

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ
Кафедра физической географии и экологии

Заведующий кафедрой
канд. геогр. наук, доцент
Д.А. Дирин

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистра

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
(НА ПРИМЕРЕ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ)

05.04.02 География
Магистерская программа «Ландшафтное планирование»

Выполнила работу
студентка 2 курса
очной формы обучения

Смирнова Леся Александровна

Научный руководитель
канд. геогр. наук, доцент

Марьинских Дмитрий Михайлович

Рецензент
канд. геогр. наук, доцент,
заведующий кафедрой картографии и
геоинформационных систем института
наук о Земле ТюмГУ

Идрисов Ильдар Рустамович

Рецензент
канд. биол. наук, научный сотрудник
лаборатории биогеоценологии
им. В.Н. Сукачева ИПЭЭ РАН

Сандлерский Роберт Борисович

Тюмень, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ	8
1.1. МЕСТО ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ В КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ	8
1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ И ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ	11
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ.....	14
ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ.....	18
3.1. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ	18
3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ	21
3.3. ДЕШИФРИРОВАНИЕ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	54
Приложение 1. Ситуационная карта	55
Приложение 2. Район исследования на снимке Sentinel-2 в естественных цветах.....	56
Приложение 3. Методика предварительной обработки космоснимков Sentinel-1 (GRD), Sentinel-2 и классификации ландшафтного покрова.....	57
Приложение 4. Снимок Sentinel-2, обработанный методом главных компонент.....	62
Приложение 5. Карта оптического вегетационного индекса	63

Приложение 6. Карта радарного вегетационного индекса	64
Приложение 7. Карта ландшафтного покрова	65
Приложение 8. Карта распределения высоких значений вегетационных индексов в ландшафтном покрове.....	66
Приложение 9. Карта ландшафтных функций	67

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается тенденция трансформации и разрушения естественных экосистем и ландшафтов планеты. Изменение экологических условий ставит под угрозу стабильность среды обитания всех живых организмов, в том числе и человека. В связи с этим проблема устойчивого развития человечества становится все более актуальной [de Groot, 1992, р. XI; Доклад Пленума...; Оценка экосистем... Мы живем не по средствам].

Одним из возможных способов решения данной проблемы является ландшафтное планирование с применением подхода оценки экосистемных услуг [de Groot, 1992; Оценка экосистем... Мы живем не по средствам]. Целью оценки экосистемных услуг является выявление и сохранение таких структурно-функциональных связей экосистемы, которые способствуют благополучию людей и поддерживают ее непрерывное функционирование. Функции ландшафтов и экосистем лежат в основе оценки экосистемных услуг. Их экономический учет является конечной целью оценки [Costanza, 2008; de Groot, 1992]. Так, концепция экосистемных услуг позволяет связать все три составляющие устойчивого развития человечества: социум, экология, экономика.

При существующей в России на сегодняшний день системе территориального планирования и оценки воздействия на окружающую среду исключение конфликта интересов вовлеченных сторон – сложно разрешимая задача. При осуществлении хозяйственной деятельности подход по оптимизации природной среды не применяется или применяется с обоснованием, основанным на качественном анализе и экспертных оценках. В связи с этим нередким является принятие несправедливых решений, не учитывающих интересы вовлеченных сторон.

Одна из причин возникновения проблемы – отсутствие оперативной количественной информации о состоянии окружающей природной среды. Решение проблемы возможно с применением материалов дистанционного зондирования Земли. Однако на сегодняшний день в России методики

количественной оценки компонентов ландшафтов и их функций на основе данных ДЗЗ не разработаны.

Методологическое обеспечение количественной оценки ландшафтных функций на основе материалов дистанционного зондирования Земли позволяет:

- решить задачу оперативной поставки информации о состоянии окружающей среды, включая как природных, так и антропогенных объектов,
- проводить учет ландшафтных функций и экосистемных услуг, контролировать их состояние,
- учитывать социальный запрос и предотвращать неразрешимые конфликты и катастрофы в будущем,
- стабилизировать экономику.

Социальный запрос является отправной точкой устойчивого развития территории. Для принятия взвешенного, обоснованного и справедливого решения требуется количественная оценка состояния ландшафтных функций и экосистемных услуг. В связи с этим изучение, создание и развитие методик количественной оценки ландшафтных функций на основе данных ДЗЗ на сегодняшний день является актуальным.

Исследование посвящено разработке методики количественной оценки древесно-ресурсной ландшафтной функции.

Объект исследования: тестовый участок, находящийся в Кондинском полесье в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре Тюменской области.

Предмет исследования: ландшафтные функции.

Цель исследования: провести количественную оценку ландшафтных функций, используя открытые источники данных дистанционного зондирования Земли.

Исходя из цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Изучить теоретические основы концепций ландшафтных функций и экосистемных услуг.

2. Рассмотреть методы картографирования и количественной оценки ландшафтных функций и экосистемных услуг.
3. Определить перечень ландшафтных функций и возможности их количественной оценки на основе открытых материалов дистанционного зондирования Земли.
4. Разработать алгоритм картографирования и количественной оценки древесно-ресурсной ландшафтной функции (функции продукции древесины) тестового участка с использованием открытых данных дистанционного зондирования Земли.

Методы исследования.

Теоретическая часть научно-исследовательской работы выполнена с использованием российских и зарубежных источников.

Практическая часть, картографический материал, разработан на основе дешифрирования ландшафтного покрова с использованием космоснимков Sentinel-2, Sentinel-1 и Alos-1.

В ходе подготовки космоснимков к процессу дешифрирования реализованы методы пространственной, радиометрической и спектральной коррекции.

При дешифрировании космоснимков применены методы алгебраических операций с каналами данных, в т.ч. вычисления вегетационных индексов оптической и радиолокационной съемки. Также изображения прошли предварительную обработку путем анализа главных компонент. Проведена объектная классификация ландшафтного покрова и вычислена зональная статистика индексов. В завершение задействован метод обучаемой классификации ландшафтного покрова – метод опорных векторов.

Картографирование ландшафтных функций выполнено на основе карты ландшафтного покрова путем интерпретации количественных значений индикаторов в границах выделенных классов. Количественные данные взяты из научной публикации.

Научная новизна исследования:

- Количественная оценка древесно-ресурсной ландшафтной функции на основе материалов дистанционного зондирования Земли на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры осуществлена впервые без проведения полевых геоботанических изысканий.

- Разработанный алгоритм оценки древесно-ресурсной ландшафтной функции совершенствует сложившуюся практику применения оптических вегетационных индексы, включая в анализ радарный вегетационный индекс. Это позволяет проводить более точную оценку функции в условиях таежного биома.

Методика прошла верификацию по данным лесоустройства и может быть применена на практике, в том числе при актуализации лесохозяйственных материалов, проведении инженерно-экологических изысканий, экологическом проектировании и территориальном планировании.

ГЛАВА 1. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

Экосистемные услуги – это экологические характеристики, функции или процессы, которые прямо или косвенно способствуют благополучию человека. Это выгоды, которые люди получают от функционирования экосистем [Boyd, Banzhaf; Costanza et al, 2017].

Возникновение концепции экосистемных услуг связано с приданием экономического значения природным функциям. Изначально целью концепции было привлечение внимания природопользователей, общественности и политиков к проблеме сохранения биоразнообразия [Georgiou, p. 30; Конюшков; Розенберг].

В отличие от природоохранной концепции с ее категорическим запретом на использование природных ресурсов концепция экосистемных услуг предпринимает попытку разумного природопользования [Georgiou, p. 30]. Благодаря концепции экосистемных услуг природные функции могут быть комплексно оценены, обоснованы, учтены и вовлечены в процесс принятия решений в сфере природопользования [Georgiou, p. 30; Перелет; Теория и методология..., с. 312; Учет и оценка...].

Значение концепции экосистемных услуг заключается в возможности интеграции социальных, экологических и экономических составляющих, гармоничное сочетание которых является залогом устойчивого развития [Розенберг].

Основным принципом оценки ландшафтных функций является принятие факта: система настолько огромна, что все ее аспекты не могут быть охвачены, поэтому ее компоненты рассматриваются по-отдельности, постепенно собираясь в целое [de Groot, 1992, p. II].

1.1. МЕСТО ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ В КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

Основой экосистемных услуг является природная система, которая может быть описана через структуру и протекающие в ней процессы. Структура и

процессы, представленные в экосистеме, выполняют функции разной направленности. Согласно концепции «экологические функции – это способность природных процессов и компонентов предоставлять товары и услуги, которые удовлетворяют потребности человека (прямо и/или косвенно)» [de Groot, 1992, p. 7].

Следует различать функцию экосистемы от процесса. Процесс – динамическое изменение системы во времени. Функция – работа элемента в системе.

На сегодняшний день описание процессов, протекающих в ландшафте, является сложной и во многом нерешенной задачей [de Groot, 1992, p. 13; Хорошев, с. 23].

Концепцией экосистемных услуг принимается условное равенство между структурой и процессом в рассматриваемой экосистеме. То есть отсутствует определенность, что первично, структура или процесс. Это одна из проблем хронологического подхода в ландшафтоведении, подробно рассмотрена [Хорошев, с. 12]. В рамках концепции не имеет значения, структура порождает процесс или процесс структуру – экосистемных услуг. Главная задача – измерить наиболее значимые показатели (индикаторы) экосистемы.

Существует множество схем, описывающих образование экосистемных услуг. В качестве примера рассмотрим наиболее цитируемую схему на рисунке 1.1, предложенную R. Haines-Young и M.B. Potschin [Burkhard, p. 41; Potschin, Haines-Young; Учет и оценка..., с. 39]. Схема названа каскадной моделью экосистемных услуг.

Каскадная модель состоит из трех блоков и пяти элементов.

Элементы каскада «Структура и процессы» и «Функции» являются вспомогательными или промежуточными услугами, формирующими конечную услугу. Данные элементы отражают снабжение, емкость, запас и потенциал природного капитала [Maes, p. 190].

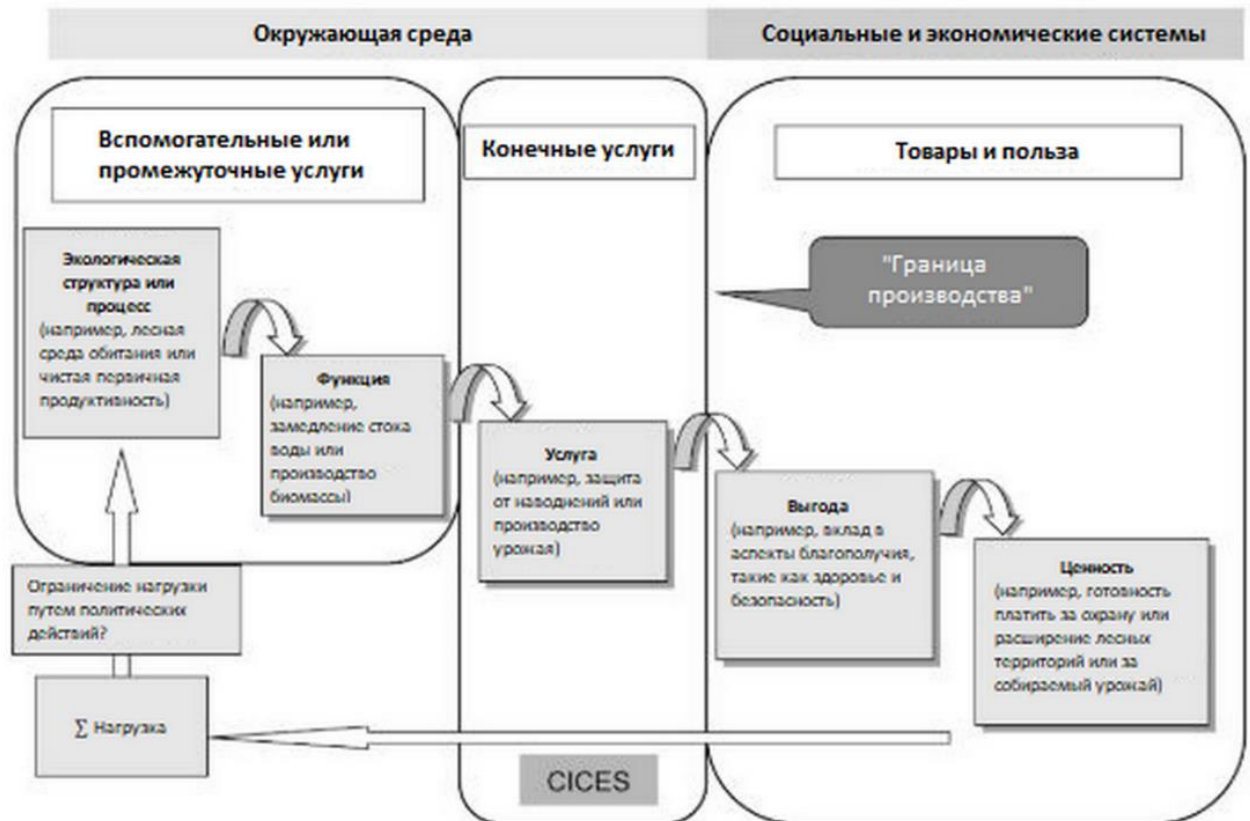


Рис. 1.1. Каскадная модель экосистемных услуг

Выделяя в экосистеме функции, которые выполняет структура и протекающие в ней процессы, мы обозначаем характеристики природной системы, способные оказать услугу [Haines-Young, Potschin; Maes, Crossman, Burkhard].

