	
4-З	1. Береза	б/п	5	0	+	25		
	2. Береза	ослабл.	15	1	+	10		

Окончание таблицы

№ ТУ	Порода	Категория состояния	Дефолиация, %	Класс повреждения	Лишайники		Повреждения	Примечание
					наличие	покрытие, %		
4-З	3. Береза	ослабл.	15	1	+	10		
	4. Береза	б/п	10	0	+	10	мех. повр.	
	5. Береза	б/п	0	0	+	5		
	6. Береза	б/п	10	0	+	10		
	7. Береза	ослабл.	15	1	–	0		
	8. Ель	б/п	0	0	–	0		
	9. Сосна	с/ослабл.	35	1	+	10		
	10. Сосна	б/п	0	0	+	5		
	Сухостой (свежий/старый): Бурелом (ветровал): Снеголом (снеговал):							
5-Ц	1. Береза	б/п	10	0	+	3		
	2. Береза	б/п	10	0	+	1		
	3. Береза	б/п	10	0	+	5		
	4. Береза	ослабл.	20	1	+	3		
	5. Береза	ослабл.	25	1	+	15		
	6. Ель	б/п	5	0	–	0		
	7. Ель	б/п	0	0	+	1		
	8. Ель	б/п	10	0	–	0		
	9. Ель	б/п	10	0	–	0		
	10. Сосна	б/п	5	0	+	1		
	Сухостой (свежий/старый): Бурелом (ветровал): Снеголом (снеговал): 1 Ос /							

ООПТ Заказник «Синьша» ППН № СИ-ЛЕС-03 Дата 23 июля 2022 г.

№ ТУ	Подрост										Подлесок			Покрытие травяно-кустарнич. яруса, %	Покрытие мохово-лишайник. яруса, %	Мощность подстилки, см
	порода	до 0,5 м			0,5–1,5 м			более 1,5 м			порода	Средняя высота, м	Проективное покры-ие, %			
		благонадежный	неблагонадежный	сухой	благонадежный	неблагонадежный	сухой	благонадежный	неблагонадежный	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		Лщ	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											Лщ	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 5, %

б) травяно-кустарничкового яруса 5, %

МУСОР 0 балл

ОТОБРАНЫ ОБРАЗЦЫ Зоогенный фактор (кабаны). Степень-1.

УГРОЗЫ: _____

ООПТ Заказник «Синьша» ППН № СИ-ЛЕС-03 Дата 23 июля 2022 г.

Описание живого напочвенного покрова (травяно-кустарничкового яруса)

№ п/п	Вид		Высота, м	Проективное покрытие,%	Фенофаза	Обилие
	Латинское название	Русское название				
Деревья и кустарники						
1	*Picea abies*	Ель обыкновенная	5,0		вегет.	
2	*Populus tremula*	Осина	1,3		вегет.	
3	*Acer platanoides*	Клен остролистный	1,2		вегет.	
4	*Quercus robur*	Дуб черешчатый	0,5		вегет.	
5	*Tilia cordata*	Липа сердцелистная	0,3		вегет.	
6	*Euonymus europaea*	Бересклет европейский	2,0		вегет.	
7	*Lonicera xylosteum*	Жимолость обыкновенная	1,5		вегет.	
8	*Sorbus aucuparia*	Рябина обыкновенная	1,2		вегет.	
9	*Daphne mezereum*	Волчеягодник обыкновенный	1,2		вегет.	
10	*Viburnum opulus*	Калина обыкновенная	1,2		вегет.	
11	*Frangula alnus.*	Крушина ломкая	0,5		вегет.	
12	*Corylus avellana*	Лещина обыкновенная			вегет.	
Травы и кустарнички						
13	*Rubus idaeus*	Малина	1,25		плодон.	
14	*Calamagrostis arundinacea*	Вейник тростниковидный	1,2		цвет.	
15	*Pteridium aquilinum*	Орляк обыкновенный	0,8		вегет.	
16	*Equisetum arvense*	Хвощ полевой	0,3		вегет.	
17	*Dryopteris carthusiana*	Щитовник картузианский	0,3		спорон.	
18	*Actaea spicata*	Воронец колосистый	0,3		вегет.	
19	*Dryopteris filix-mas*	Щитовник мужской	0,3		вегет.	
20	*Campanula trachelium*	Колокольчик крапиволист.	0,3		цвет.	ед.
21	*Rubus saxatilis*	Костяника	0,25		вегет.	
22	*Polygonatum officinale*	Купена лекарственная	0,25		плодон.	
23	*Aegopodium podagraria*	Сныть обыкновенная	0,25		вегет.	
24	*Hieracium umbellatum*	Ястребинка зонтичная	0,2		вегет.	
25	*Orthilia secunda*	Ортилия однобокая	0,2		плодон.	
26	*Ajuga reptans*	Живучка ползучая	0,2		вегет.	
27	*Urtica dioica*	Крапива двудомная	0,2		плодон.	+
28	*Equisetum sylvaticum*	Хвощ лесной	0,2		вегет.	
29	*Mycelis muralis*	Мицелис стенной	0,2		цвет.	
30	*Vaccinium myrtillus*	Черника	0,2	10	вегет.	
31	*Solidago virgaurea*	Золотарник обыкновенный	0,15		вегет.	

Окончание таблицы

№ п/п	Вид		Высота, м	Проективное покрытие,%	Фенофаза	Обилие
	Латинское название	Русское название				
32	*Galeobdolon luteum*	Зеленчук желтый	0,15	10	вегет.	
33	*Melampyrum nemorosum*	Марьянник дубравный	0,15		цветет	
34	*Fragaria vesca*	Земляника лесная	0,15		вегет.	
35	*Melampyrum pratense*	Марьянник луговой	0,15		цвет.	
36	*Viola riviniana*	Фиалка Ривиниуса	0,15		плодон.	
37	*Stellaria holostea*	Звездчатка ланцетовидная	0,15		вегет.	
38	*Galium odoratum*	Подмаренник душистый	0,15		вегет.	
39	*Moehringia trinervia*	Мерингия трехжилковая	0,15		плодон.	
40	*Maianthemum bifoliun*	Майник двулистный	0,12		вегет.	
41	*Hepatica nobilis*	Перелеска благородная	0,1		вегет.	
42	*Asarum europaeum*	Копытень европейский	0,1		вегет.	
43	*Trientalis europaea*	Седмичник европейский	0,08		вегет.	
44	*Achyrophorus maculatus*	Тромсдорфия пятнистая	0,05		вегет.	
45	*Convallaria majalis*	Ландыш майский		30	плодон.	
46	*Oxalis acetosella*	Кислица обыкновенная			вегет.	
47	*Carex digitata*	Осока пальчатая			вегет.	

ООПТ НП «Браславские озера» ППН № НПСИ-ЛЕС-03 Дата 23 июля 2022 г.

Описание живого напочвенного покрова (травяно-кустарничкового яруса)

№ п	Вид		Высота, м	Проективное покрытие, %	Фенофаза	Обилие
	Латинское название	Русское название				
	Мхи					
1	*Mnium punctatum*	Мниум точечный	0,15		вегет.	
2	*Pleurozium schreberi*	Мох Шребера	0,1	20	вегет.	
3	*Dicranum scoparium*	Дикранум метловидный	0,1		вегет.	
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						

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. Уща
наименование водного объекта оз. Дриссы

Землепользование:
категория угодья луг
землепользователь

Привязка начала ЭФП:
географические координаты (GPS-привязка): 50° 00′ 20,4″ с. ш.; 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

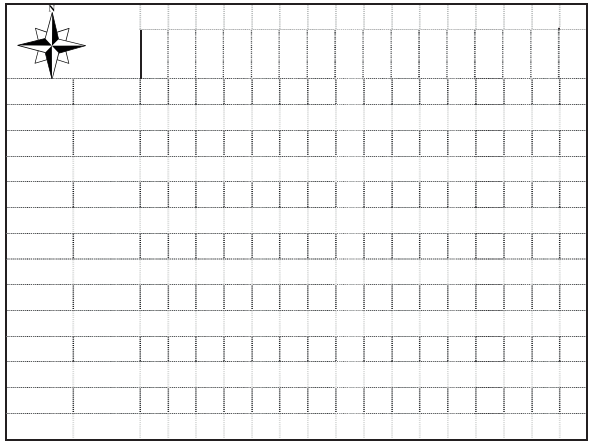
Количество ППП 6

Год начала наблюдений 2014

Периодичность наблюдений 1 раз в 5 лет

Исполнители:
организация ИЭБ НАН Беларуси
Ф. И. О. С. С. Терещенко

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
Кормова 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*
Коэффициент усушки, *%*
Естественный урожай сена, *ц/га*
Поправочный коэффициент, *%*
Хозяйственный урожай сена, *ц/га*

Агроботанический состав
Вес разборного снопа, *г*
Злаки, *г/%*
Осоковые, *г/%*
Бобовые, *г/%*
Разнотравье, *г/%*
В том числе:
Опад, % 60