Поток фактически оказываемых услуг – это конечные услуги [Maes, Crossman, Burkhard]. Конечные услуги являются экосистемными услугами.

Из предоставляемых экосистемами услуг могут быть извлечены выгоды. Блок выгод (польза для людей) может быть определен через запрос общества на услуги [там же].

Когда оцениваются выгоды, они приобретают статус ценности. Ценность – это реальная польза, приносимая услугой [там же].

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ И ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

Существует большое множество и разнообразие классификаций ландшафтных функций и экосистемных услуг [de Groot et al, 2010; Haines-Young, Potschin; ТЕЕВ...; Costanza et al, 2017; Букварева, Замолотчиков; Конюшков; Оценка экосистем... Экосистемы и благосостояние; и др.]. В них могут выделяться обеспечивающие, регулирующие, поддерживающие, информационные, культурные, научно-образовательные, услуги обеспечения комфорта, услуги предоставления местообитания и другие функции экосистем.

Между обеспечивающими, регулирующими и социально-культурными классами экосистемных услуг проводят связь с составляющими устойчивости развития (экономической, экологической, социальной) [Учет и оценка...].

Классификация ландшафтных функций исходит из классификации экосистемных услуг и имеет аналогичные классы. Различия в классификациях функций и услуг заключаются в характеристиках более низких иерархических единиц. В первом случае приводятся структуры и процессы экосистем, выполняющие функции, во втором случае – конечные услуги, поставляемые социуму.

Р. де Грут выделяет 37 отдельных функций (таблица 1.1), разделенных на 4 класса: регулирующие, поддерживающие, обеспечивающие и информационные [de Groot, 1992, p. 15].

Таблица 1.1

Примеры классов и видов экосистемных функций

	Виды функций
Регулирующие	Защита от вредных космических воздействий
	Регулирование локального и глобального энергетического баланса
	Регулирование химического состава атмосферы
	Регулирование химического состава океанов
	Регулирование местного и глобального климата (включая гидрологический цикл)
	Регулирование стока и предотвращение наводнений (защита водосбора)
	Водосбор и питание подземных вод
	Предотвращение эрозии почвы и контроль отложений
	Формирование верхнего слоя почвы и поддержание плодородия почв

Продолжение таблицы 1.1

Регулирующие	Фиксация солнечной энергии и производство биомассы
	Хранение и переработка органических веществ
	Хранение и переработка питательных веществ
	Хранение и переработка отходов
	Регулирование механизмов биологического контроля
	Содержание миграционных мест обитания и мест размножения
	Поддержание биологического (и генетического) разнообразия
Поддерживающие	<i>обеспечение пространства и подходящей основы для:</i>
	Человеческого жилья и (местного) поселения
	Выращивания пищи (растениеводство, животноводство, аквакультура)
	Преобразования энергии
	Отдыха и туризма
	Охраны природы
Обеспечивающие	Кислород
	Вода (для питья, орошения, промышленности и т.д.)
	Пища и питательные напитки
	Генетические ресурсы
	Лечебные ресурсы
	Сырье для одежды и бытовых тканей
	Сырье для строений, конструкций и промышленности
	Биохимикаты (кроме топлива и лекарств)
	Топливо и энергия
	Корм и удобрения
	Декоративные ресурсы
Информационные	Эстетическая информация
	Духовная и религиозная информация
	Историческая информация (ценность наследия)
	Культурное и художественное вдохновение
	Научно-образовательная информация

Другой пример классификации экосистемных функций представлен в таблице 1.2 [Virginia, Wall].

Таблица 1.2

Примеры экосистемных функций и формирующих их процессов

Экосистемные функции	Процессы
Первичная продукция	Фотосинтез
	Поглощение питательных веществ
Разложение органики	Микробное дыхание

Продолжение таблицы 1.2

	Динамика пищевой сети в почве и отложениях
Круговорот азота	Нитрификация
	Денитрификация
	Азотфиксация
Круговорот воды	Транспирация растений
	Корневая активность
Формирование почвы	Минеральное выветривание
Формирование почвы	Рыхление почвы организмами
	Растительная сукцессия
Биологический контроль	Взаимодействия хищник-жертва

Классификация может быть основана на иерархичной, где каждый последующий класс является уточнением предыдущего, как это реализовано в CICES [Haines-Young, p. 9]. Такая иерархия хорошо сопоставима с классификацией ландшафтного покрова. Ее особенностью является отражение масштаба картографирования функции.

Экосистемных или ландшафтных функций может быть множество. Поэтому классификации функций экосистем строятся в зависимости от оценочного подхода. Главный принцип проведения классификации ландшафтных функций заключается в том, что состав ландшафтных функций определяется на каждую территорию и случай индивидуально. Исходя из цели оценки, учитывается природная обстановка и социальный запрос по отношению к функциям [Burkhard, p. 96; Haines-Young, p. 12].

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ

Экосистемные услуги являются междисциплинарным предметом исследования. В связи с этим не существует универсальных методик и алгоритмов. Общепринятые методологические требования включают в себя специальные обоснования, субъективную перепроверку и коммуникативную способность [Учет и оценка...].

Согласно одному из подходов оценки ландшафтных функций, исходящему из концепции экосистемных услуг, выполняются следующие шаги:

- Разработка исчерпывающего списка ландшафтных функций, которые необходимо учесть.
- Выбор индикаторов ландшафтных функций.
- Подбор подходящей методики измерения индикатора.
- Интерпретация индикатора в ландшафтную функцию.

1. Разработка перечня функций

В первую очередь разрабатывается список всех функций, задействованных в рассматриваемой социально-экологической системе [de Groot, 1992]. Перечень функций составляется в зависимости от целей оценки и стейкхолдера (целевой аудитории) [Burkhard, p. 96].

2. Определение индикаторов функций

Для учета функций необходим перечень параметров, которые возможно измерить в количественных показателях или качественных баллах. Данные параметры также называются индикаторами [Burkhard, pp. 96, 151; de Groot, 1992; Maes, Crossman, Burkhard; van Oudenhoven et al].

Выбор индикатора зависит от пространственно-временного масштаба и доступности данных [Burkhard, p. 96].

На сегодняшний день существуют сотни разработанных индикаторов для глобального, регионального и национального уровня. Индикаторы подбираются для каждой конкретной территории и случая отдельно, в зависимости от

поставленной цели и с учетом заинтересованных сторон [Burkhard, p. 98; van Oudenhoven et al].

Тематической рабочей группой по разработке индикаторов экосистемных услуг Партнерства по экосистемным услугам (Ecosystem Services Partnership, ESP) были опубликованы критерии для разработки списка индикаторов [van Oudenhoven et al]:

- достоверность.
- значимость.
- легитимность.
- осуществимость.

Достоверность обеспечивается, когда индикаторы являются научно обоснованными, т.е. опираются на научные исследования, отражают предмет оценки во времени, измеряются количественно и т.д. [там же].

Критерий значимости выполняется, когда индикатор соответствует потребностям целевой аудитории, обладает информацией, дающей возможность принятия решения, может быть смасштабирован, применим для сравнения с аналогами на других территориях, позволяет проводить исследования в динамике [там же].

Легитимность означает, что индикатор был выбран и принят с вовлечением все затрагиваемых сторон [там же].

Осуществимость оценки с использованием выбранного индикатора обеспечивается доступностью данных для измерения индикатора, экономической эффективностью получения данных, достаточностью времени измерения индикатора [там же].

3. Подбор методик количественной оценки индикаторов ландшафтных функций

Индикаторы могут быть вычислены на основе прямых измерений и измерений, проводимых на расстоянии. Прямые измерения осуществляются в ходе полевых исследований. Измерения на расстоянии возможны с применением

данных дистанционного зондирования Земли, статистической информации, картографических источников, моделирования средствами ГИС [Burkhard, pp. 96, 98].

Индикаторы ландшафтных функций, измеренные напрямую в ключевых участках, могут быть обработаны методами статистическими и геостатистическими методами. Источником статистических данных могут служить государственные сводки.

При применении данных дистанционного зондирования Земли индикаторы вычисляются методами дешифрирования, например посредством проведения классификации ландшафтного покрова и землепользования, индексов по спектральным каналам (NDVI, fAPAR, LAI и др.).

Моделирование индикатора может быть произведено также путем картографирования информации по компонентам ландшафта и ландшафту в целом на основе экспертных оценок.

4. Картографирование ландшафтных функций

На последнем этапе информация по индикатору картографируется.

В Европе ландшафтное планирование строится на основе информации о ландшафтном покрове, находящейся в системе CORINE [Burkhard, p. 152].

Следует оговорить, что ландшафтный покров не является ландшафтом в понимании физико-географов постсоветского пространства [Наговицин, с. 55]. Понятие ландшафтный покров является общераспространенным недословным переводом словосочетания land cover (англ.). Дословный перевод land cover – земельный покров, однако данный перевод не отражает полного смысла понятия, в связи с чем предпочтением является ландшафтный покров.

В России отсутствует единая общедоступная картографическая база как ландшафтов, так и ландшафтного покрова. Единая общепринятая методика картографирования ландшафтной основы в России также отсутствует. В связи с этим ландшафтная основа разрабатывается исследователями по предпочтительной методике и самостоятельно. Главной проблемой является то, что в результате

ландшафтные карты сопоставимы только в пределах охвата научной школы. Как правило, это локальный и региональный уровень.

Результаты дешифрирования ландшафтного покрова являются более универсальными и сопоставимыми.

Другим преимуществом европейской системы является принятие этапности оценки ландшафта [Burkhard, pp. 213-217, ТЕЕВ..., р. 13].

На основе карты ландшафтного покрова с использованием предварительных данных составляются карты уровня 1. Используется количественная информация, полученная на основе статистических, полевых, экспертных, картографических и прочих сведений. Данный этап оценки является этапом первого рассмотрения. Его преимуществом является то, что он позволяет охватить не только локальный и региональный, но национальный и глобальный уровни [Burkhard, р. 213].

Карты уровня 1 анализируются и дорабатываются до карт уровня 2 по мере необходимости [там же, р. 213]. К примеру, исследование может быть укрупнено в масштабе, могут быть выбраны конкретные участки наблюдений.

Вместе с ростом точности оценки расчет и сложность ее проведения. На уровне 2 проводится более детальная и трудоемкая работа с применением уточненных данных индикаторов ландшафтных функций, а также путем моделирования в среде ГИС. Результаты оценки ландшафтных функций на уровне 2 являются основой экономических расчетов экосистемных услуг [там же, pp. 213-217].

Моделирование восполняет недостающую информацию. Распространенным методом является пространственная статистическая обработка показателей, вычисленных с помощью ДЗЗ.

На уровне 3 проводится интерпретация вычисленных показателей ландшафтных функций в баллах с целью удобства проведения дальнейших операций по оценке экосистемных услуг и улучшения восприятия при принятии решений [там же].

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ

3.1. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ

В административном отношении тестовый участок расположен в Кондинском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры Тюменской области. Ситуационные карты представлены в Приложении 1, 2.

Климат исследуемого участка резко континентальный, зима суровая, холодная и продолжительная, лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны – осень и весна. Наблюдаются поздние весенние и ранние осенние заморозки. Безморозный период очень короткий. Резкие колебания температуры в течение года и даже суток.

Рассматриваемая территория принадлежит бассейну среднего течения р. Конда, притока р. Иртыш.

В геоморфологическом отношении изучаемая территория приурочена к Кондинской низменности [Физическая география России].

Согласно ландшафтной классификации ХМАО [Атлас...; Москвина, Козин] участок исследования относится к Кондинской ландшафтной провинции плоских болотных и болотно-таежных низин (Кондинское полесье), входящей в Кондо-Ваховскую ландшафтную область озерно-болотных низин.

Обилие осадков, слабое испарение и недостаточный сток способствует заболачиванию местности. Озера являются неотъемлемым элементом представленных болотных ландшафтов. Озера в плане имеют самую разнообразную, но, в основном, вытянутую в перпендикулярном направлении к стоку, форму. Преобладающие площади зеркала их варьируют от 0,05 до 0,6 км². Независимо от размеров, почти все внутриболотные водоемы имеют сходную морфологию, которая характеризуется слабым врезом озерной котловины, имеющей блюдцеобразную форму, без четко выраженных повышений и

понижений дна, чаще всего торфяного. Озера, как правило, имеют сток через заболоченные лога в долину.

Отличительными особенностями тестового участка Кондинского полесья являются [ALOS...; Атлас...; Карта четвертичных...; Москвина, Козин]:

- плоский низинный слаборасчлененный рельеф с небольшими отметками высот (50-60 м);

- равномерное покрытие широтно (субширотно) направленными озерами и гривами на фоне высокой заболоченности;

- болота преимущественно верхового типа, грядово-мочажинные, грядово-озерково-мочажинные (водосборные), а также рямовые (водораздельные);

- подстилающие породы в поймах и 1 надпойменной террасе р. Конда аллювиального происхождения (супеси и пески); во 2 надпойменной террасе – озерно-аллювиальные и аллювиальные (пески). Грунты зачастую перекрыты торфами различного генезиса.

Гидрогеологические структуры на исследуемой территории характеризуются высокой продуктивностью II порядка (более 600 тыс. м³ / сут.) и являются среднеперспективными (1-5 л/сек * м²) [Карта ресурсного потенциала...].

На основе анализа [Атлас...; Ильина, 1976; Ильина, 1985; Хренов] можно сделать следующие выводы в части распространенных в районе исследуемой территории ландшафтов на уровне урочищ:

1. Относительно дренированные – гривы с сосновыми бруснично-лишайниковыми лесами на подзолистых иллювиально-железисто-гумусовых почвах;

2. Относительно дренированные – склоны грив с сосновыми кустарничково-зеленомошными лесами на подзолистых глееватых почвах;

3. Относительно дренированные – плосковолнистые, местами заозеренные, равнины с сосновыми с примесью березы, лиственницы и кедра

лишайниково-кустарничково-моховыми лесами и редколесьями на подзолах иллювиально-гумусовых, подзолисто-глееватых, подзолистых почвах;

4. Относительно дренированные – сосновые кустарничково-сфагновые рямы на олиготрофных торфяных почвах;

5. Недренированные переувлажненные – плоскобугристые (выпуклые) грядово-мочажинные болота на олиготрофных торфяных почвах;

6. Недренированные переувлажненные – моховые болота и заторфованные долинообразные понижения на олиготрофных и мезотрофно-ефтрофных торфяных почвах;

7. Недренированные переувлажненные – грядово-озерково-мочажинные травяно-мохово-кустарничковые болота, занимающие понижения, на олиготрофных торфяных почвах;

8. Недренированные болотно-лесные – поймы с грядово-озерково-мочажинными травяно-мохово-кустарничковыми и низинными травяными болотами на аллювиальных иловато-торфянисто-глеевых почвах;

9. Недренированные болотно-лесные – поймы с заболоченными темнохвойными кустарничково-мелкотравно-зеленомошными лесами на аллювиальных иловато-торфянисто-глеевых почвах.

Фауна территории исследования является типичной для таежных сообществ. Видовое разнообразие обусловлено наличием лесных, болотных и пойменных мест обитания. Фауна наземных позвоночных лесоболотных территорий насчитывает около 180 видов (в том числе птиц – 135, млекопитающих – 35 видов), а долинных – более 190 видов (в том числе птиц – 145, млекопитающих – 39 видов) [Атлас...].

Река Конда относится к высшей категории рыбохозяйственного значения. Ихтиофауна в исследуемом районе является типичной для бассейна реки Иртыш. В основном здесь доминируют различные туводные виды рыб. В ручьях, крупных озерах могут встречаться жилые формы сига-пыжьяна и пеляди, иногда в уловах присутствует и чир. Нерестовая миграция полупроходных рыб в изучаемом районе происходит в летне-осенний период. Рыбы поднимаются в

верховья рек, где откладывают икру. После нереста рыба скатывается в нижнее течение, где зимуют, часть остается в верховьях.

Запасы основных промысловых видов рыб в водоемах ХМАО-Югры находятся в удовлетворительном состоянии, и общедопустимые уловы оцениваются в пределах 15-17 тыс. т / год. Уровень использования запасов водных биологических ресурсов по различным категориям водоемов неодинаковый: по магистральным рекам (Обь, Иртыш) он составляет 40-50 %, прочим рекам и протокам – 50-60 %, озерам – 3-5 % [Об экологической ситуации...].

Виды животных, на которых проводится охота с целью последующего использования получаемой при этом продукции (шкурки, мяса, жира и т. п.), относятся к охотничье-промысловым. Среди них на исследуемой территории обитают: белка, волк, горностай, заяц беляк, кабан, колонок, куница, лисица, лось, олень северный, россомаха, рысь, соболь, рябчик, тетерев, глухарь, белая куропатка [Численность охотничьих...]. Наибольшая численность популяции отмечается среди белок, зайцев, лосей, соболей, а также всех перечисленных видов птиц.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ

Исходя из современного состояния и перспектив развития территории исследования можно принять, что стейкхолдером является условная нефтегазовая добывающая компания.

Среди акторов определены:

- Население
- Государственная охрана
 - недр;
 - поверхностных вод;
 - водных биологических ресурсов;

- состояния атмосферного воздуха;
- лесных земель;
- особо охраняемых природных территорий;
- объектов историко-культурного наследия.

Состав ландшафтных функций, требующих учета и повышенного внимания, основывается на запросах акторов к деятельности стейкхолдера и его собственных интересов. Запросы и интересы могут касаться как компонентов ландшафта, так и ландшафта в целом, а также нормативных планировочных условий. Подробный анализ представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Анализ состава ландшафтных функций, исходя из интересов целевой аудитории

Целевая аудитория	Область интересов		Наилучший вариант размещения объекта стейкхолдера		Целевые ландшафтные функции		
	в ландшафтном отношении	в планировочном отношении	в ландшафтном отношении	в планировочном отношении	обеспечивающие	регулирующие	культурные
Нефтегазовая добывающая компания (стейкхолдер)	Стабильная зимняя температура воздуха	–	–	–	–	Терморегуляция атмосферного воздуха	–
	Вода поверхностная и подземная (техническое водоснабжение)	Охранные зоны водного объекта, водозабор	–	За пределами охранных зон водного объекта, водозабор	Водная масса	Возобновление воды	–
	Вода поверхностная (водоотведение)	Охранные зоны водного объекта	–	За пределами охранных зон водного объекта	–	Самоочищение воды	–
	Геологическая порода	–	–	–	Масса песчаного грунта	–	–
		–	В области распространения водоупорных геологических слоев	–	–	Защита подземных вод	–

Продолжение таблицы 3.1

Нефтегазовая добывающая компания (стейкхолдер)	Лесная древесина	Охранные лесные зоны, защитные леса, территории традиционного природопользования (ТТП)	—	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса лесной древесины (строительная)	Возобновление леса.	—
	Применение отходов в строительстве	—	Ландшафты, устойчивые к засолению	—	—	Самоочищение почвы. Защита подземных вод	—
Население	Вода поверхностная и подземная (хозяйственно-питьевое водоснабжение)	Охранные зоны водного объекта, водозабора	В нижнем течении водотока	За пределами охранных зон водного объекта, водозабора	Водная масса	Возобновление воды	—
	Вода поверхностная (водоотведение)	Охранные зоны водного объекта	—	За пределами охранных зон водного объекта	—	Самоочищение воды	—
	Лесная древесина	Охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	Нелесные участки либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса лесной древесины (строительная, дровяная)	Возобновление леса	—
	Кормовые угодья	Населенные пункты и ТТП	Участки без кормовых ресурсов либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами ТТП	Масса кормовых ресурсов (травы, мох и т.п.)	Возобновление кормовых ресурсов	—
	Орехи	Охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	Участки без кедра либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса орехов	Возобновление кедра	—

Продолжение таблицы 3.1

Население	Грибы	Охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	Нелесные участки либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса грибов	Возобновление грибов	—
	Ягоды	Охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	Участки, не покрытые плодово-ягодными растениями, либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса ягод	Возобновление ягод	—
	Лекарственные травы	Охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	Участки, не покрытые лекарственными травами, либо участки, удаленные от населенных пунктов	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Масса лекарственных растений	Возобновление лекарственных растений	—
	Животные	Охранные зоны водных объектов, охранные лесные зоны, защитные леса, населенные пункты и ТТП	В удалении от мест обитания и размножения животных, в т.ч. нерестилищ, а также от миграционно-поточковых ландшафтов	За пределами охранных зон водных объектов, охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП	Популяция охотничьих промысловых видов животных, рыб	Биостациональная	—
Гос. охрана недр	Вода подземная	Охранные зоны водозабора	За пределами миграционно-поточковых ландшафтов	За пределами охранных зон водозабора	Водная масса	Возобновление воды	—
	Песок	—	—	—	Масса песчаного грунта	—	—
Гос. охрана поверх. вод	Вода поверхностная	Охранные зоны водного объекта	За пределами миграционно-поточковых ландшафтов	За пределами охранных зон водного объекта	Водная масса	Возобновление воды	—

Продолжение таблицы 3.1

Гос. охрана вод, биол. ресурсов	Рыба и другие водные биоресурсы	Охранные зоны водного объекта	За пределами миграционно-поточковых ландшафтов	За пределами охранных зон водного объекта	Популяция рыб	Биостациональная	—
Гос. охрана сост. атм. воздуха	Атмосферный воздух	Охранные зоны промышленных объектов	—	За пределами санитарно-защитных зон промышленных объектов	—	Самоочищение атмосферного воздуха	—
Гос. охрана лесных земель	Растительность	Охранные лесные зоны, защитные леса	Нелесные либо низкопродуктивные участки	За пределами охранных лесных зон, защитных лесов	Масса лесной древесной и недревесной растительности	Возобновление леса	—
Гос. охрана ООПТ	Ландшафты	ООПТ и их охранные зоны	—	За пределами ООПТ и охранных зон	—	Биостациональная	Научная
Гос. охрана объектов ИКН	Ландшафты	Объекты ИКН и их охранные зоны	За пределами участков, на которых есть вероятность образования поселений в прошлом (возле водных объектов, повышенные участки местности и др.)	За пределами объектов ИКН и их охранных зон	—	—	Духовная Историческая Наследие

Если опираться исключительно на интересы стейкхолдера, то ландшафтные ограничения невозможно установить по причине их отсутствия в законодательстве. В сложившейся в России практике варианты размещения принимаются, исходя из наличия охранных зон и охраняемых территорий.

Когда дополнительно учитываются интересы вовлеченных сторон (акторов), то в процесс принятия планировочного решения добавляется ландшафт и его функции. Функциями ландшафта как целостной структуры являются биостационарные и культурные функции.

В таблице 3.2 представлен итоговый состав ландшафтных функций исследуемой территории и рамки деятельности стейкхолдера, при которых не затрагиваются интересы акторов.

Таблица 3.2

Ландшафтно-планировочные рамки стейкхолдера в ландшафтно-функциональном отношении

Компонент ландшафта	Ландшафтные функции			Ландшафтно-планировочные рамки
	обеспечивающие	регулирующие	культурные	
Атмосферный воздух	—	Самоочищение атмосферного воздуха	—	• За пределами санитарно-защитных охранных зон промышленных объектов
	—	Терморегуляция атмосферного воздуха	—	
Поверхностные и подземные воды	Водная масса	Возобновление воды	—	• В нижнем течении водотока. - За пределами: • миграционно-поточных ландшафтов, • охранных зон водозаборов и водных объектов
	—	Самоочищение воды	—	
Геологическая порода	Масса песчаного грунта	—	—	• В области распространения водоупорных геологических слоев
	—	Защита подземных вод	—	

Продолжение таблицы 3.2

Почва	—	Самоочищение почвы	—	• В области ландшафтов, устойчивых к засолению • В области распространения водоупорных геологических слоев
	—	Защита подземных вод	—	
Растительность	Масса лесной древесной (в т.ч. строительная, дровяная) и недревесной растительности	Возобновление леса	—	На участках: • нелесных, • низкопродуктивных по кормовым, орехово-ягодным, лекарственным ресурсам, • Либо на участках, удаленных от населенных мест, в т.ч. ТТП. • За пределами охранных лесных зон, защитных лесов
	Масса кормовых ресурсов (травы, мох и т.п.)	Возобновление кормовых ресурсов	—	
	Масса орехов	Возобновление кедра	—	
	Масса грибов	Возобновление грибов	—	
	Масса ягод	Возобновление ягод	—	
	Масса лекарственных растений	Возобновление лекарственных растений	—	
Животные	Популяция охотничье-промысловых видов животных, рыб	—	—	• В удалении от мест обитания и размножения животных, в т.ч. нерестилищ. • За пределами миграционно-поточных ландшафтов. • За пределами охранных зон водных объектов, охранных лесных зон, защитных лесов и ТТП
Ландшафты	—	Биостационарная	Научная	• За пределами ООПТ и охранных зон

Продолжение таблицы 3.2

Ландшафты	–	–	Духовная Историческая Наследие	• За пределами участков, на которых есть вероятность образования поселений в прошлом (возле водных объектов, повышенные участки местности и др.) • За пределами населенных пунктов, ТТП, объектов ИКН и их охранных зон
-----------	---	---	--------------------------------------	--

3.3. ДЕШИФРИРОВАНИЕ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА В КОНДИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ

В настоящей работе была разработана карта ландшафтного покрова, послужившая основой карт оценки ландшафтных функций уровня 1, согласно многоуровневому подходу к картографированию экосистемных услуг по [Burkhard, p. 213].