Примечание

Видовой состав фитоценоза на ключевом участке СИ-ЛУГ-1

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
ПП 1 Ассоциация *Calamagrostidetum epigeji* (протяженность 5 + 6,5 м)								
1	*Alnus incana*	I	400	вегет.	4	1	1	
2	*Salix caprea*	I	250	вегет.	4	20	2	
3	*Salix cinerea*	I	170	вегет.	3	+	+	
4	*Calamagrostis epigeios*	II	160	плодон.	5	60	4	
5	*Angelica sylvestris*	II	140	цвет.	4	1	1	
6	*Sonchus arvensis*	II	110	цвет.	3	1	1	
7	*Phleum pratense*	II	100	плодон.	4	1	1	
8	*Dactylis glomerata*	II	100	плодон.	3	+	+	
9	*Festuca pratensis*	II	90	плодон.	3	10	2	
10	*Achillea millefolium*	III	80	цвет.	4	1	1	
11	*Carex contigua*	III	70	плодон.	4	1	1	
12	*Artemisia vulgaris*	III	70	плодон.	3	+	+	
13	*Pimpinella saxifraga*	III	70	цвет.	4	4	1	
14	*Centaurea jacea*	III	60	цвет.	4	5	1	
15	*Vicia cracca*	III	60	цвет.–плодон.	4	+	+	
16	*Cirsium arvense*	III	60	цвет.	3	1	1	
17	*Lotus corniculatus*	III	50	цвет.	4	3	1	
18	*Carum carvi*	III	50	плодон.	3	+	+	
19	*Plantago lanceolata*	IV	40	цвет.	4	+	+	
20	*Knautia arvensis*	IV	40	цвет.	3	+	+	
21	*Carex hirta*	IV	40	плодон.	3	1	1	
22	*Galium mollugo*	IV	40	цвет.	4	+	+	
23	*Festuca rubra*	IV	40	плодон.	4	15	2	
24	*Equisetum arvense*	IV	40	вегет.	3	7	2	
25	*Briza media*	IV	40	плодон.	3	+	+	
26	*Ranunculus acris*	IV	30	цвет.	4	+	+	
27	*Stellaria graminea*	IV	30	вегет.	3	+	+	
28	*Melilotus albus*	IV	20	цвет.	4	+	+	
29	*Tussilago farfara*	IV	20	вегет.	3	+	+	
30	*Taraxacum officinale*	IV	20	вегет.	4	1	1	
ПП 2 Ассоциация *Festucetum pratensis* (протяженность 7 м)								
1	*Alnus incana*	I	250	вегет.	4	5	1	
2	*Betula pubescens*	I	170	вегет.	4	1	1	
3	*Angelica sylvestris*	II	140	цвет.	4	+	+	
4	*Calamagrostis epigeios*	II	130	плодон.	3	2	1	

Продолжение таблицы

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
5	*Festuca pratensis*	II	120	плодон.	5	30	3	
6	*Phleum pratense*	II	120	плодон.	4	15	2	
7	*Rumex crispus*	II	120	плодон.	4	+	+	
8	*Pimpinella saxifraga*	II	100	цвет.	4	1	1	
9	*Cirsium arvense*	II	100	цвет.	4	+	+	
10	*Cirsium vulgare*	II	100	цвет.	4	+	+	
11	*Centaurea jacea*	II	80	цвет.	4	20	2	
12	*Deschampsia cespitosa*	II	80	плодон.	4	+	+	
13	*Carex contigua*	III	70	плодон.	4	1	1	
14	*Lysimachia vulgaris*	III	70	плодон.	3	1	1	
15	*Lotus corniculatus*	III	60	цвет.	4	35	3	
16	*Carex pallescens*	III	60	плодон.	3	+	+	
17	*Hieracium umbellatum*	III	60	цвет.	4	+	+	
18	*Geranium palustre*	III	50	цвет.	3	+	+	
19	*Cynosurus cristatus*	III	50	плодон.	3	+	+	
20	*Briza media*	III	50	плодон.	4	1	1	
21	*Juncus effusus*	III	50	плодон.	4	+	+	
22	*Leucanthemum vulgare*	III	40	цвет.	3	3	1	
23	*Festuca rubra*	III	40	плодон.	4	20	2	
24	*Elytrigia repens*	III	40	плодон.	3	+	+	
25	*Achillea millefolium*	III	40	цвет.	4	1	1	
26	*Anthoxanthum odoratum*	III	40	плодон.	3	+	+	
27	*Carex hirta*	III	40	плодон.	3	+	+	
28	*Knautia arvensis*	III	40	цвет.	3	+	+	
29	*Dactylis glomerata*	III	40	плодон.	4	+	+	
30	*Agrostis tenuis*	IV	30	плодон.	4	15	2	
31	*Vicia cracca*	IV	30	цвет.	4	+	+	
32	*Equisetum arvense*	IV	30	вегет.	3	2	1	
33	*Luzula multiflora*	IV	30	плодон.	4	+	+	
34	*Hypericum maculatum*	IV	30	цвет.	4	+	+	
35	*Taraxacum officinale*	IV	30	вегет.	4	+	+	
36	*Ranunculus acris*	IV	30	цвет.	4	+	+	
37	*Vicia cracca*	IV	30	цвет.–плодон.	4	+	+	
38	*Carex panicea*	IV	30	плодон.	3	+	+	
39	*Viola canina*	IV	20	вегет.	3	+	+	
40	*Alchemilla sp.*	IV	20	цвет.	3	+	+	
41	*Potentilla anserina*	IV	20	вегет.	4	1	1	

Продолжение таблицы

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
42	*Prunella vulgaris*	IV	15	цвет.	3	1	1	
43	*Veronica chamaedrys*	IV	10	вегет.	3	+	+	
ПП 3 Ассоциация *Caricetum fuscae* (протяженность 16 м)								
1	*Alnus incana*	I	230	вегет.–плодон.	4	1	1	
2	*Salix pentandra*	I	200	вегет.	4	7	2	
3	*Salix cinerea*	I	200	вегет.	4	3	1	
4	*Betula pendula*	I	150	вегет.	3	+	+	
5	*Populus tremula*	I	50	вегет.	3	+	+	
6	*Filipendula ulmaria*	II	130	плодон.	4	+	+	
7	*Festuca pratensis*	II	120	плодон.	4	20	2	
8	*Cirsium vulgare*	II	120	цвет.	4	+	+	
9	*Scirpus sylvaticus*	II	90	плодон.	4	2	2	
10	*Deschampsia cespitosa*	II	90	плодон.	4	4	1	
11	*Rumex thyrsiflorus*	III	80	плодон.	4	+	+	
12	*Lysimachia vulgaris*	III	70	плодон.	3	2	1	
13	*Carex nigra*	III	70	плодон.	4	65	4	
14	*Carex contigua*	III	70	плодон.	3	2	1	
15	*Briza media*	III	70	плодон.	3	1	1	
16	*Succisa pratensis*	III	60	бутон.	4	+	+	
17	*Poa palustris*	III	60	плодон.	4	1	1	
18	*Leucanthemum vulgare*	III	60	цвет.	4	+	+	
19	*Juncus effusus*	III	60	плодон.	4	+	+	
20	*Equisetum fluviatile*	III	60	вегет.	4	+	+	
21	*Centaurea jacea*	III	60	цвет.	4	1	1	
22	*Carex vesicaria*	III	60	плодон.	4	4	1	
23	*Carex leporina*	III	60	плодон.	4	1	1	
24	*Phleum pratense*	III	50	плодон.	4	+	+	
25	*Knautia arvensis*	III	50	цвет.	4	+	+	
26	*Vicia cracca*	III	40	цвет.	4	+	+	
27	*Trifolium hybridum*	III	40	цвет.	3	+	+	
28	*Ranunculus acris*	III	40	цвет.	4	+	+	
29	*Luzula multiflora*	III	40	плодон.	3	+	+	
30	*Lathyrus pratensis*	III	40	цвет.	3	+	+	
31	*Geranium palustre*	III	40	цвет.	4	1	1	
32	*Galium uliginosum*	III	40	цвет.	4	+	+	
33	*Festuca rubra*	III	40	плодон.	3	1	1	
34	*Equisetum arvense*	III	40	вегет.	4	4	1	

Продолжение таблицы

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
35	*Dactylorhiza baltica*	III	40	плодон.	4	+	+	
36	*Carex hirta*	III	40	плодон.	3	+	+	
37	*Carex flava*	III	40	плодон.	4	+	+	
38	*Vicia sepium*	IV	30	цвет.	4	+	+	
39	*Plantago lanceolata*	IV	30	плодон.	3	+	+	
40	*Mentha arvensis*	IV	30	цвет.	4	+	+	
41	*Lycopus europaeus*	IV	30	вегет.	4	1	1	
42	*Hypericum maculatum*	IV	30	цвет.	4	+	+	
43	*Epilobium palustre*	IV	30	цвет.	4	+	+	
44	*Anthoxanthum odoratum*	IV	30	плодон.	3	+	+	
45	*Angelica sylvestris*	IV	30	вегет.	3	+	+	
46	*Alchemilla sp.*	IV	30	цвет.	3	+	+	
47	*Agrostis tenuis*	IV	30	плодон.	3	5	1	
48	*Geum rivale*	IV	25	плодон.	4	+	+	
49	*Carex panicea*	IV	25	плодон.	4	4	1	
50	*Prunella vulgaris*	IV	15	цвет.	4	+	+	
51	*Potentilla anserina*	IV	15	вегет.	4	1	1	
ПП 4 Ассоциация *Festucetum pratensis* (протяженность 29,5 + 40,5 + 34,5 м)								
1	*Alnus incana*	I	40	вегет.	3	1	1	
2	*Calamagrostis epigeios*	II	130	плодон.	3	1	1	
3	*Festuca pratensis*	II	100	плодон.	4	35	3	
4	*Carex sylvatica*	II	100	плодон.	3	+	+	
5	*Pimpinella saxifraga*	II	90	цвет.	4	6	2	
6	*Carex contigua*	II	80	плодон.	5	51	4	
7	*Phleum pratense*	II	80	плодон.	4	3	1	
8	*Vicia cracca*	III	60	цвет.	5	6	2	
9	*Centaurea jacea*	III	60	цвет.	4	2	1	
10	*Briza media*	III	60	плодон.	4	1	1	
11	*Lysimachia vulgaris*	III	60	плодон.	4	1	1	
12	*Deschampsia cespitosa*	III	60	плодон.	4	2	1	
13	*Filipendula ulmaria*	III	60	плодон.	3	+	+	
14	*Festuca rubra*	III	60	плодон.	4	24	2	
15	*Carum carvi*	III	60	плодон.	3	+	+	
16	*Hieracium umbellatum*	III	50	цвет.	3	+	+	
17	*Lotus corniculatus*	III	50	цвет.	4	4	1	
18	*Cirsium vulgare*	III	50	вегет.	4	+	+	
19	*Plantago lanceolata*	III	40	цвет.	3	+	+	
20	*Alchemilla sp.*	III	40	цвет.	4	+	+	

Продолжение таблицы

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
21	*Carex hirta*	III	40	плодон.	4	1	1	
22	*Lathyrus pratensis*	III	40	цвет.	3	+	+	
23	*Anthoxanthum odoratum*	III	40	плодон.	3	2	1	
24	*Dactylorhiza baltica*	III	40	плодон.	4	+	+	
25	*Equisetum arvense*	III	40	вегет.	3	1	1	
26	*Trifolium hybridum*	III	40	цвет.	4	+	+	
27	*Geum rivale*	III	40	плодон.	4	1	1	
28	*Cynosurus cristatus*	III	40	плодон.	3	+	+	
29	*Luzula multiflora*	III	40	плодон.	4	+	+	
30	*Carex panicea*	III	40	плодон.	4	1	1	
31	*Carex pallescens*	III	40	плодон.	4	1	1	
32	*Hypericum maculatum*	III	40	цвет.	4	+	+	
33	*Leucanthemum vulgare*	III	40	цвет.	4	+	+	
34	*Dactylis glomerata*	III	40	плодон.	4	1	1	
35	*Ranunculus acris*	III	40	цвет.	4	+	+	
36	*Agrostis tenuis*	III	40	плодон.	3	1	1	
37	*Agrimonia eupatoria*	III	40	плодон.	3	+	+	
38	*Potentilla erecta*	IV	30	цвет.	4	1	1	
39	*Poa pratensis*	IV	30	плодон.	3	+	+	
40	*Coronaria flos-cuculi*	IV	30	плодон.	3	+	+	
41	*Plantago media*	IV	30	плодон.	3	+	+	
42	*Vicia sepium*	IV	30	цвет.	4	+	+	
43	*Potentilla anserina*	IV	20	вегет.	4	1	1	
44	*Prunella vulgaris*	IV	20	цвет.	4	+	+	
45	*Pilosella polymastix*	IV	15	вегет.	3	+	+	
46	*Achillea millefolium*	IV	15	вегет.	4	+	+	
47	*Taraxacum officinale*	IV	15	вегет.	4	+	+	
48	*Veronica chamaedrys*	IV	10	вегет.	3	+	+	
ПП 5 Ассоциация *Phalaridetum arundinaceae* (протяженность 51 м)								
1	*Salix cinerea*	I	400	вегет.	4	15	2	
2	*Phalaroides arundinacea*	II	200	плодон.	4	90	5	
3	*Urtica dioica*	II	170	плодон.	4	8	2	
4	*Filipendula ulmaria*	II	170	цвет.–плодон.	4	3	1	
5	*Lysimachia vulgaris*	II	160	плодон.	4	1	1	
6	*Geranium palustre*	II	130	цвет.	4	+	+	
7	*Iris pseudacorus*	II	130	вегет.	4	1	1	

Окончание таблицы

№ п/п	Название растений	Ярус	Средняя высота, см	Фено-фаза	Жизнен-ность, балл	Проектив-ное покры-тие, %	Обилие, балл	Кормовая оценка, балл
8	*Vicia cracca*	III	120	цвет.–плодон.	3	+	+	
9	*Carex vesicaria*	III	90	плодон.	3	+	+	
10	*Rumex aquaticus*	III	60	вегет.	3	+	+	
ПП 6 Ассоциация *Calamagrostidetum canescentis* (протяженность 10 м)								
1	*Salix pentandra*	I	230	вегет.		5	1	
2	*Salix cinerea*	I	200	вегет.	4	40	3	
3	*Salix myrsinifolia*	I	160	вегет.		3	1	
4	*Filipendula ulmaria*	II	150	цвет.–плодон.	4	1	1	
5	*Calamagrostis canescens*	II	130	вегет.–плодон.		80	5	
6	*Valeriana officinalis*	II	130	цвет.		+	+	
7	*Festuca pratensis*	II	130	плодон.	4	+	+	
8	*Juncus effusus*	II	120	плодон.	4	+	+	
9	*Deschampsia cespitosa*	II	110	плодон.		4	1	
10	*Vicia cracca*	II	100	цвет.–плодон.	3	+	+	
11	*Ranunculus acris*	II	100	цвет.	4	+	+	
12	*Scirpus sylvaticus*	II	100	плодон.	4	1	1	
13	*Carex vesicaria*	II	90	плодон.	3	+	+	
14	*Phleum pratense*	II	80	плодон.		+	+	
15	*Coronaria flos-cuculi*	III	70	плодон.	3	+	+	
16	*Trifolium hybridum*	III	70	цвет.	4	2	1	
17	*Centaurea jacea*	III	60	цвет.	4	+	+	
18	*Lathyrus pratensis*	III	60	цвет.	3	+	+	
19	*Galium uliginosum*	III	60	цвет.	4	+	+	
20	*Cirsium arvense*	III	50	цвет.	4	+	+	
21	*Stachys palustris*	III	50	цвет.		+	+	
22	*Hypericum perforatum*	III	50	цвет.	4	+	+	
23	*Carex contigua*	III	45	плодон.	5	+	+	
24	*Carex hirta*	III	40	плодон.	3	+	+	
25	*Potentilla erecta*	III	40	цвет.	4	+	+	
26	*Potentilla anserina*	III	30	вегет.	4	+	+	

Дата Подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ БЛАНКА КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В РАМКАХ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ООПТ

МАТРИЦА УГРОЗ

Угрозы	Степень (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 обитания:			
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 ВЫСШИЕ ВОДНЫЕ РАСТЕНИЯ

Ведомственный № КУ

Местоположение КУ:

область Витебская

район Россонский

населенный пункт д. Перевоз

речной бассейн р. Западная Двина

наименование водного объекта оз. Дриссы

Землепользование:

категория земель -

землепользователь -

Привязка КУ:

географические координаты КУ (GPS-привязка): широта 55° 55′ 53,6″ с. ш.; долгота 28° 22′ 17,8″ в. д.

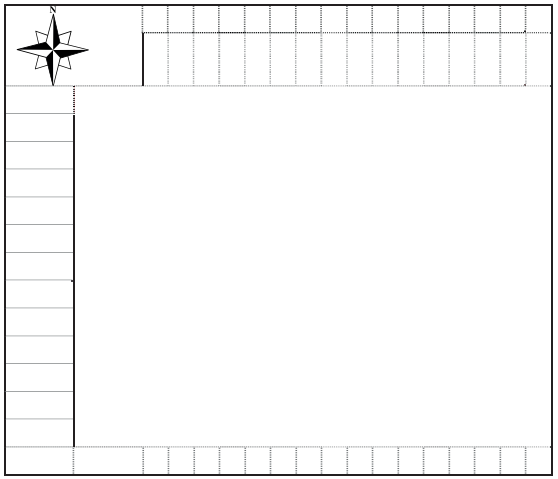
Направление и расстояние от населенного пункта: 0,3 км к северу от д. Перевоз

Год начала наблюдений 2014

Периодичность наблюдений раз в 5 лет

Исполнители И. А. Рудаковский, Н. Д. Грищенкова

ПРИВЯЗКА КУ



Примечание

Северный берег, 0,35 км на запад от туристической стоянки.

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОТОПА

Водный объект ***озеро***, водохранилище, река (нужное подчеркнуть)

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	

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА

Общая ширина распространения, м 70 м

Ярус	Ширина распространения, м	Глубина распространения, м	Число видов	Доминирующие виды
Надводный	50	0,0–0,9	2	1
Плавающий	5	0,5–1,5	1	1
Подводный	15	0,6–2,6	3	1

Примечание _____

ХАРАКТЕРИСТИКА УКОСНОЙ ПЛОЩАДКИ

Размер укосной площадки 0,25 × 0,25 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
Тростник обыкновенный	0,3	39		
Камыш озерный	0,3	27		
Кубышка желтая	1,2	14		
Рдест блестящий	1,8	18		

ОТОБРАНЫ ОБРАЗЦЫ *воды* *№ 34 (1 л)*

донных отложений –

СОБРАН ГЕРБАРИЙ _____-_____

ОПИСАНИЕ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРОФИЛЕ УЧЕТА

Дата: 24.07.2014

№ описания	№ 1	Автор: И. А. Рудаковский			№ 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: 70 × 20 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

Покрытие 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 Друде)	Фенофаза	Жизненность	Поврежденность
Тростник обыкновенный	Надводный, высокий	0,0–0,8	1,5–2,3	70	4	вегет.	4	–
Камыш озерный	Надводный, высокий	0,4–0,9	1,5–2,1	50	3	вегет.	4	–
Кубышка желтая	Плавающий	0,5–1,5	0,5–1,5	40	4	вегет.–цвет.	3	10
Шелковник жестколистный	Подводный, высокий	0,6–2,2	0,6–2,2	20	2	вегет.	3	–
Рдест блестящий	Подводный, высокий	0,8–2,5	0,8–2,5	30	3	вегет.	3	–
Рдест пронзеннолистный	Подводный, высокий	0,8–2,6	0,8–2,6	20	2	вегет.	3	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ БЛАНКА ПОСТОЯННОГО ПУНКТА НАБЛЮДЕНИЙ МОНИТОРИНГА ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ 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		
Лесные пожары	0		
Нарушение почвы:	0		
зоогенное	0		
техногенное	0		
Подтопление/затопление	0		
Потрава (перевыпас)	0		
Природные сукцессии	0		
Размножение фитофагов	1	поражение тлей	пока не требуется
Рекреация	1	вытаптывание, сбор цветущих растений	установка информационных знаков
Рубки леса	0		
Сельхозпалы	0		
другие	0		

Рекомендуемый срок повторных наблюдений *через 3 года*

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°
речной бассейн
наименование водного объекта юго-восточный берег оз. Рытое

Привязка ППН:
географические координаты ППН (GPS-привязка): 55° 30′ 01.3″ с. ш.; 31° 46′ 05.3″ в. д.