3.3.1. Выбор космоснимков

Важной характеристикой космоснимков является их спектральный диапазон и технология получения изображения, которые определяют биогеофизические признаки географических объектов [Книжников, с. 76].

Спектральные диапазоны, применимые в космической съемке, делятся на три группы в зависимости от участка спектра (таблица 3.3) [Книжников, с. 76; Шовенгердт, с. 28].

1. Оптический – видимый, ближний и средний инфракрасный диапазоны.
2. Тепловой инфракрасный диапазон.
3. Радиодиапазон.

Таблица 3.3

Основные спектральные диапазоны, используемые в ДЗЗ

	Название	Диапазон длин волн	Источник излучения	Анализируемый параметр поверхности
Оптический	Видимый (V)	0,4-0,7 мкм	Солнце	Отражательная способность
	Ближний инфракрасный (NIR)	0,7-1,1 мкм	Солнце	Отражательная способность
	Коротковолновой инфракрасный (SWIR)	1,1-1,35 мкм 1,4-1,8 мкм 2,0-2,5 мкм	Солнце, искусственный (активная система)	Отражательная способность
	Средневолновой инфракрасный (MWIR)	3-4 мкм 4,5-5 мкм	Солнце, источники тепла	Отражательная способность, температура
Тепловой	Длинноволновой инфракрасный канал (TIR или LWIR)	8-9,5 мкм 10-14 мкм	Источники тепла	Температура
Радио-диапазон	Микроволновой	от 1 мм до 1 мт	Тепловой (пассивная система), искусственный (активная система)	Температура (пассивная система), рельеф (активная система)

Стоит отметить, что тепловое и радиолокационное излучение характеризуется наибольшими длинами волн, в связи с чем не зависит от облачности и времени суток. Это особенно важно для территории тайги, где высокая облачность является характерной в течение всего года.

Различают активную и пассивную спутниковую съемочную аппаратуру ДЗЗ [Castree et al, p. 316].

Активная: радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR) и аппараты по обнаружению и определению дальности с помощью света (LiDAR). SAR испускают и принимают электромагнитные волны, LiDAR – инфракрасные.

Пассивная: оптические многоспектральные спутники, которые принимают электромагнитные волны (видимые и инфракрасные участки спектра солнечного излучения).

В нашем исследовании дешифрирование КС проводилось по схеме, изображенной на рисунке 3.1.



Рис. 3.1. Этапы дешифрирования данных ДЗЗ

С целью увеличения практической применимости результата научной работы при выборе снимков принципиальный приоритет отдавался открытым и общедоступным источникам [EarthExplorer; ESA Copernicus...]. Для работы были выбраны снимки Sentinel-2 и Sentinel-1, представляющие наилучшее пространственное разрешение среди снимков, находящихся в открытом доступе. Данные снимки позволяют составлять карты масштаба 1:25000 и мельче. Характеристики снимков представлены в таблицах 3.4-3.6.

Таблица 3.4

Характеристики снимков Sentinel-2

Диапазон	Канал	Длина волны	Разрешение
V	1	0,443	60
	2	0,490	10
	3	0,560	10
	4	0,665	10
NIR	5	0,705	20
	6	0,740	20
	7	0,783	20
	8	0,842	20
	8A	0,865	20
	9	0,945	60
SWIR	10	1,375	60
	11	1,610	20
	12	2,190	20

Таблица 3.5

Характеристики снимков Sentinel-1 уровня обработки GRD

Уровень детальности	Режим съемки		
	SM	IW	EW
Полный	3.5×3.5	—	—
Высокий	10×10	10×10	25×25
Средний	40×40	40×40	40×40

Примечание: охват SM – Stripmap, IW – Interferometric Wide Swath, EW – Extra Wide Swath

Длина волны датчика спутника Sentinel-1 находится в С-диапазоне с частотой от 8 до 4 ГГц (длина волны 3,75-7,5 см, в среднем 5,6 см). Режимы поляризации: одинарная (HH, VV) и двойная (HH/HV, VV/VH).

Таблица 3.6

Снимки, использованные в исследовании

Спутник	Номер снимка	Дата съемки	Уровень обработки	Формат
Sentinel-1	S1B_IW_GRDH_1SDV_20190726T014025_20190726T014050_017298_02087E_FFD9	2019/07/26	L1	GRD
Sentinel-2	2B_L1C_T42VVM_A007096_20180716T065830	2018/07/16	L1	jp2

В ходе исследования был также осуществлен поиск LiDAR съемки, что могло бы позволить провести детальную оценку объема биомассы растительного покрова. Установлено, что общедоступные источники данных LiDAR на исследуемую территорию и на всю территорию России отсутствуют. Ожидается поставка результатов съемки по технологии LiDAR в открытый доступ от спутника GEDI, который был запущен в конце 2018 года [Flores-Anderson et al, p. 236]. Съемка GEDI обладает высоким разрешением и глобальным охватом.

3.3.2. Определение методики дешифрирования ландшафтных функций

Рассмотрим возможные методики обработки данных ДЗЗ и картографирования ландшафтных функций с использованием космоснимков, находящихся в открытом доступе (таблица 3.7). В таблице 3.7 желтым цветом выделены функции, по которым методика оценки не была найдена, зеленым – возможно проведение качественной оценки, синим – количественной. Классификация В.В. Козина взята из источника [Козин, с. 36].

В перечень методик картографирования ландшафтных функций в среде ГИС не включались вспомогательные операции (например, корректировка обучающей выборки), а также операции постобработки результата дешифрирования, оформление карты и т.п., так как эти действия не являются центральными в поставленной задаче.

Возможные методики дешифрирования и картографирования
ландшафтных функций на основе открытых данных

Компонент ландшафта	Ландшафтные функции	Аналог по классификации В.В. Козина	Примеры методик		Примеры открытых источников снимков и карт
			дешифрирования	картографирования	
Атмосферный воздух	Самоочищение атмосферного воздуха	–	Выявление эмиссий. чё Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	MODIS
	Терморегуляция атмосферного воздуха	–	Дешифрирование температуры поверхности Земли. Метод оценки: количественный	Экстраполяция полевых данных	MODIS Landsat
Поверхностные и подземные воды	Поверхностная водная масса	Водозапа- сающая	Классификация ландшафтного покрова: измерение площадей водной поверхности. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных. Гидрологическое моделирование	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Самоочищение поверхностных вод	–	Классификация ландшафтного покрова: изучение фаз цветения воды. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Подземная водная масса	Водозапа- сающая	Изучение изменений ландшафтного покрова: детектирование верховодки по характеру вегетации растительного покрова. Метод оценки: качественный	Определение водного запаса по картам в открытом доступе	Карты ареалов подземных вод на тестовый участок не найдены

Продолжение таблицы 3.7

Поверхностные и подземные воды	Самоочищение подземных вод		Классификация ландшафтного покрова: выявление потоковых и барьерных ландшафтов. Метод оценки: качественный	Определение защищенности подземных вод по геологическим картам	Landsat Sentinel Геологические карты защищенности подземных вод не были найдены
	Возобновление поверхностных и подземных вод	Водорегулирующая Водоохранная	Классификация ландшафтного покрова: выявление потоковых и барьерных ландшафтов. Метод оценки: качественный.	Вспомогательная роль	Landsat Sentinel
	Возобновление поверхностных и подземных вод	Водорегулирующая Водоохранная	Цифровая модель рельефа: моделирование потоков вещества. Метод оценки: количественный	Вспомогательная роль	Sentinel ALOS
Литологическая основа	Масса песчаного грунта	Строительные ресурсы	Классификация ландшафтного покрова: выявление открытых песчаных грунтов. Метод оценки: качественный	Определение современных отложений по картам в открытом доступе	Landsat Sentinel ALOS Карты современных четвертичных отложений
Почва	Самоочищение почвы	—	Классификация ландшафтного покрова: выявление потоковых и барьерных ландшафтов. Метод оценки: качественный	Определение типов почв по картам в открытом доступе. Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Почвенные, геохимические карты.
Растительность	Масса лесной древесной растительности	Древесно-ресурсная	Классификация ландшафтного покрова: определение густоты и типа леса. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации

Продолжение таблицы 3.7

Растительность	Возобновление леса	—	Классификация ландшафтного покрова: полимасштабная экспертная оценка мест произрастания в категориях типичность / редкость [Хорошев]. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Масса кормовых ресурсов (травы, мох и т.п.)	Сенокосная (пастбищная)	Классификация ландшафтного покрова: выявление мест выпаса, сбора корма в районе проживания населения. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Возобновление кормовых ресурсов	—	Классификация ландшафтного покрова: полимасштабная экспертная оценка мест произрастания в категориях типичность / редкость [Хорошев]. Метод оценки: качественный	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Масса орехов, грибов, ягод, лекарственных трав	Орехово-промысловая Грибная Ягодная	Для определения видового состава растительных сообществ необходимы снимки высокого разрешения	Определение мест произрастания. Интерполяция средней продуктивности лесов. Полимасштабная экспертная оценка мест произрастания в категориях типичность / редкость [Хорошев]	Открытые снимки высокого разрешения и крупномасштабные ландшафтные карты не найдены. Средняя продуктивность лесов может быть определена по Лесохозяйственным регламентам

Продолжение таблицы 3.7

Животные	Масса рыбы	Рыбопромысловая	Классификация ландшафтного покрова: определение типов мест обитания животных. Метод оценки: качественный	Интерполяция по данным о численности популяций в местных водных объектах	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Популяция животных	Охотничье-промысловая	Классификация ландшафтного покрова: определение типов мест обитания животных. Метод оценки: качественный	Интерполяция по данным о численности популяций	Landsat Sentinel ALOS Открытые данные Депнедра и природных ресурсов Югры
Ландшафт в целом	Биостационарная	Биостационарная	Классификация ландшафтного покрова: определение типов мест обитания животных. Метод оценки: качественный.	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации
	Духовная Историческая Наследие		Классификация ландшафтного покрова: выявление участков, на которых есть вероятность образования поселений в прошлом (возле водных объектов, повышенные участки местности и др.)	Экстраполяция полевых данных	Landsat Sentinel ALOS Научные публикации.

Для наглядности и понимания возможностей количественной оценки ландшафтных функций на основе открытых ДЗЗ кратко подытожим таблицу 3.4 в виде схемы (рисунок 3.2).

Атмосферный воздух	Оптика	Радар	ГИС
Поверхностные воды	Оптика	Радар	ГИС
Подземные воды	Оптика	Радар	ГИС
Литологическая основа	Оптика	Радар	ГИС
Почва	Оптика	Радар	ГИС
Растительный покров	Оптика	Радар	ГИС
Животный мир	Оптика	Радар	ГИС
Ландшафт в целом	Оптика	Радар	ГИС

Рис. 3.2. Возможности дешифрирования и картографирования ландшафтных функций с использованием открытых источников данных

Примечание по обозначениям на рисунке 3.2:

- Оптика – дешифрирование оптических космоснимков;
- Радар – дешифрирование радиолокационных космоснимков;
- ГИС – извлечение геоинформации методами пространственной обработки данных.

Цвета: красный – оценка невозможна; зеленый – качественная оценка; синий – количественная оценка.

Проведенная работа позволила определить, что имеющиеся на территорию исследования открытые данные космосъемки:

1. Позволяют картографировать границы выделов ландшафтного покрова.