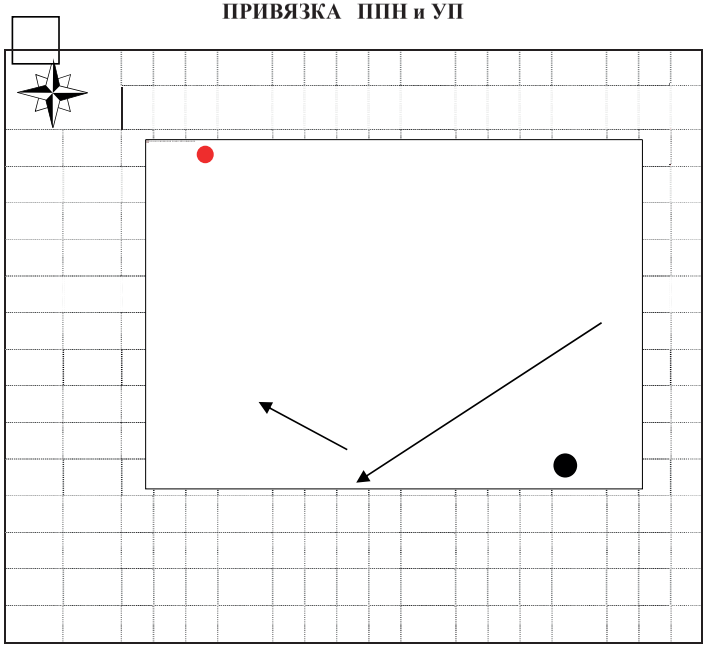
Землепользование:
категория земель земли лесного фонда
землепользователь лесхоз

Для земель лесного фонда:		***Для других земель:***	
№ квартала		направление и расстояние от	
№ выдела		населенного пункта:	
площадь выдела, га			
год лесоустройства		площадь участка, га	_____

Год наблюдений 2014

Исполнители:
организация ИЭБ НАН Беларуси
Ф.И.О. Д. В. Дубовик, И. П. Вознячук

ПРИВЯЗКА ППН и УП



Примечание: **красным кружком** обозначено местонахождение пункта мониторинга. Маркирована береза повислая (СИ-КК-02). От нее в 2 м на юг вдоль экологической тропы (деревянного настила), азимут 240º , заложено 26 метровых площадок, далее под углом 70º заложено еще 7 площадок.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА

Местообитание лес на минеральных почвах

	Для лесных земель	*Для прочих видов земель*
Тип леса	березняк приручейно-травяной	**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	7БпЗОЛЧ
возраст, лет	50
полнота	0,6
бонитет	I

Подрост:

состав	5БпЗОЛЧ1Е
ср .высота, м	1,4
ср. возраст, лет	10
густота, шт/га	500
состояние	благонадежный

Подлесок:

состав	рябина обыкновенная, калина обыкновенная
густота, шт/га	редкая

Проективное покрытие, %:

деревьев и кустарников	
трав	
мхов и лишайников	

Хозяйственное использование:

Примечание

Вид Борщевик Сосновского **ППН №** СИ-КК-02 **Дата** 24.07.2014

Счетная единица (подчеркнуть) – ***особь***, парциальный побег, парциальный куст, клон, подушка, дерновина, куртина

Форма учета (подчеркнуть) – ***учет на площадках***

Фенологическая фаза развития особей наблюдаемого вида – ***цветение, начало плодоношения***

Общая характеристика ценотической популяции

№ п/п	Признаки, показатели	Значение						
1	Площадь, занимаемая популяцией (по внешнему контуру)	0,007 га			35,0 × 2,0 = = 70,0 кв. м			
2	Численность популяции, шт.	16 (в т. ч. 9 генеративных)						
3	Плотность (минимальная/средняя/максимальная), шт/м^2	0	0,46	6				
4	Проективное покрытие вида, %	3						
5	Обилие вида, балл	Rr (для выдела)						
6	Возрастной спектр популяции, %	*p*	*j* 12,5	*im*	*v* 31,5	g_{1-3} 56,0	*ss*	*s*
	Возрастные периоды онтогенеза, % (прегенеративный/генеративный/постгенеративный)							
7	Тип популяции	нормальная						
8	Возобновление популяции, балл	3						
9	Мощность растений: высота генер. побега/длина соцветия/количество вилок в соцветии/_____, см, шт	112,3	36,5	3,7				
10	Поврежденность растений, балл	1						
11	Вид повреждения	фитофаги (тля)						
12	Жизненность популяции, балл	3						

Учет на площадках в 2014 г. Способ заложения – *трансекта*. Размер площадки *1 × 1 м*

№ площ.	Возрастной состав, шт							Всего особей, шт	Проективное покрытие		
	p	*j*	*im*	*v*	g_{1-3}	*ss*	*s*				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1			1			2	15	90	45
2					1			1	5	98	30
3								0	0	45	30
4		1						1	1	30	30
5								0	0	50	30
6					1			1	7	40	20
7				4	2			6	45	95	10
8				1	3			4	25	90	30
9–34								0	0	90	25
35					1			1	2	98	5

Вид Борец шерстистоустый **ППН №** СИ-КК-02 **Дата** 24.07.2014

Форма индивидуального учета*

№ площадки	Возрастное состояние	Высота растений, см	Длина соцветия, см	Количество вилок	Фенологическая фаза			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	*j*	23			вегет.			
	g	150	63	7	цвет.–нач. плодон.			
2	*g*	83	20	1	цвет.			
4	*j*	19			вегет.			
6	*g*	71	27	1	цвет.			
7	*g*	119	41	4	цвет.			
	g	155	58	8	цвет.–плодон.			
	v	57			вегет.			
	v	50			вегет.			
	v	50			вегет.			
	v	48			вегет.			
8	*g*	148	46	5	цвет.–плодон.			
	g	136	37	5	цвет.–нач. плодон.			
	g	87	20	1	цвет.			
	v	53			вегет.			
35	*g*	62	17	1	цвет.			

*При сплошном подсчете указывается возрастное состояние всех особей, но морфометрическая характеристика дается только для генеративных растений. При учете на площадках характеризуются только генеративные особи, графа «возрастное состояние» игнорируется. Названия колонок 4–9 заполняются исследователем самостоятельно в зависимости от выбора измеряемых параметров в связи с различиями жизненных форм и значимости признаков при характеристике жизненности охраняемых растений.

Вид Борец шерстистоустый **ППН №** СИ-КК-02 **Дата** 24.07.2014

Видовой состав живого напочвенного покрова

№ п/п	Вид растения (рус. или лат.)	Обилие по Друде	№ п/п	Вид растения (рус. или лат.)	Обилие по Друде
1	*Betula pendula*	Cop2			
2	*Alnus glutinosa*	Sp			
3	*Picea abies*	Sol			
4	*Sorbus aucuparia*	Sp			
5	*Rubus idaeus*	Sol			
6	*Viburnum opulus*	Rr			
7	*Aegopodium podagraria*	Cop1			
8	*Rubus saxatilis*	Sp			
9	*Galeobdolon luteum*	Cop1			
10	*Thalictrum lucidum*	Rr			
11	*Mercurialis perennis*	Sp			
12	*Deschampsia cespitosa*	Rr			
13	*Phragmites australis*	Sp			
14	*Equisetum sylvaticum*	Cop1			
15	*Oxalis acetosella*	Sp			
16	*Asarum europaeum*	Sp			
17	*Lysimachia vulgaris*	Rr			
18	*Crepis paludosa*	Sol			
19	*Stellaria nemorum*	Sol			
20	*Plantago major*	Un			
21	*Hepatica nobilis*	Sol			
22	*Luzula pilosa*	Rr			
23	*Geum rivale*	Sp			
24	*Athyrium filix-femina*	Un			
25	*Ranunculus repens*	Sol			
26	*Urtica dioica*	Un			

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

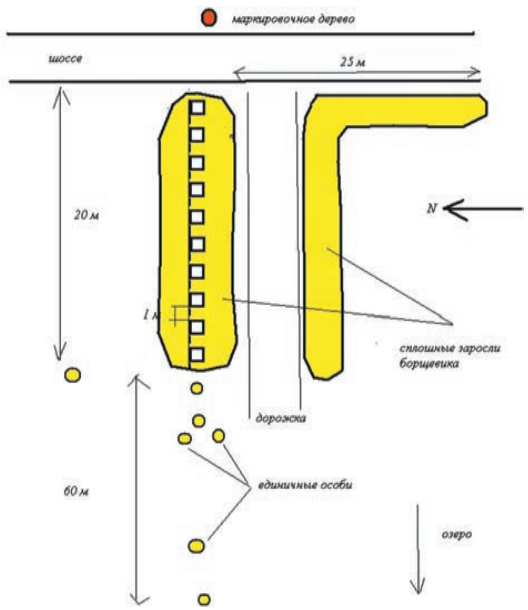
Национальная система мониторинга
окружающей среды в Республике Беларусь

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Мониторинг инвазивных видов растений

ПАСПОРТ
постоянного пункта наблюдений

ПРИВЯЗКА ППН



Примечание

Объект мониторинга Борщевик Сосновского – *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Ведомственный № ППН МИВР-СИ-1

Местоположение ППН: Республика Беларусь
область Витебская
район Россонский
населенный пункт Окр. д. Баклановое, 0,7 км к Ю-В
речной бассейн
наименование водного объекта

Землепользование:
категория земель
землепользователь лесхоз

Привязка ППН: т. 502
географические координаты ППН (GPS-привязка): широта 55° 30′ 08.0″ с. ш.; долгота 31° 40′ 45.8″ в. д.