2. Не являются достаточным источником информации для картографирования границ ландшафтов в традиционном понимании физико-географов постсоветского пространства. Ландшафтный покров может быть доведен до ландшафтной карты с операционными территориальными единицами уровня типов местности [Мильков, Бережной, Михно] при уточнении местоположений в рельефе и геологических условий по картографическим и иным источникам. Для картографирования ландшафтов уровня урочищ [Мильков, Бережной, Михно] требуется уточнение геологических условий, типов почв и видового состава растительности.

3. Дают возможность проведения удаленной оценки индикаторов ландшафтных функций.

4. Не являются достаточным источником для проведения количественной оценки ландшафтных функций по их индикаторам, за исключением некоторых видов моделирования с применением ЦМР, а также термической съемки. Для интерпретации индикаторов требуется поиск их количественных характеристик.

Настоящее исследование было сконцентрировано на количественной оценке древесно-ресурсной ландшафтной функции.

3.3.3. Разработка карты ландшафтного покрова

В исследовании анализ индикаторов был произведен с применением данных дистанционного зондирования Земли.

На основе российского и зарубежного опыта были разработаны алгоритмы предварительной обработки космоснимков и классификации ландшафтного покрова (Рисунок 3.3) [Filipponi; Luca Congedo; Flores-Anderson et al; Training Course...; Базовые продукты зондирования...; Балдина, Трошко, Николаев; Кренке, Пузаченко; Мышляков; Опыт классификации...; Сизов, Идрисов, Юртаев; и др.]. Пошаговая методика приведена в Приложении 3.

Карта ландшафтного покрова составлена с целью выявления границ обеспечивающих древесно-ресурсных ландшафтных функций. Идея перехода от классов ландшафтного покрова к ландшафтным функциям взята из классификации CICES [Haines-Young, p. 9].

Первым этапом дешифрирования ландшафтного покрова является предварительная обработка космоснимков.

Изображения Sentinel-2 обрабатывались в нескольких программах. В первую очередь снимки прошли конвертацию в формат, доступный для работы в ENVI 5.3. Далее в ENVI были проведены операции с коррекцией и склейкой снимков.

При проведении классификации снимка возникает проблема, связанная с тем, что спектральные характеристики сложно развести, так как между ними всегда присутствует корреляция. Если проводить разноуровневую классификацию на одном и том же разрешении, то с увеличением количества классов растет ошибка и шум, снижается точность. Одним из вариантов решения данной проблемы является метод анализа главных компонент [Кренке, Пузаченко]. Вычисление главных компонент позволяет получить некоррелированные каналы [Richards, 1999].

Поэтому на этапе подготовки к классификации снимки были проанализированы методом главных



Рис. 3.3. Алгоритм предобработки и классификации ландшафтного покрова по снимкам Sentinel-2 и Sentinel-1

компонент. Карта с отображением результата обработки снимка представлена в Приложении 4.

В ходе исследования возможностей количественной оценки обеспечивающей функции растительного компонента ландшафта было выяснено, что наиболее распространенной методикой является вычисление индексов вегетации по оптическим снимкам, например NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) либо его аналогов, которые отображают количество хлорофилла в здоровых листьях растений на основе разницы отражения в ближнем инфракрасном и красном каналах (формула 3.1). Индексы типа NDVI также называют индексами «зелености» [Kumar, Rao, Sharma; Анисимов, Жильцова, Разживин].

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}, \quad (3.1)$$

где NIR – ближний инфракрасный канал (в Sentinel-2 это канал B8);

Red – красный канал (в Sentinel-2 это канал B4).

Вегетационный индекс NDVI был вычислен по исходным космоснимкам в среде ENVI. Результат представлен в Приложении 5.

В процессе изучения возможностей удаленного измерения растительной биомассы было выяснено, что помимо вегетационных индексов, основанных на оптической съемке, существуют также радарные вегетационные индексы. Отличительной особенностью радарных вегетационных индексов является чувствительность к объемной характеристике биомассы. В то время как оптические вегетационные индексы показывают пик зеленого цвета растений (который, как правило, наступает раньше, чем растение набирает массу), радарные вегетационные индексы отображают их объемные характеристики [Kumar, Rao, Sharma].

Наиболее известными радарными вегетационными индексами являются поляриметрические RVI (Radar Vegetation Index) и RFDI (Radar Forest Degradation Index). Для изображений с двойной и четверной поляризацией формулы расчета радарных вегетационных индексов различаются. Для снимков

Sentinel-1 с двойной поляризацией применяются формулы 3.2 и 3.3 [Flores-Anderson et al; Kumar, Rao, Sharma]:

$$RVI = \frac{4\sigma_{VH}^{\circ}}{\sigma_{VH}^{\circ} + \sigma_{VV}^{\circ}}, \quad (3.2)$$

$$RFDI = \frac{\sigma_{VV}^{\circ} - \sigma_{VH}^{\circ}}{\sigma_{VV}^{\circ} + \sigma_{VH}^{\circ}}, \quad (3.3)$$

где VH – вертикально-горизонтальная поляризация (кросс-поляризация),
VV – вертикально-вертикальная поляризация (со-поляризация).

Предобработка радиолокационных снимков Sentinel-1 проведена в ПО оператора космосъемки – SNAP 7.0 [Download SNAP]. Суть предобработки заключается в радиометрической и геометрической коррекции изображения.

Радарный вегетационный индекс RVI вычислен с использованием программы ENVI. Результат представлен в Приложении 6.

Классификация снимков ДЗЗ – задача распознавания однородных структур на изображении. Задача решается через алгоритмы машинного обучения. В связи с тем, что машинное обучение нестандартно, единой методики дешифрирования снимков не существует. Суть обучения сводится во введение в алгоритм репрезентативных участков с характерными спектральными параметрами, однозначно определяющих кластер (класс) [Canty].

Классификация может проводиться на основе объектного (object based) либо пиксельного (pixel based) распознавания [Training Course...].

Пиксельная классификация использует спектральные сигнатуры, а также вспомогательные данные (высота, уклон и т.д.). Спектральная сигнатура – это среднее поверхностное отражение на каждой зарегистрированной датчиком длине волны.

Объектная классификация выделяет объекты или сегменты изображения, текстуру, контекстные отношения; разделяет изображение на однородные области.

При проведении классификации ландшафтного/растительного покрова широко используется иерархическая схема Андерсона (1976). К слову,

классификация ландшафтных функций и экосистемных услуг CICES является аналогом схемы Андерсона [Haines-Young, p. 9].

В классификационной схеме выделяется несколько иерархических уровней. Каждый уровень уточняет предыдущий. Количество уровней зависит от целей картографирования [Шовенгердт, с. 432]. К примеру, для классификации первого уровня подходят снимки с разрешением 80 м, для 2 уровня – 20-30 м, для 3 уровня – 5 м и более.

Главными принципами выделения классов ландшафтного покрова являются [Training Course...]:

- Иерархичность;
- Обоснованность геометрическими параметрами (например, размер класса, сомкнутость крон, доминантная порода и др.);
- Отсутствие необоснованных субъективных критериев (например, молодой, зрелый лес и др.);
- Исчерпанность классов;
- Создана на основе правил;
- Удовлетворяет потребности пользователя.

В работе был применен комплексный подход, включающий и объектную, и пиксельную классификацию снимков, что рекомендуется в [Training Course...].

Объектная классификация снимка была проведена путем сегментации с помощью инструмента OTB 7.1.0 [Orfeo-toolbox]. По сегментированному векторному слою была рассчитана зональная статистика значений индексов NDVI, RVI и высот [ALOS...]. Затем слои были поканально растеризованы и вновь склеены с применением программ ArcGIS Pro 2.5.1 [Esri] и QGIS 3.4.15 [QGIS...].

Завершением подготовки снимков к пиксельной классификации было создание обучающей выборки с применением QGIS и ENVI. При создании обучающей выборки для проведения пиксельной классификации ландшафтного покрова были использованы данные лесоустройства, физико-географические

описания [Ильина, 1985; Москвина, Козин; Об экологической ситуации...; Физическая география России; Численность охотничьих...], топографические и тематические карты [Атлас...; Карта ресурсного потенциала...; Карта четвертичных...; Маршруты; Ильина, 1976; Хренов].

С учетом физико-географических условий района исследования была принята следующая классификация ландшафтного покрова (таблица 3.8).

Таблица 3.8

Классификация ландшафтного покрова тестового участка Кондинского полесья

№ п/п	Уровень 1		Уровень 2		Уровень 3	
1.	1	Вода	1.1	Вода	1.1.1	Поверхностные воды
2.	2	Лес	2.1	Лес хвойный	2.1.1	Лес хвойный редкий
3.					2.1.2	Лес хвойный густой
4.			2.2	Лес мелколиственный	2.2.1	Лес мелколиственный густой
5.	3	Травяно-мохово-кустарничковые сообщества	3.1	Травяно-мохово-кустарничковые сообщества	3.1.1	Травяно-мохово-кустарничковые сообщества
6.	4	Болото	4.1	Болото водосборное	4.1.1	Болото водосборное
7.			4.2	Болото водораздельное	4.2.1	Болото водораздельное
8.	5	Участки без растительности	5.1	Участки без растительности	5.1.1	Участки без растительности

Выпуклые болота были объединены в группу водораздельных болот, грядово-озерково-мочажинные, заторфованные долинообразные понижения и другие – составили группу водосборных болот [Ильина, 1976; Ильина, 1985, с. 149, 150].

Как было отмечено в пункте 3.1.2, на сегодняшний день на основе космоснимков из открытых источников невозможно дешифровать типы местности и урочища без привлечения дополнительных данных. Растительные сообщества удастся разграничивать только по параметру хвойный/мелколиственный и густой/редкий. Однако данный факт не мешает

выполнению поставленной в исследовании задачи по количественной оценке древесно-ресурсных функций ландшафтов.

Алгоритмы классификации ландшафтного покрова подразделяются на параметрические и непараметрические. Параметрические методы опираются на параметры, проводят статистическое распределение, вероятностные вычисления. Непараметрические методы не зависят от наборов параметров, проводят геометрический анализ снимка. Считается, что непараметрические методы позволяют провести более точную классификацию [Richards, 2013, p. 382; Training Course...; Книжников, с. 153; Шовенгердт, с. 449, 459, 460].

Классификация снимков проводилась в ENVI непараметрическим методом, с применением алгоритма машинного обучения Метод Опорных Векторов (Support Vector Machine, SVM). Подробно метод описан здесь [Сизов, Идрисов, Юртаев]. Результат классификации ландшафтного покрова представлен в Приложении 7.

Для оценки точности классификации так же была использована программа ENVI. Согласно матрице ошибок по классам (Confusion Matrix) общая точность классификации составила 98,3965 %, коэффициент Каппа 0,9809. Точность разработчика (Accuracy Producer) и пользовательская точность (Accuracy User) с разбивкой по классам представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Оценка точности классификации

№ п/п	Классы	Точность разработчика, %	Точность пользователя, %
1.	Поверхностные воды	100,00	100,00
2.	Лес хвойный редкий	94,41	96,01
3.	Лес хвойный густой	100,00	100,00
4.	Лес мелколистственный густой	100,00	100,00
5.	Травяно-мохово-кустарничковые сообщества	96,24	96,38
6.	Болото водосборное	98,19	99,17
7.	Болото водораздельное	97,38	94,11
8.	Участки без растительности	100,00	100,00

3.3.4. Картографирование и оценка ландшафтных функций

Оценка ландшафтных функций на основе данных ДЗЗ с опорой на количественные данные, взятые из публикаций, является предварительной и позволяет получить карты оценки ландшафтных функций уровня 1.

В настоящей работе составлена оценочная карта древесно-ресурсных ландшафтных функций путем количественной интерпретации значений индексов NDVI и RVI в границах классов ландшафтного покрова.

Индекс NDVI может быть связан с густотой и продуктивностью растительного покрова, однако для получения достоверной корреляционной связи необходимы детальные геоботанические исследования (полевые измерения, лазерное сканирование и т.п.). Тем не менее, на этапе первичного рассмотрения можно получить относительную оценку, воспользовавшись опубликованными данными по таежной зоне, где значение индекса 0,65 соотносится с биопродуктивностью 800 г/м² в год [Силкин].

По индексу RVI, так же, как и NDVI, можно судить характер изменения надземной растительной массы. Но соотношения продуктивности растений со значениями RVI на сегодняшний день недостаточно исследованы. Для выявления корреляции RVI и биопродуктивности требуется привлечение дополнительных количественных данных по изучаемому участку растительности [Kumar, Rao, Sharma].