Для земель лесного фонда:
№ квартала
№ выдела
площадь выдела, га
год лесоустройства

Для других земель:
Направление и расстояние от населенного пункта: 0,7 км к Ю-В
площадь участка, га 0,3 га

Год начала наблюдений 2014

Периодичность наблюдений раз в 2 года

Исполнители:
организация ИЭБ НАН Беларуси
Ф.И.О. О. М. Масловский

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОЦЕНОЗА

Биотоп Пустошная луговина / Березняк разнотравный

Для лесных земель		*Для прочих видов земель*	
Тип леса	*Березняк разнотравный*	**Ассоциация**	Суходольный пустошный разнотравно-злаковый луг
ТУМ		**ТУМ**	
Элемент рельефа	Склон холма, плакор	**Элемент рельефа**	склон холма, плакор
Экспозиция	северная	**Экспозиция**	северная
Угол наклона	0–5 %	**Угол наклона**	0–5 %
Древостой:		**Проективное покрытие, %:**	
состав	*8Б1С1Е + Д*	деревьев и кустарников	5 %
происхождение	Посадки, самосев	трав	95 %
возраст, лет	20	мхов и лишайников	
полнота			
бонитет			
Подрост:		**Хозяйственное использование:**	
состав	Береза, сосна, ель, дуб	Придорожная полоса, ЛЭП	
ср .высота, м	25	пустошь	
ср. возраст, лет	6–7		
густота, шт/га	редкий		
состояние	удовл.		
Подлесок:		**Примечание**	
состав	крушина		
густота, шт/га	редкий		

ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОЦЕНОЗА

№ п/п	Вид растения (рус. или лат.)	Обилие по Друде
1	*Oenothera biennis*	Cop3
2	*Betula pendula*	Cop1
3	*Pinus sylvestris*	Sol
4	*Rumex acetosa*	Cop1
5	*Rumex acetosella*	Sp
6	*Tanacetum vulgare*	Sp
7	*Artemisia vulgaris*	Rr
8	*Artemisia campestris*	Rr
9	*Achillea millefolium*	Sol
10	*Polytrichum piliferum*	Sp
11	*Cladonia* sp.	Sp
12	*Hieracium* sp.	Rr
13	*Leucanthemum vulgare*	Rr
14	*Hypericum perforatum*	Rr
15	*Picea abies*	Rr
16	*Frangula alnus*	Rr
17	*Quercus robur*	Rr

Вид Борщевик Сосновского **ППН №** МИВР-СИ-1 **Дата** .07.2014

Форма учета (подчеркнуть) – сплошной перечет, 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

№ п/п	Признаки, показатели	Значение		
1	Площадь, занимаемая популяцией (по внешнему контуру)	10 га	кв. м	
2	Численность популяции, шт.	Около 1 млн		
3	Плотность (минимальна/средняя/максимальная), шт/м^2	0	10	50
4	Проективное покрытие, %	30 %		
5	Обилие вида, балл	Cop3		
6	Обилие цветения (или плодоношения), балл	5		
7	Возобновление, балл	5		
8	Мощность генеративных особей: высота растения, см; диаметр (для деревьев), см	20 –	70 –	120 –
9	Поврежденность растений, балл	1		
10	Вид повреждения			
11	Жизненность, балл	5		

Учет на площадках. Способ заложения___профиль, через 5 м___Размер площадки__1 м^2___

№ площ.	Всего особей, шт	Всего генеративных особей, шт	Проективное покрытие	Примечание
1	5	0	3	Сухие – 1, общее покрытие – 50 %, *Pinus*
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, *Gramíneae* – 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

Вид ______________________________ ППН № ________________ Дата ____________________

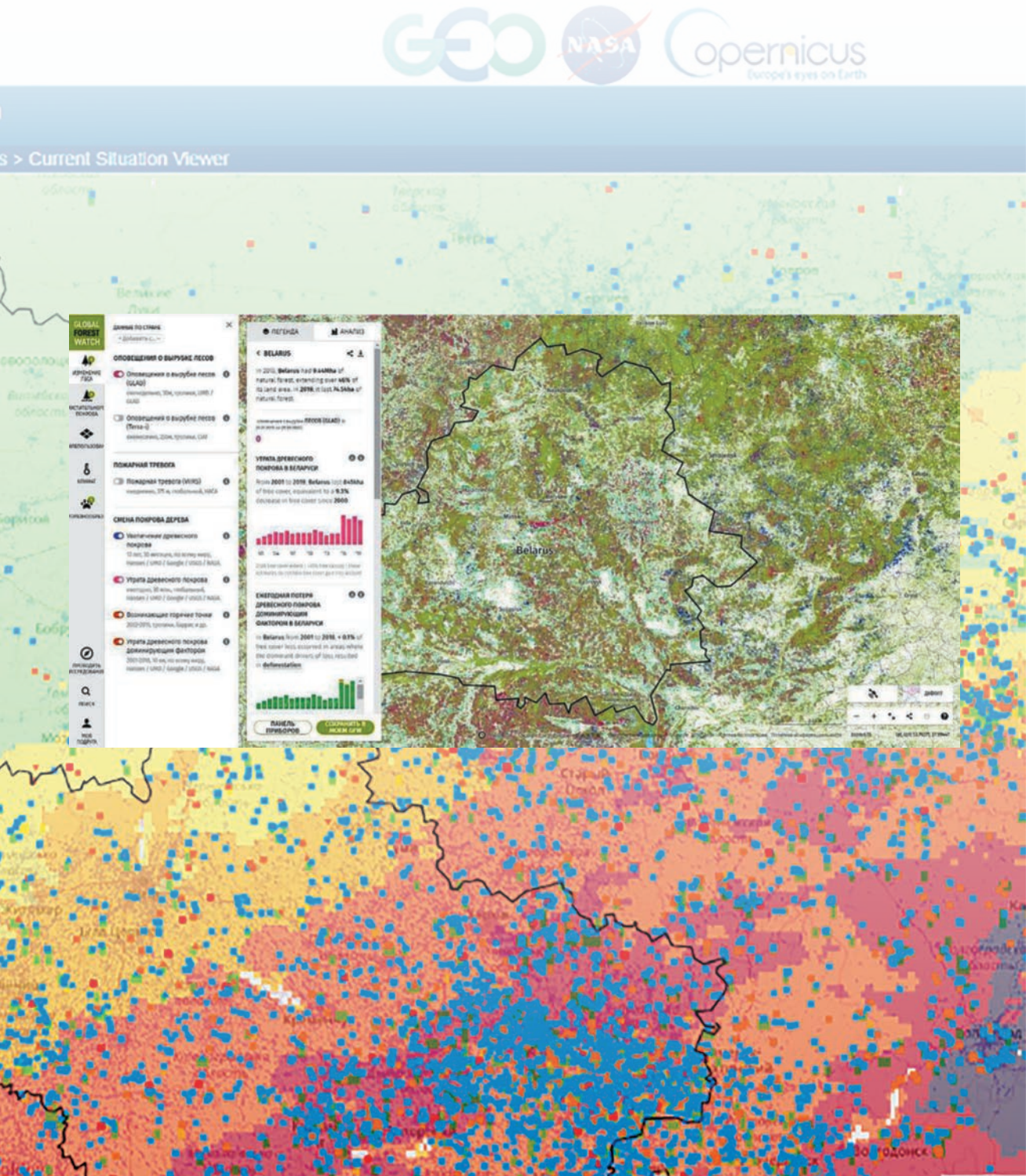
Форма индивидуального учета*

№ п/п	Высота растений, см							

* Названия колонок 3–9 заполняются исследователем самостоятельно в зависимости от выбора измеряемых параметров в связи с различиями в морфологическом строении инвазивных растений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ИНТЕРНЕТ-КАТАЛОГИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ



Ж1. Каталоги разнообразных типов снимков различного разрешения

USGS Earth Explorer – каталог Геологической службы США (*https://earthexplorer.usgs.gov*)*;* 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 AH, Hyperion, база постоянно пополняется. Организован новый доступ к этой базе на основе Java (*https://glovis.usgs.gov*), через него доступны и некоторые снимки радиометра ASTER (Terralook).

Gateway to Astronaut Photography of Earth (*https://eol.jsc.nasa.gov*); бесплатно – снимки, выполненные астронавтами и космонавтами с орбиты с 1961 г. (база данных NASA).

Earth from Space – NASA Space Shuttle Earth Observations Photography database of images (*https://eol.jsc.nasa.gov/Collections/EarthFromSpace/*); бесплатно – избранные снимки с кораблей Shuttle с аннотациями.

Imagery Hybrid (https://www.arcgis.com/home/item.html?id=86265e5a4bbb4187a59719cf134e0018); бесплатные данные, карты и снимки.

Благодаря сотрудничеству компании Esri с компанией Maxar (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) – *https://next.gptl.ru/*; 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.

Ж2. Каталоги, предлагающие снимки преимущественно высокого и сверхвысокого разрешения

Проект «Космоснимки» (*https://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 (*https://discover.maxar.com*); платные снимки – WorldView-1,2, QuickBird, аэроснимки на США и Канаду.

GeoFUSE Online Maps (http://geofuse.georepublic.net/geofuse/#!geofuse-EntryView); платные снимки – IKONOS, GeoEye-1, OrbView-2.

Ж3. Каталоги снимков преимущественно низкого разрешения

Comprehensive Large Array-data Stewardship System (CLASS), электронная библиотека данных спутника NOAA по параметрам состояния окружающей среды (*https://www.avl.class.noaa.gov/saa/products/catSearch*); бесплатно – снимки со спутников NOAA.

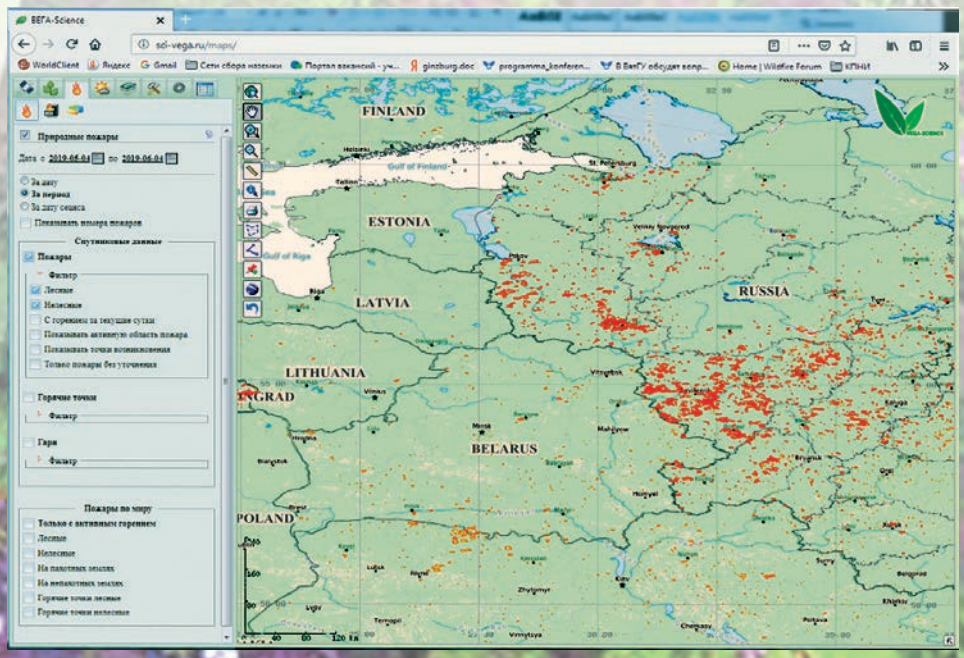
Ж4. Каталоги снимков низкого разрешения с геостационарных спутников

Geostationary Satellite Server (*http://www.goes.noaa.gov/*); бесплатно – снимки с GOES и других геостационарных спутников.

Meteosat Image Services (*https://eumetview.eumetsat.int/static-images*).

ПРИЛОЖЕНИЕ И

ИНТЕРНЕТ-КАТАЛОГИ ВЕБ-ИНСТРУМЕНТОВ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ ДЛЯ ПРОСМОТРА, ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ДОСТУПНЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ ПЛАТФОРМАХ



Каталоги бесплатных спутниковых снимков

Дистанционное зондирование Земли

На сайте www.geospatialworld.net размещен обзор, представленный компанией Earth Observing System (EOS), «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*).

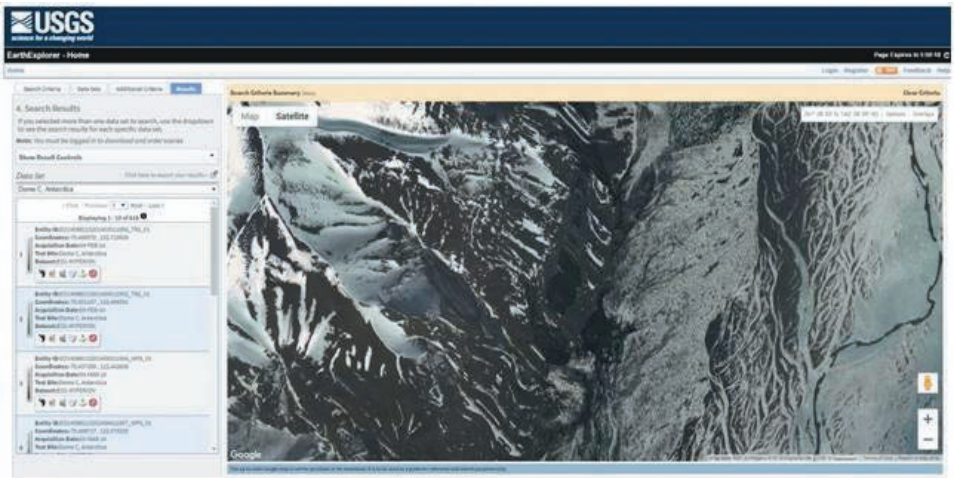
Наступило время, когда спутниковые снимки становятся все более и более доступными для всех желающих. Такая тенденция фактически прослеживается в течение всего последнего десятилетия. Развитие такой ситуации все еще продолжается, появляются большие возможности для использования полученных ценных данных 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 данная сфера предназначена для ГИС-специалистов, однако бесплатные спутниковые снимки, на самом деле, широко доступны для всех, кто хочет их использовать.

По мнению Earth Observing System, в список лучших на сегодняшний день онлайн-ресурсов, которые можно использовать для решения собственных аналитических задач, входят следующие ресурсы.

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 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.

EarthExplorer содержит стандартные параметры области интересов, такие как адрес, загрузка файлов и многое другое. Дополнительно 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.

Аналитика. Не доступна. Возможна 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.

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, 6, 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 *.tif.

LandViewer – универсальный источник спутниковых снимков для ГИС-специалистов. Ему удается 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. Это 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 предлагает 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.

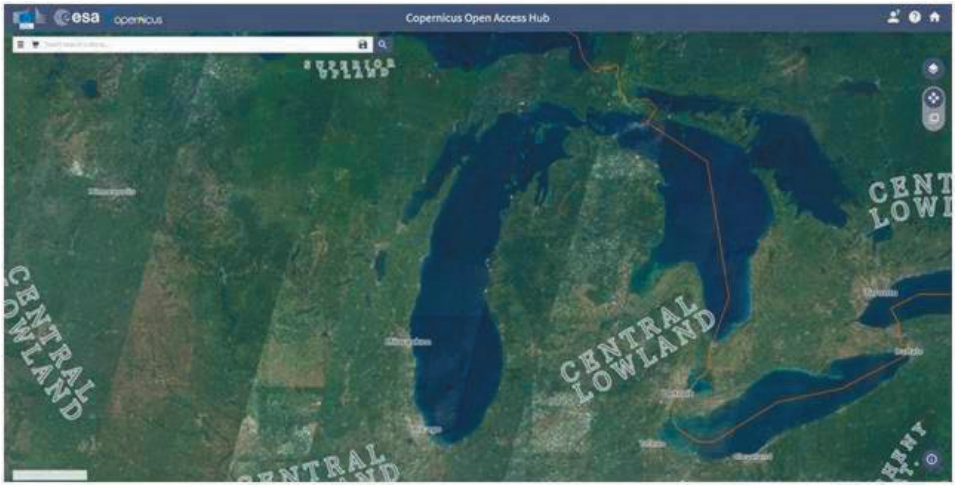
Экспорт. Sentinel Playground позволяет загружать в формате *.JPEG отдельные сегменты глобальной мозаики. EO Browser позволяет экспортировать снимки высокого разрешения в более широком наборе форматов, включая *.JPEG, *.tif и *.KMZ, каналы и комбинации каналов.

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 был известен как «Sentinels Scientific Data Hub»; 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 AOI 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».

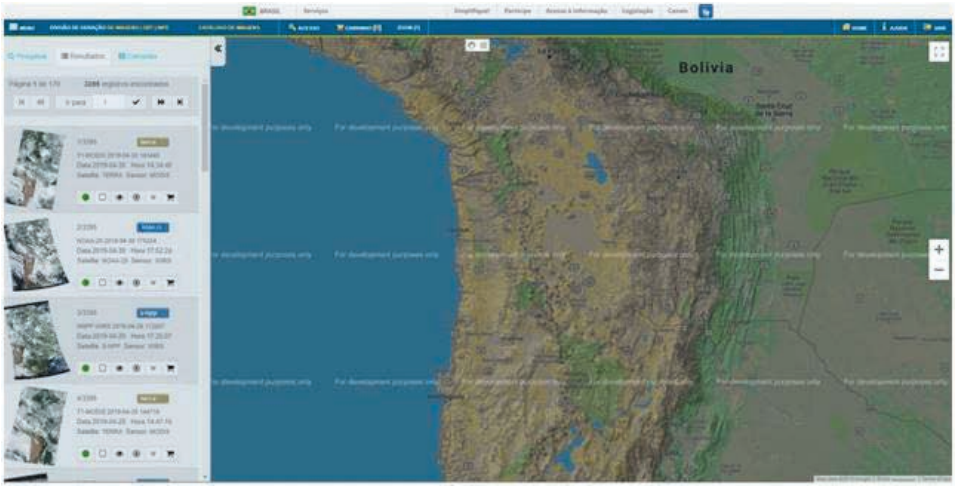
Платформа является хорошим источником бесплатных снимков Sentinel, хотя и не является лучшим местом для получения данных Sentinel-1 и 2, учитывая ее ограниченные возможности.

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. Здесь можно воспользоваться данными следующих миссий: Aqua, DEIMOS, UK-DMC 2, Terra, Suomi-NPP, ResourceSat, Landsat-8, а также CBERS-4.

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.

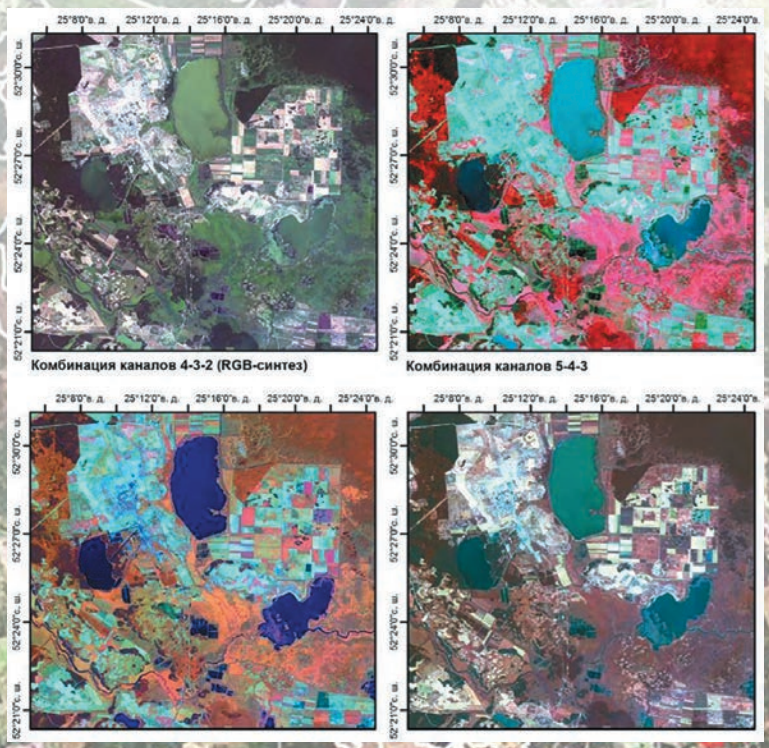
Экспорт. Загрузка осуществляется по FTP-ссылке, отправленной на электронную почту заказчика. Просто надо добавить выбранные снимки в «корзину» вместе с адресом.

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 обрабатываются в любой другой онлайн-среде или в десктопном режиме.