В ходе исследования была предпринята попытка количественной оценки биопродуктивности по RVI с использованием данных по объемам древесины из лесотаксации. Имелись данные по бонитету лесных насаждений на половину территории тестового участка, в пределах Болчаровского урочища Болчаровского участкового лесничества. Вторая часть территории, на которую данные полностью отсутствовали, пришлась на Пойменное урочище Болчаровского участкового лесничества. Имелась также информация, взятая из договоров аренды лесных участков для заготовки древесины на некоторые соседние выделы: бонитет, возраст, полнота древостоя, запас древесины. Но, как правило, для размещения производственных объектов выбираются наиболее

низкопродуктивные территории. Данные договоров оказались малоинформативными. Найти научно обоснованный способ проведения аналогии договорных данных о лесных насаждениях с тестовым участком, на который имеется частичная информация о бонитете древостоя, не удалось.

В результате вычисления индексов NDVI и RVI было определено, что NDVI обладает высокой чувствительностью к мелколиственным породам и низкой чувствительностью к хвойным, а RVI – наоборот. Это продемонстрировано на карте в Приложении 8.

Сделан вывод, что по причине недостаточной чувствительности к хвойным породам на основе оптического вегетационного индекса NDVI в таежных условиях невозможно провести достаточно точную оценку древесно-ресурсной ландшафтной функции. Таким образом, использование оптического и радарного индексов вегетации в комплексе является более информативным, что отмечается в [Flores-Anderson et al].

В ходе исследования было выяснено, что вегетационные индексы сами по себе не характеризуют границы растительного покрова с достаточной точностью, и это обосновывает необходимость проведения классификации ландшафтного покрова. На карте в Приложении 8 видно, что местами индексы с высокими значениями, которые должны характеризовать растительный покров, покрывают даже водную поверхность.

Как уже было отмечено ранее, индексы NDVI и RVI являются взаимодополняющими и характеризуют разные типы леса: хвойные и мелколиственные, но сопоставимы по густоте. По карте ландшафтного покрова были выделены участки лесов, различающиеся по густоте, которым была задана количественная характеристика биопродуктивности.

Результаты количественной оценки ландшафтных функций по производству древесины представлены на карте в Приложении 9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теоретико-методологических основ концепций ландшафтных функций и экосистемных услуг проведен анализ состава ландшафтных функций тестового участка в Кондинском полесье и разработана методика количественной оценки древесно-ресурсных ландшафтных функций с использованием открытых материалов дистанционного зондирования Земли. По результатам исследования сделаны следующие выводы.

Концепция экосистемных услуг является гибкой и не устанавливает жестких рамок оценки ландшафтных функций. Основная идея концепции – сохранение природных благ посредством их учета.

Под ландшафтной функцией подразумевается роль, выполняемая структурой или процессом экосистемы на благо общества. В основу оценки ландшафтных функций может быть положена как структура, так и процесс. Доступность и возможность измерения индикатора ландшафтной функции является немаловажным критерием, который определяет, что именно будет измерено: структура или процесс.

Классификация и состав функций, требующих контроля и учета, разрабатывается на каждую территорию индивидуально. Критериями являются цель проведения оценки; природные особенности территории; интересы, запросы и предпочтения целевой аудитории и заинтересованных сторон.

Методики количественной оценки подбираются индивидуально на каждый индикатор в зависимости от возможности его количественного измерения, масштабируемости.

Важными критериями выбора индикатора является его применимость, достоверность и научная обоснованность индикатора, а также факт, что он отражает функцию, в которой заинтересована хотя бы одна вовлеченная в социо-экологическую систему сторона.

В качестве прокси индикатора древесно-ресурсной функции могут использоваться вегетационные индексы, рассчитанные по данным ДЗЗ.

Применение спектральных и радарных вегетационных индексов в комплексе позволяет проводить более точное картографирование индикаторов древесно-ресурсной ландшафтной функции в таежных условиях.

Спектральный и радарный вегетационные индексы, характеризующие разные типы леса, могут быть соизмеримы по густоте леса.

Индикаторы не несут количественной информации по выполняемой ландшафтом функции и требуют интерпретации с применением дополнительных полевых или удаленных исследований.

Количественная оценка ландшафтных функций является более достоверной, когда используются не только индикаторы, но и карта ландшафтного покрова. Ландшафтный покров позволяет уточнять границы территорий, выполняющих функцию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m" (AW3D30). URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm> (Accessed on: 2020-06-25)
- Boyd J., Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units // *Ecological Economics*, No. 63, 2007. pp. 616–626.
- Burkhard B., Maes J. *Mapping Ecosystem Services*. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. 374 pp.
- Canty M.J. *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing: with Algorithms for ENVI/IDL*. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009. 458 pp.
- Castree N., Demeritt D., Liverman D., Rhoads B. *The companion to environmental geography*. Oxford: Blackwell, 2009. 588 pp.
- Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed // *Biological Conservation*, No. 141, 2008. pp. 350-352.
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., Farber S., Grasso M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? // *Ecosystem Services*, No. 28, 2017. pp. 1-16.
- de Groot R.S. *Functions of Nature. Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Groningen: Wolters-Noordhoff, 1992. 317 pp.
- de Groot R.S., et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making // *Ecological Complexity*, No. 7, 2010. pp. 260-272.
- Download SNAP // STEP. Science toolbox exploitation platform. URL: <https://step.esa.int/main/download/> (Accessed on: 2020-06-25)
- EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Accessed on: 2020-06-25)
- ESA Copernicus Open Access Hub. URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (Accessed on: 2020-06-25)
- Esri: CIS. URL: <https://www.esri-cis.ru/> (Accessed on: 2020-06-25)

- Filipponi F. Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow // Proceedings, No. 18, Nov 2019.
- Flores-Anderson A.I., Herndon K.E., Thapa R.B., Cherrington E. The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation. 1st ed. Huntsville: SERVIR, 2019.
- Georgiou S., Turner R. Valuing Ecosystem Services: the case of multi-functional wetlands. London: Routledge, 2008. 229 pp.
- Haines-Young R., Potschin M.B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. 2018.
- Kumar S.D., Rao S.S., Sharma J.R. Radar Vegetation Index as an Alternative to NDVI for Monitoring of Soyabean and Cotton // Indian Cartographer, Vol. XXXIII, 2013.
- Luca Congedo. From GIS to Remote Sensing // YouTube. URL: <https://www.youtube.com/user/fromgists> (Accessed on: 2020-06-25)
- Maes J., Crossman N.D., Burkhard B. Mapping ecosystem services // In: Routledge Handbook of Ecosystem Services / Ed. by Potschin P., Haines-Young R., Fish R., Turner R.K. London: Routledge, 2016. pp. 188-204.
- Orfeo-toolbox. URL: <https://www.orfeo-toolbox.org/> (Accessed on: 2020-06-25)
- van Oudenhoven A., Schröter M., Drakou G., Geijzendorffer I., Jacobs S.E.A. Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision // Ecological indicators, No. 95(1), 2018. pp. 417-426.
- Potschin M., Haines-Young R. Defining and measuring ecosystem services // In: Routledge Handbook of Ecosystem Services / Ed. by Potschin M., Haines-Young R., Fish R., Turner R.K. London and New York: Routledge, 2016. pp. 25-44.
- QGIS. Свободная географическая информационная система с открытым кодом. URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 2020-06-25)
- Richards A.J. Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. 5th ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

- Richards A.J. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1999. p. 240 pp.
- TEEB: Mainstreaming the Economics of Nature. TEEB ed. Malta: Progress Press, 2010. 49 pp.
- Training Course: Remote Sensing for Forest Cover Change Detection // SERVIR Global. [2017]. URL: <https://www.servirglobal.net/Global/Articles/Article/2549/keeping-watch-over-forests-new-training-on-forest-cover-change-detection> (Accessed on: 2020-06-25)
- Virginia R.A., Wall D.H. Ecosystem function, principles of. Vol 2. // In: Encyclopedia of Biodiversity. San Diego: Academic Press, 2000. pp. 345-352.
- Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Разживин В.Ю. Прогностическое моделирование биопродуктивности в арктической зоне России с использованием спутниковых наблюдений // Исследование Земли из космоса, No. 3, 2015. с. 60-70.
- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том II. Природа и экология. Ханты-Мансийск – Москва. 2004. 152 с.
- Базовые продукты зондирования Земли космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой / Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н., Гусев М.А., Дагуров П.Н., Емельянов К.С., Захаров А.И., Кирбижекова И.И. // Исследование Земли из космоса, No. 5, 2014. с. 83-91.
- Балдина Е.А., Трошко К.А., Николаев Н.Р. Радиолокационные данные Sentinel-1 и возможности их обработки для дешифрирования форм рельефа острова Котельный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, No. 3, 2016. с. 78-85.
- Букварева Е., Замолотчиков Д.Г. Экосистемные услуги России. Т. 1. Услуги наземных экосистем. Прототип национального доклада. М. 2015. 185 с.
- Доклад Пленума Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам о работе его шестой сессии. Медельин. 18-24 марта 2018 г.

- Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.И. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985. 251 с.
- Ильина И.С., Лапшина Е.И., Махно В.Д., Романова Е.А. Растительность Западно-Сибирской равнины. Карта М 1:1500000. М.: ГУГК, 1976. 4 с.
- Карта ресурсного потенциала четвертичных отложений. Питиевые и технические воды. Масштаб 1:5 000 000. ФГУП ВСЕГЕИ, 2010.
- Карта четвертичных образований масштаба 1:200 000. Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, ПГУ "Главтюменьгеология", 1999.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия, 2004. 336 с.
- Козин В.В., Осипов В.А. Природопользование на северо-западе Сибири: опыт решения проблем. Тюмень: ТюмГУ, 1996. 167 с.
- Конюшков Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, No. 80, 2015. с. 26-49.
- Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экологическое планирование и управление, Вып. 2, 2008. с. 10-25.
- Маршруты. Сообщество путешествующих людей. URL: <https://www.marshruty.ru/maps/maps.aspx> (дата обращения: 2020-06-25)
- Мильков Ф.Н., Бережной А.В., Михно В.Б. Терминологический словарь по физической географии. М.: Высш. шк., 1993. 287 с.
- Москвина Н.Н., Козин В.В. Ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск: ГУИПП "Полиграфист", 2001. 40 с.
- Мышляков С.Г. Возможности радарных снимков Sentinel-1 для решения задач сельского хозяйства // Геоматика, No. 2, 2016. с. 16-24.
- Наговицын А.В., Фролова И.В. Основы ландшафтоведения. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2008. 156 с.
- Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2018 году. Природнадзор Югры, 2019.

- Опыт классификации космоснимка Sentinel-2a с помощью Semi-Automatic Classification Plugin в QGIS // GIS-Lab. URL: <https://gis-lab.info/qa/qgis-sacp-sentinel2a.html> (дата обращения: 2020-06-25)
- Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Мы живем не по средствам. Заявление совета. Совет по оценке экосистем на пороге тысячелетия, 2005. 24 с.
- Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Экосистемы и благосостояние человека. Синтез. Island Press, 2005. 154 с.
- Перелет Р.А. Экосистемный подход к управлению природопользованием и природоохранной деятельностью // Механізм регулювання економіки, No. 1, 2006. с. 36-53.
- Розенберг А.Г. Истоки современной истории экосистемных услуг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, Вып. 26, No. 1, 2017. с. 5-14.
- Сизов О.С., Идрисов И.Р., Юртаев А.А. Уточнение параметров классификации методом опорных векторов (SVM) при крупномасштабном ландшафтном дешифрировании на примере острова Белый (Карское море) // Исследование Земли из космоса, No. 2, 2020. с. 1-16.
- Силкин К.Ю. ДЗЗ при эколого-геологических исследованиях. Лекция 6. Применение вегетационных индексов // Сайт кафедры Экологической геологии Геологического факультета Воронежского Государственного университета. 2013. URL: <http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/RemoteSensing/Lecture06.pdf> (дата обращения: 2020-06-25)
- Теория и методология ландшафтного планирования / А.В. Хорошев, И.А. Авессаломова, К.Н. Дьяконов и др. М. 2019. 444 с.
- Учет и оценка экосистемных услуг (ЭУ). Опыт, особенно в Германии и России / Груневальд К., Бастиан О., Дроздов А., Грабовский В. (ред.). Bonn-Bad Godesberg: BfN, 2014. 373 с.
- Физическая география России. Vol 2. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. 304 с.

- Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.
- Хренов В.Я. Почвы Тюменской области: Словарь-справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 156 с.
- Численность охотничьих ресурсов в ХМАО-Югре // Департамент недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. URL: <https://depprirod.admhmao.ru/deyatelnost/ispolzovaniya-obektov-zhivotnogo-mira/chislennost-okhotnichikh-resursov-v-khmao-yugre/> (дата обращения: 2020-06-25)
- Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

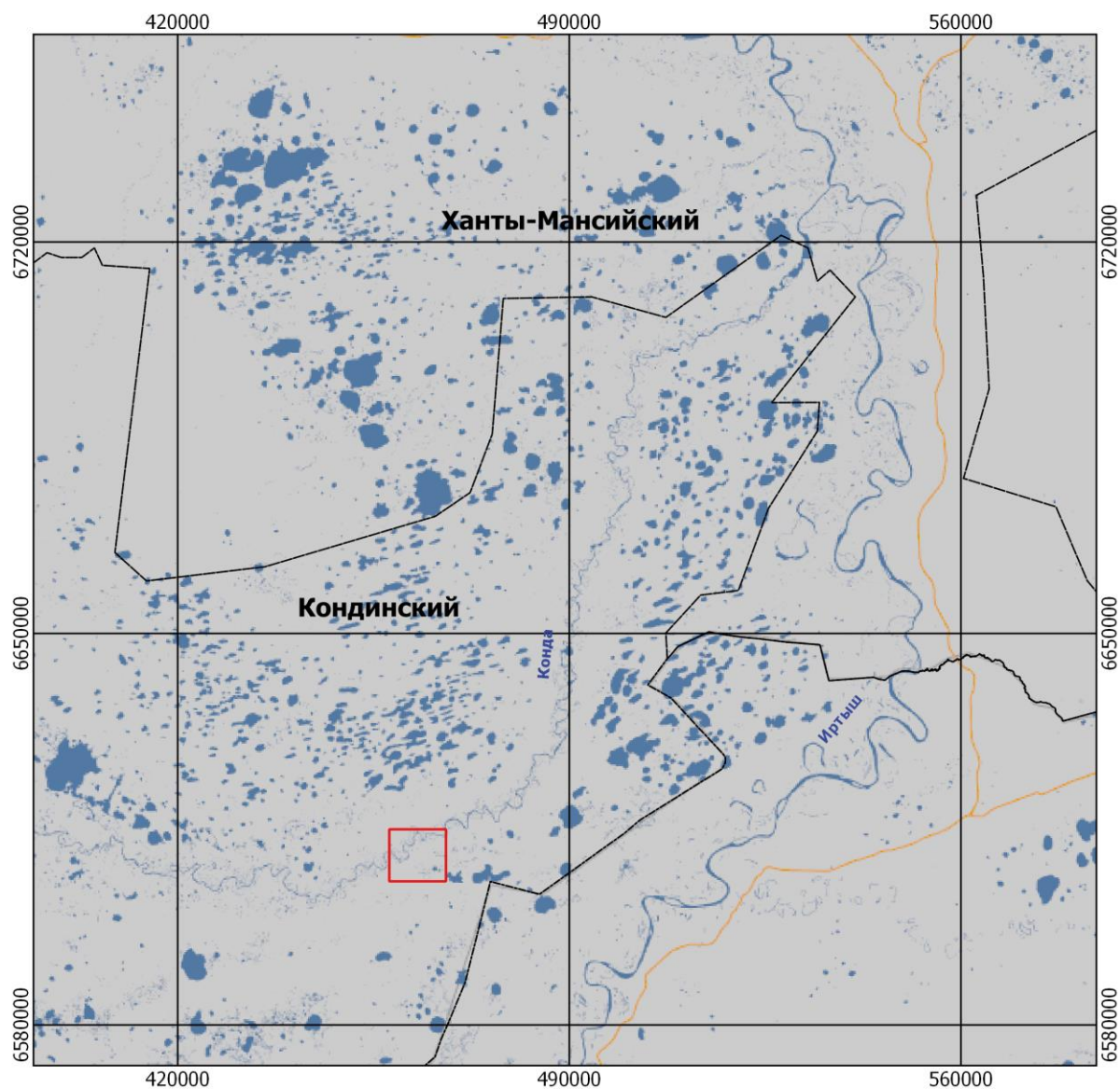
Рисунок 1.1. Каскадная модель экосистемных услуг.

Рисунок 3.1. Этапы дешифрирования данных ДЗЗ.

Рисунок 3.2. Возможности дешифрирования и картографирования ландшафтных функций с использованием открытых источников данных.

Рисунок 3.3. Алгоритм предобработки и классификации ландшафтного покрова по снимкам Sentinel-2 и Sentinel-1.

Ситуационная карта



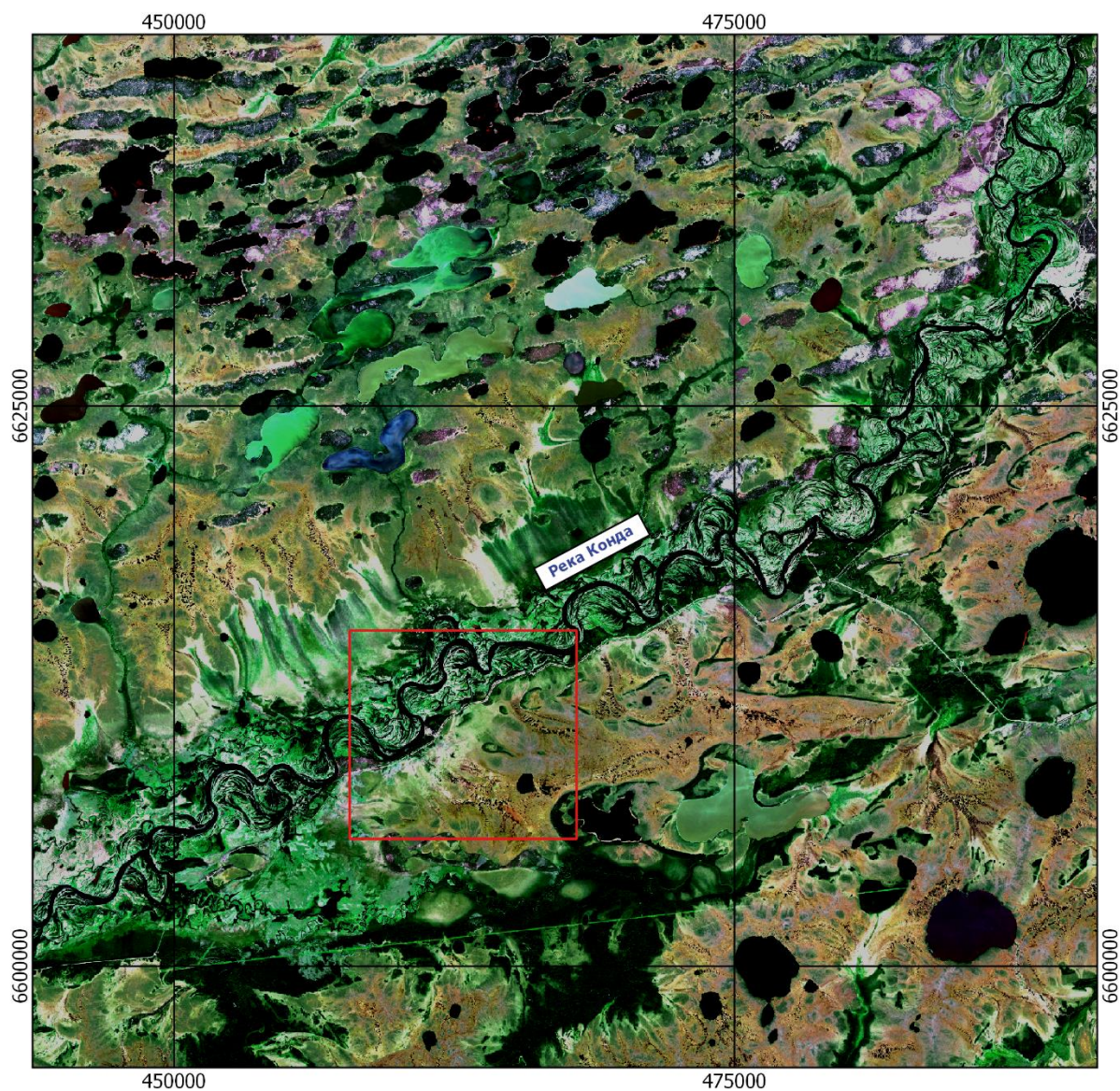
- Границы районов ХМАО - Югры
□ Тестовый участок

0 20 40 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Район исследования на снимке Sentinel-2 в естественных цветах



 Тестовый участок

0 5 10 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Приложение 3

Методика предварительной обработки космоснимков Sentinel-1 (GRD), Sentinel-2 и классификации ландшафтного покрова

1. Предварительная обработка снимков Sentinel-2

1) Конвертация каналов снимка в подходящий формат (Resampling)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Распаковать папку со снимками.

Открываем продукт (можно просто перетянуть MTD_MSIL1C.xml в окно слоев).

Raster - Geometric operations - Resampling - Resampling Parameters - By reference... B2 - Run

Raster - Subset - Выбирать необходимые каналы - Ok

File - Export - ENVI (но можно какой-либо другой необходимый формат, например Geotiff)

2) Склейка каналов снимка в один растр (Layer Stacking)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Raster Management - IDL - Layer Stacking - Import file - Ok - Reorder files (расположить каналы в нужной очередности) - Убедиться, что Pixel size в X и Y равен 10 - Выделяем все файлы - Enter Output Filename - Choose - Ok

3) Склейка растров и цветовая коррекция (Mosaicking)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Mosaicking - Seamless Mosaic - Add Scenes - Data Ignore Value - None - Order (поменять очередность) - Color Correction - Histogram Matching - Entire Scene - Export (указать путь сохранения) - Finish

4) Обрезка растра (Resize Data)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Raster Management - Resize Data - Spatial subset - ROI/EVF - Указать путь сохранения

5) Анализ главных компонент (Principal Components Analysis)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Transform - PCA Rotation - Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate - Covariance Matrix

Каналы открываем по-отдельности через правую кнопку: New Raster Color Slice

Чтобы вызвать свернувшийся график: Правой кнопкой на Slices - Edit Raster Color Slices...

6) Вычисление индексов (Band Math)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Band Algebra - Band Math - Прописать формулу, например float(b1)/float(b2) - Указать путь на каналы – ok

7) Объектная классификация – сегментация (LargeScaleMeanShift Segmentation)

Согласно руководству программы Orfeo toolbox (ОТВ) 7.1.0 необходимо использовать тип изображения uint32 (32 бита без знака).

Конвертировать изображение можно в программе ArcGIS Pro 2.5.1:

Правой кнопкой на растр - Данные – Экспорт растра – Указать путь сохранения – Тип пиксела – 32 бита без знака – Экспорт

Алгоритм в инструменте ОТВ 7.1.0.

Инструмент ОТВ может быть запущен двумя путями: через файл mapla.bat, содержащийся в корневой папке программы либо через адаптированный инструмент в среде QGIS.

Первый способ не тратит время на установку инструмента, поэтому он предпочтителен.

Запустить файл mapla.bat – LSMS – LargeScaleMeanShift – Отрегулировать параметры (например, для настоящего исследования были применены Spatial Radius = 5, Range Radius = 15, Minimum Segment Size = 50) – Указать путь сохранения векторного файла и вручную прописать формат, например .shp – Можно увеличить оперативную память RAM для ускорения процесса, например до 512 – Execute

Во вкладке Log отображаются все происходящие операции, в том числе ошибки, если они возникли.

2. Предварительная обработка снимков Sentinel-1

8) Орбитальная коррекция (Apply Orbit File)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Делается по данным ESA (программа сама подбирает данные). Ортокоррекция необязательна, но делает данные качественнее.

Radar - Apply Orbit File

9) Удаление теплового шума (Thermal Noise Removal)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Radar - Radiometric - S1 Thermal Noise Removal

10) Удаление пограничного шума (Border Noise Removal)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Radar - Sentinel-1 TOPS - S1 Remove GRD Border Noise

11) Радиометрическая калибровка (Radiometric Calibration)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Radar - Radiometric - Calibrate - Processing Parameters - Выделяем нужные поляризации, можно все - Output sigma0 band – Run

σ параметр подходит в целях вычисления количественных показателей.

Для системного проектирования предпочтительны значения, которые не зависят от покрытой местности – это β преобразование.

Для калибровки предпочтительны значения, которые расположены на одинаковом расстоянии – это γ преобразование.

12) Удаление спекл-шума (Speckle Filtering)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Radar - Speckle Filtering - Multi-temporal speckle filter

Методов удаления спекл-шума много. В настоящей работе был использован метод Lee Sigma. Это фильтр, вычисляющий стандартные отклонения (сигма) и фильтрующий данные на основе статистики.

В отличие от фильтра Гаусса или вагонного фильтра, фильтра Ли и других подобных сигма-фильтров сохраняет четкость изображения и детализацию, одновременно подавляя шум.