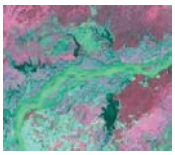
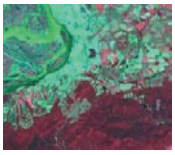
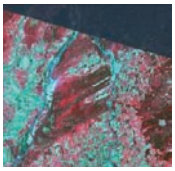
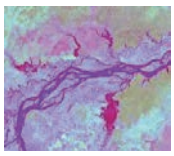
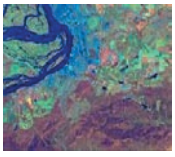
Спутниковые снимки больше не являются роскошью или эксклюзивной собственностью спецслужб. Каждый может получить их бесплатно и сделать полезными для себя. Все вышеперечисленное должно обеспечить множество способов получить соответствующую информацию из космических данных и принять обоснованные решения.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

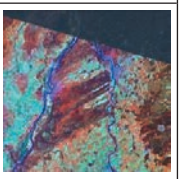
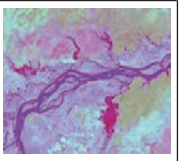
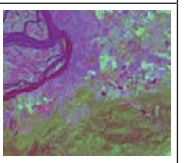
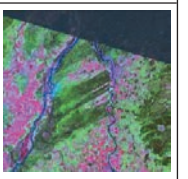
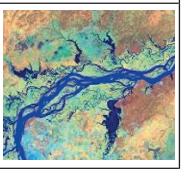
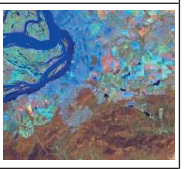
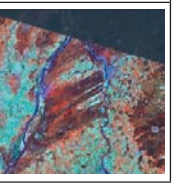
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОМБИНАЦИЙ КАНАЛОВ ДАННЫХ SENTINEL-2, LANDSAT TM



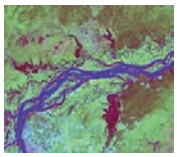
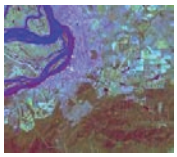
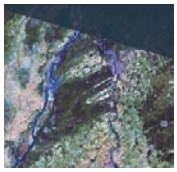
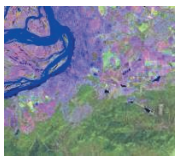
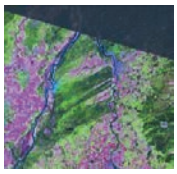
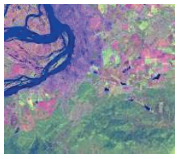
Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM/ETM+

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 то же 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 комбинация дает великолепный результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Кроме того, может	 

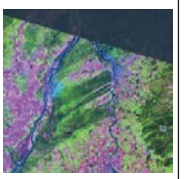
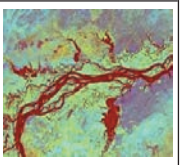
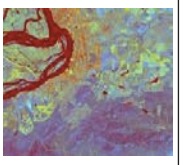
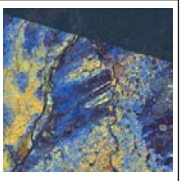
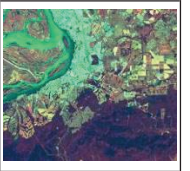
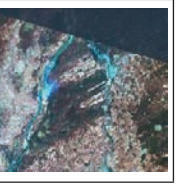
Продолжение таблицы

Комбинация Landsat-5, 7	Комбинация Landsat-8	Возможная информация	Примеры
7-4-2	7-5-3	быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Сгоревшие территории будут выглядеть ярко-красными. Эта комбинация используется для изучения динамики пожаров и постпожарного 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. Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов, 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-м и 5-м каналах. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволяет различать затопляемые территории и растительность. Данная 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. Данная комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого; дает возможность анализа влажности и полезна при изучении почв и растительного покрова. В целом, чем выше влажность почв, тем темнее она будет выглядеть, что обусловлено поглощением водой излучения ИК-диапазона.	  

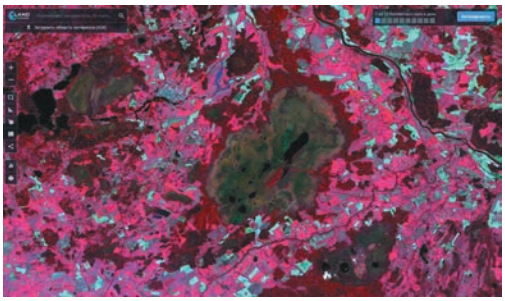
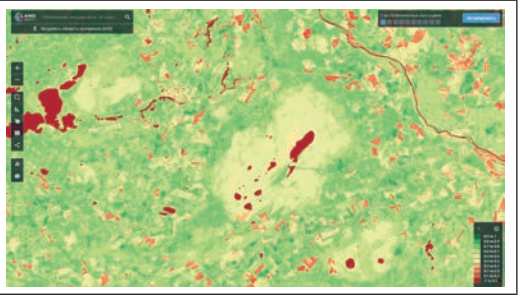
Продолжение таблицы

Комбинация Landsat-5, 7	Комбинация Landsat-8	Возможная информация	Примеры
7-5-3	7-6-4	Эта комбинация дает изображение, близкое к естественным цветам, но в то же время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Растительность отображается в оттенках темно- и светло-зеленого, урбанизированные 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 отображаются 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-й канал и позволяющей изучать геологические процессы, эта комбинация дает возможность анализировать сельскохозяйственные угодья. Данная 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.	

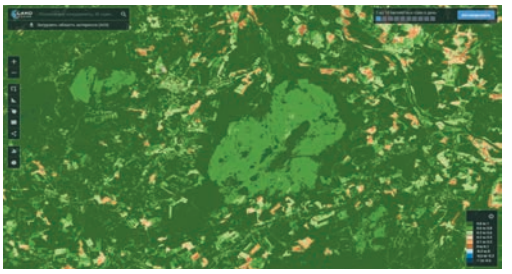
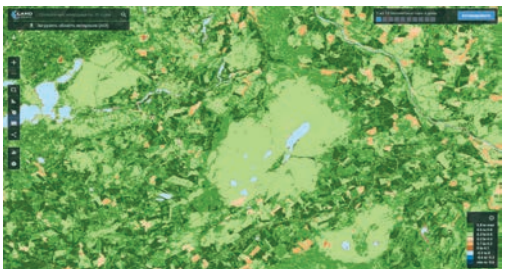
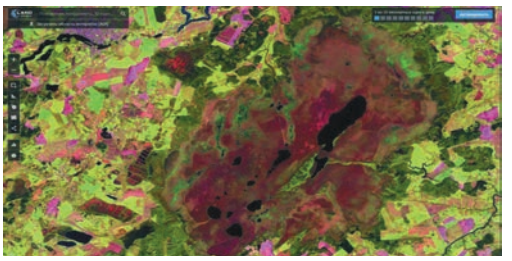
Окончание таблицы

Комбинация Landsat-5, 7	Комбинация Landsat-8	Возможная информация	Примеры
5-4-1	6-5-2		
7-5-4	7-6-5	Данная комбинация не включает ни одного канала из видимого диапазона и обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы. Береговые линии четко различимы. Может быть использована для анализа текстуры 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.	 

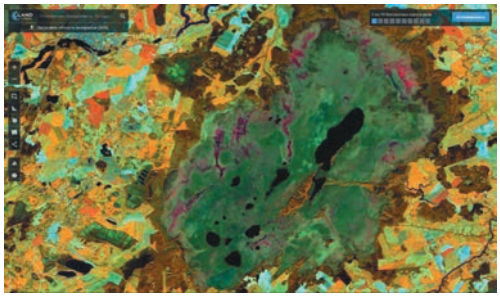
Интерпретация комбинаций каналов данных Sentinel-2

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** Одна из популярных комбинаций полос, полезная для изучения растительности, мониторинга дренажа на различных этапах роста сельскохозяйственных культур и структуры почвы. Растительность проявляется в оттенках красного, почвы варьируют от темно-коричневых до светло-коричневых, а городские районы имеют голубоватый 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)	

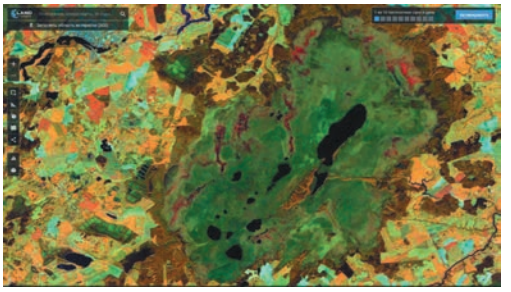
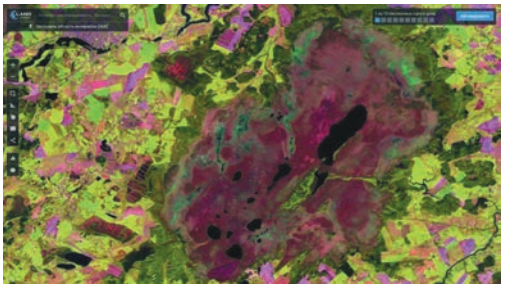
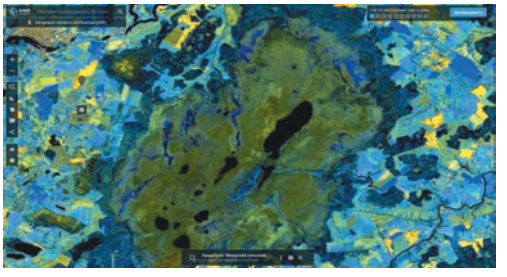
Продолжение таблицы

Комбинация Sentinel-2	Примеры
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 + 6B04 – 7.5B02) + 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	

Продолжение таблицы

Комбинация Sentinel-2	Примеры
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 псевдоприродных 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, чтобы 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	

Продолжение таблицы

Комбинация Sentinel-2	Примеры
желтого. Одно конкретное применение этой комбинации – определение затопленных территорий. Залитые 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 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 особенностей, 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. Она 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	
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	

Окончание таблицы

Комбинация Sentinel-2	Примеры
воды на изображении. Растительность в комбинации полос проявляется синим цветом, показывая детали, связанные с энергией растительности, отображается голубым цветом, а редкая и/или засушливая растительность выглядит тусклосиней. 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 имеют светло-пурпурный оттенок, вода, снег/лед – пурпурного цвета, растительность – зеленого, почва, скалы и бесплодная земля – синего	

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

A_0L	– лесная подстилка с полуразложившимся опадом;
Б	– береза;
БГД	– база геоданных;
БИК	– ближний инфрокрасный канал;
БПЛА	– беспилотные летательные аппараты;
бут.	– бутонизация;
В	– восток;
ВВР	– высшая водная растительность;
ВБУ	– водно-болотное угодье;
вегет.	– вегетация
ВИ	– вегетационный индекс;
вр.	– время;
выд.	– выдел;
ГБ	– гигабайт;
ГИС	– географические информационные системы;
ГЛХУ	– государственное лесохозяйственное учреждение;
ГПУ	– государственное природоохранное учреждение;
ГРТ	– горючее растительное топливо;
ДДЗ	– данные дистанционного зондирования;
ДЗЗ	– дистанционное зондирование Земли;
долл.	– доллар/ы;
ДРК	– древесно-кустарниковая растительность;
Е	– ель;
ед.	– единица;
ЕС	– Европейский союз;
ЖФ	– жизненная форма;
З	– запад;
ИК	– инфракрасный канал;
ИКИ	– Институт космических исследований;
ИТЦ	– инженерно-технологический центр;
ИЭБ	– Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси;
к-во	– количество;
кв.	– квартал;
КМЭ	– комплексный мониторинг экосистем;
ЛБК	– лесоболотный комплекс;

ЛБР	– луговая и лугово-болотная растительность;
ЛРУП	– лесоустроительное республиканское унитарное предприятие;
ЛЭП	– линия/и электропередачи;
М	– масштаб;
Минприроды	– Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь;
НАН Беларуси	– Национальная академия наук Беларуси;
НИЦ	– научно-исследовательский центр;
НП	– национальный парк
НПЦ по биоресурсам	– Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам;
НСМОС	– Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь;
ОЛЧ	– ольха черная;
ООПТ	– особо охраняемая природная территория;
ОС	– осина;
ос.	– особь/и;
п.	– пункт;
п. п.	– проективное покрытие;
ПГРЭЗ	– Полесский государственный радиационно-экологический заповедник;
плодон.	– плодоношение;
ПО	– программное обеспечение;
РАН	– Российская академия наук;
РЗ	– республиканский заказник;
РУП	– республиканское унитарное предприятие;
С	– север;
С	– сосна;
спорон.	– спороношение
СНГ	– Содружество Независимых Государств;
ср.	– средний/ее;
сут.	– сутки;
ТБО	– твердые бытовые отходы;
ТКП	– технический кодекс установившейся практики;
ТМ	– тяжелый/е металл/ы;
у. е.	– условная/ые единица/ы;
УГВ	– уровень грунтовых вод;
УКВ	– ультракороткие волны;

УО	– учреждение образования;
УП	– укосная площадка;
Ц	– центр;
цвет.	– цветение;
ЦКП	– центр коллективного пользования;
ЧАЭС	– Чернобыльская атомная электрическая станция;
ЭУ	– экосистемная/ые услуга/и;
Ю	– юг;
BAI	– Burn Area Index (индекс площади пожаров);
EUNIS	– European Nature Information System (Европейская информационная система о природе);
GIS	– Geographic Information System (географическая информационная система);
GPS	– Global Positioning System (система глобального позиционирования);
h	– высота;
M	– среднее значение/величина;
m	– ошибка среднего значения/величины;
max	– максимум;
Me	– медиана;
min	– минимум;
n	– объем выборки;
σ	– стандартное отклонение;
NBR	– Normalized Burn Ratio (нормализованный коэффициент выгорания);
NDVI	– Normalized Difference Vegetation Index (нормализованный вегетационный индекс);
NDWI	– Normalized Difference Water Index (нормализованный разностный водный индекс);
pH	– pondus Hydrogenii (водородный показатель);
PSRI	– Plant Senescence Reflectance Index (индекс отражения старения растений);
RGB	– Red, Green, Blue (аддитивная цветовая модель);
SD	– Secure Digital Memory Card (защищенная цифровая карта памяти)
spp.	– несколько видов одного рода;
USD	– United States dollar (доллар Соединенных Штатов Америки);
WBI	– Water Band Index (водный индекс);
web	– World Wide Web (всемирная паутина);

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;
ТУ	– точка учета;
ЭФП	– эколого-фитоценотический профиль

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 6

ВВЕДЕНИЕ 8

Глава 1. КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (*А. В. Пугачевский, А. В. Судник*) 10

Глава 2. ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ И ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (*А. В. Судник, И. Н. Вершицкая*) 16

Глава 3. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ (*А. В. Судник, И. М. Степанович, Н. Д. Грищенкова, И. А. Рудаковский, И. П. Вознячук)* 27

3.1. Методика и показатели оценки состояния лесных экосистем 27
3.2. Методика и показатели оценки состояния луговых и болотных экосистем 35
3.3. Методика и показатели оценки состояния водных экосистем 44
3.4. Методика и показатели оценки состояния популяций охраняемых и инвазивных видов растений 52

Глава 4. МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ (В ЧАСТИ ЖИВОТНОГО МИРА) В РАМКАХ КМЭ ООПТ (*В.М. Байчоров, Е.В. Корзун, Д.В. Журавлев*) 63

Глава 5. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ НА ООПТ (*А. В. Судник*) 66

Глава 6. МЕТОДИКА УЧЕТА УГРОЗ ЭКОСИСТЕМАМ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗНООБРАЗИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (*Д. Г. Груммо, С. Г. Русецкий, Р. В. Цвирко, Н. А. Зеленкевич, Д. Ю. Жилинский, Е. В. Мойсейчик, О. А. Семенов, В. А. Сипач*) 70

6.1. Современные аэрокосмические съемочные системы, применимые для мониторинга на локальном уровне наблюдений 71
6.2. Создание аэрокосмического блока системы наблюдений 76
6.2.1. Выбор материалов космических съемок 76
6.2.2. Выбор программных средств 79
6.2.3. Тематические продукты и веб-инструменты для дистанционного зондирования экосистем ООПТ 80
6.2.4. Формирование базовых данных как уровня отсчета мониторинговых наблюдений 86
6.3. Методы обработки данных дистанционного зондирования 87

6.3.1. Предварительная обработка и улучшение изобразительных характеристик аэрокосмических снимков ... 87
6.3.2. Визуальное дешифрирование ... 97
6.3.3. Особенности визуального дешифрирования растительного покрова ... 101
6.3.4. Автоматизированное (компьютерное) дешифрирование ... 118
6.3.5. Методы обработки съемки БПЛА ... 130
6.3.6. Обнаружение изменений растительного покрова по разновременным изображениям ... 133
6.4. Примеры использования ДДЗ, спутниковых тематических продуктов и ГИС-технологий для целей мониторинга в разных типах экосистем ... 136
6.4.1. Лесные и торфяные пожары ... 137
6.4.2. Мониторинг природных пожаров на основе спутниковых тематических продуктов ... 148
6.4.3. Потери лесов ... 158
6.4.3.1. Потери лесов в результате рубок леса ... 158
6.4.3.2. Воздействие аномальных природных явлений, лесопатологический мониторинг ... 163
6.4.3.3. Автоматизированное картографирование нарушений лесного покрова 166
6.4.4. Гидротехническая мелиорация ... 176
6.4.5. Изменение землепользования, нецелевое использование земель, нарушение природоохранного режима ООПТ ... 185
6.4.6. Оценка динамики основных типов земель с использованием разновременных данных дистанционного зондирования и геопространственного анализа ... 193
6.4.7. Рекреация ... 202
6.4.8. Использование природных ресурсов ... 210
6.4.9. Оценка ущерба от действия антропогенных и естественных факторов ... 218
6.4.10. Определение стоимостной оценки биологического разнообразия и экосистемных услуг – перспективный подход к оценке материального ущерба от действия антропогенных и естественных факторов ... 222
6.4.11. Мониторинг экосистем с использованием беспилотных летательных аппаратов ... 228
6.4.12. Биологическое загрязнение ... 235
6.4.13. Мониторинг аквальных экосистем ... 242
6.4.14. Фитоиндикационное картографирование и практика применения при мониторинге биоразнообразия экосистем ... 245
6.4.15. Оценка техногенного загрязнения методом аккумулятивной биоиндикации ... 249
6.5. Оценка состояния экосистем – интегральная характеристика данных наземного и дистанционного мониторинга ... 254
6.6. Алгоритм учета угроз экосистемам и биологическому разнообразию с использованием методов ДЗЗ ... 262
6.7. Карты угроз для биологического разнообразия и планирования хозяйственных и природоохранных мероприятий – заключительный этап наземного и дистанционного мониторинга ... 273
6.8. Экономический потенциал и перспектива развития системы мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий ... 279

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ... 282

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений в лесных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ ... 291

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Пример заполнения бланка ключевого участка в луговых и болотных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ ... 300

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Пример заполнения бланка ключевого участка в водных экосистемах в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ 309

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга охраняемых видов растений в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ 314

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Пример заполнения бланка постоянного пункта наблюдений мониторинга инвазивных видов растений в рамках комплексного мониторинга экосистем на ООПТ..... 320

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Интернет-каталоги космических снимков..... 326

ПРИЛОЖЕНИЕ И. Интернет-каталоги веб-инструментов с открытым исходным кодом для просмотра, визуализации и анализа спутниковых изображений, доступных на различных платформах 329

ПРИЛОЖЕНИЕ К. Интерпретация комбинаций каналов данных Sentinel-2, Landsat TM 336

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 346

Научное издание

Груммо Дмитрий Геннадьевич,
Судник Адександр Владимирович,
Зеленкевич Наталья Алексеевна и др.

НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Редактор *М. И. Ременица*
Художественный редактор *И. Т. Мохнач*
Технический редактор *М. В. Савицкая*
Компьютерная верстка *Л. И. Кудерко*

Подписано в печать 12.04.2023. Формат $70\times100^{1}/_{16}$. Бумага мелованная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 28,6. Уч.-изд. л. 26,2. Тираж 200 экз. Заказ 371.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука». Свидетельства о государственной регистрации издателя изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017. Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск.

Открытое акционерное общество «Транстэкс».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/37 от 29.01.2014.
Ул. Чапаева, 5, 220034, г. Минск.