Многовременная фильтрация обеспечивает подавление спекл-шума с сохранением детальности изображений за счет применения большого числа снимков на одну и ту же территорию.

Спекл-фильтрация не рекомендуется, когда есть интерес к идентификации небольших пространственных структур или текстуры изображения, так как она может удалить такую информацию.

13) Радиометрическое выравнивание рельефа (Radiometric Terrain Flattening)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Radar - Radiometric - Radiometric Terrain Flattening - Выбрать все поляризации - Run

14) Геокодирование (Geometric Terrain Correction)

Алгоритм в программе SNAP 7.0.

Исходные снимки зеркально отражены (запад — справа, восток — слева), что связано с порядком нумерации пикселей при съёмке на нисходящем витке. На данном этапе они отзеркаливаются в верное положение.

Radar - Geometric - Terrain Correction - Range-Doppler Terrain Correction - UTM / WGS 84 (Automatic) – Run

Полезным действием после завершения предобработки снимка будет его **обрезка**.

Raster - Subset - Spatial Subset - В обзорном окне меняем область прямоугольника вручную либо во вкладке Geo Coordinates меняем экстенд, указав крайние точки по широте и долготе - Ok

File - Export - ENVI (но можно какой-либо другой необходимый формат, например Geotiff)

15) Вычисление индексов (Band Math)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Band Algebra - Band Math - Прописать формулу, например $\text{float}(b1)/\text{float}(b2)$ - Указать путь на каналы – ok

3. Комплексная объектно-пиксельная классификация ландшафтного покрова

16) Зональная статистика значений индексов в сегментах (Zonal Statistics)

Алгоритм в программе QGIS 3.4.15.

Зональная статистика – Указать растровый слой, содержащий значения, например NDVI – Указать векторный слой с сегментами – Перед префиксом прописать название рассчитываемого параметра – Статистики для расчета – Выбрать статистические операции – Выполнить

В результате в таблице атрибутов вектора с зонами появятся дополнительные поля.

17) Растеризация каналов (Полигон в Растр)

Алгоритм в программе ArcGIS Pro 2.5.1.

Инструменты – Конвертация – В растр - Полигоны в растр - Выбираем поле значений - Выходной растр (указать вручную формат файла, например .tif) - Размер ячейки (указать растр, по аналогии с которым будет построено пространственное разрешение) - Запустить

18) Склейка каналов (Layer Stacking)

Алгоритм в инструменте Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) 6.4.0.2 в среде QGIS 3.4.15.

Band set - Выделяем все каналы - Выставляем в нужной очередности - Create raster of band set - Run

19) Подготовка участков обучения (Regions of Interest)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

При создании ROI полезно пользоваться Cursor Value - красный значок «геолокации» в верхней панели.

Созданные ROI должны быть интегрированы в классифицируемое изображение (идут подгруппой под слоем).

ROI не должны пересекаться по спектрам, поэтому могут быть разделены с помощью масок.

ROI можно выделять, визуальнo опираясь на комбинации каналов, а также отдельных каналов из изображения PCA (открываются через New Raster Color Slice).

Класс можно также выделить по Scatter Plot (дает спектрограмму снимка в пределах экрана).

После удачного выделения нажать правой кнопкой - Export Class to ROI (автоматически попадет в активную классификацию).

Чтобы удалить нарисованный участок, пролистать вниз в ROI tool под заголовком Record Count, найти нужный ROI и нажать крестик (удалить). Либо экспортировать в .shp и

откорректировать в других ГИС. Экспорт проводится через ROI tool - File - Export ROIs to Shapefile (лучше экспортировать классы по-отдельности).

Слияние двух классов ROI производится через Options - Merge (Union/Intersection) ROIs - выбрать нужные - Ok

Операция ROI tool – Geometry - Позволяет нарисовать области. Например, для больших участков используется полигон, для дорог - полилиния, для кривых узких мест – точки. Можно зажать левую кнопку мыши, получится рисование непрерывной линией.

Операция ROI tool – Pixels - Является кистью. Можно увеличить размер, меняя значения пикселей.

Операция ROI tool - Neighboring Pixels - Выделяет соседние пиксели со схожим значением. Можно регулировать параметр соседства.

Операция ROI tool - Thresholds – Позволяет выделить области по порогам значений, которые, например, можно взять из графика спектра PCA.

20) Обучаемая классификация (Supervised Classification)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Classification - Supervised Classification - Support Vector Machine Classification – Select Classes From Regions (выбрать ROI с классами) – Kernel Type – Radial Basis Function – Gamma in Kernel Function – 0.1 – Penalty Parameter – 100,0 – Указать пути сохранения результата классификации и файла правил - Ok

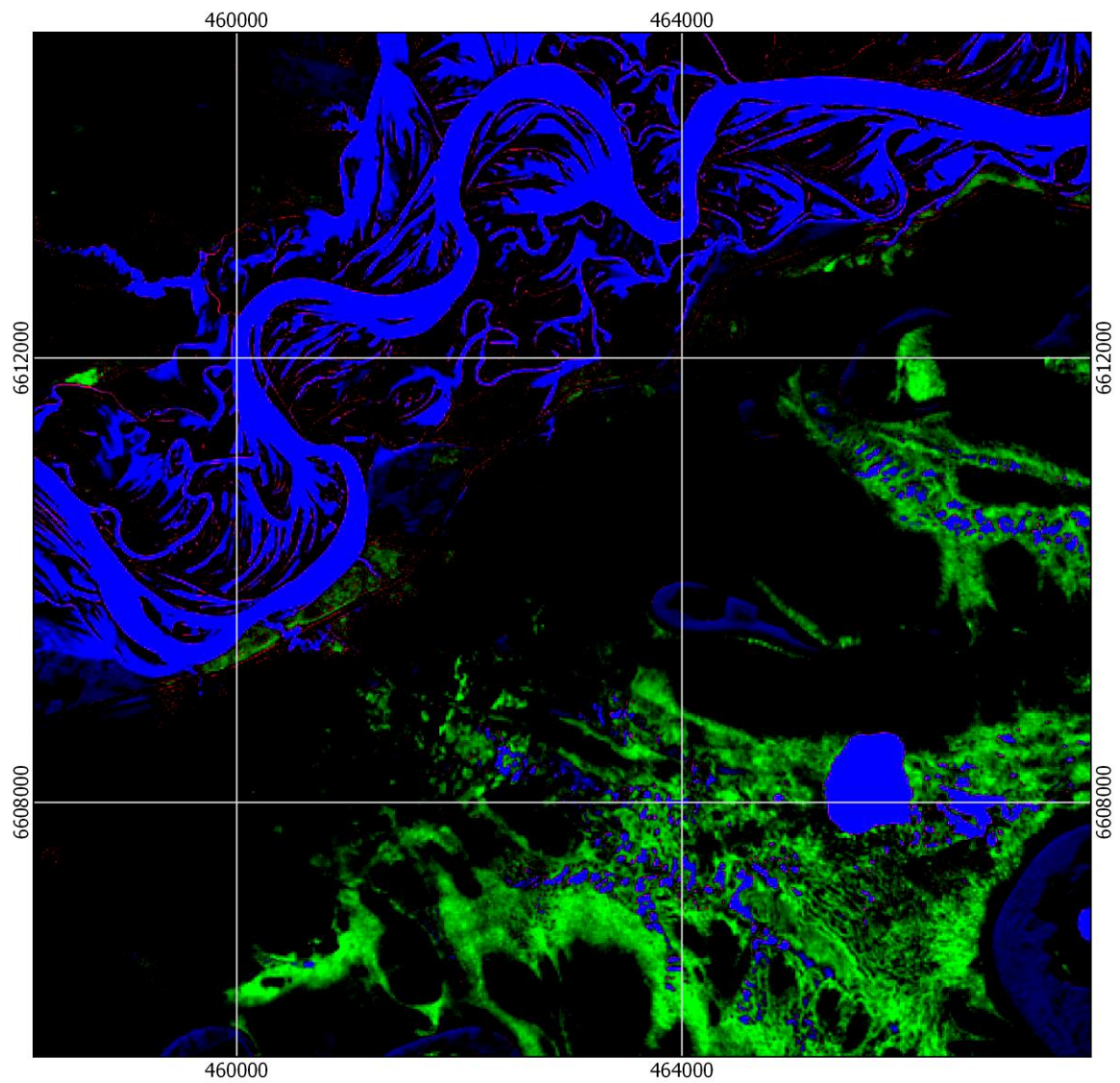
21) Оценка точности (Accuracy)

Алгоритм в программе ENVI 5.3.

Classification - Post Classification - Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs

Снимок Sentinel-2, обработанный методом главных компонент.

Каналы 432, естественные цвета

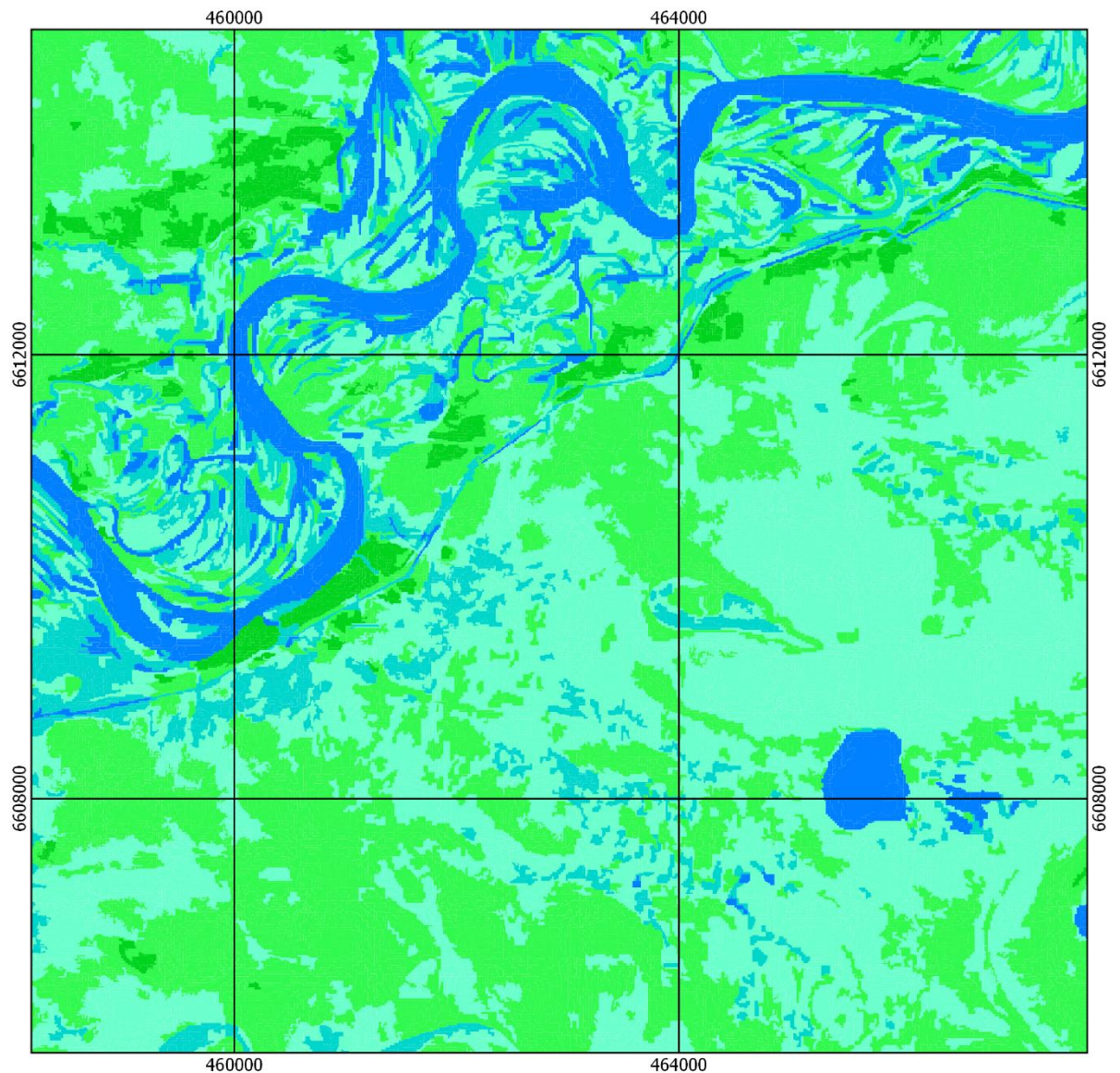


0 1 2 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Карта оптического вегетационного индекса



NDVI

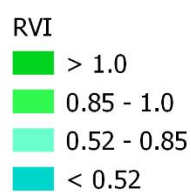
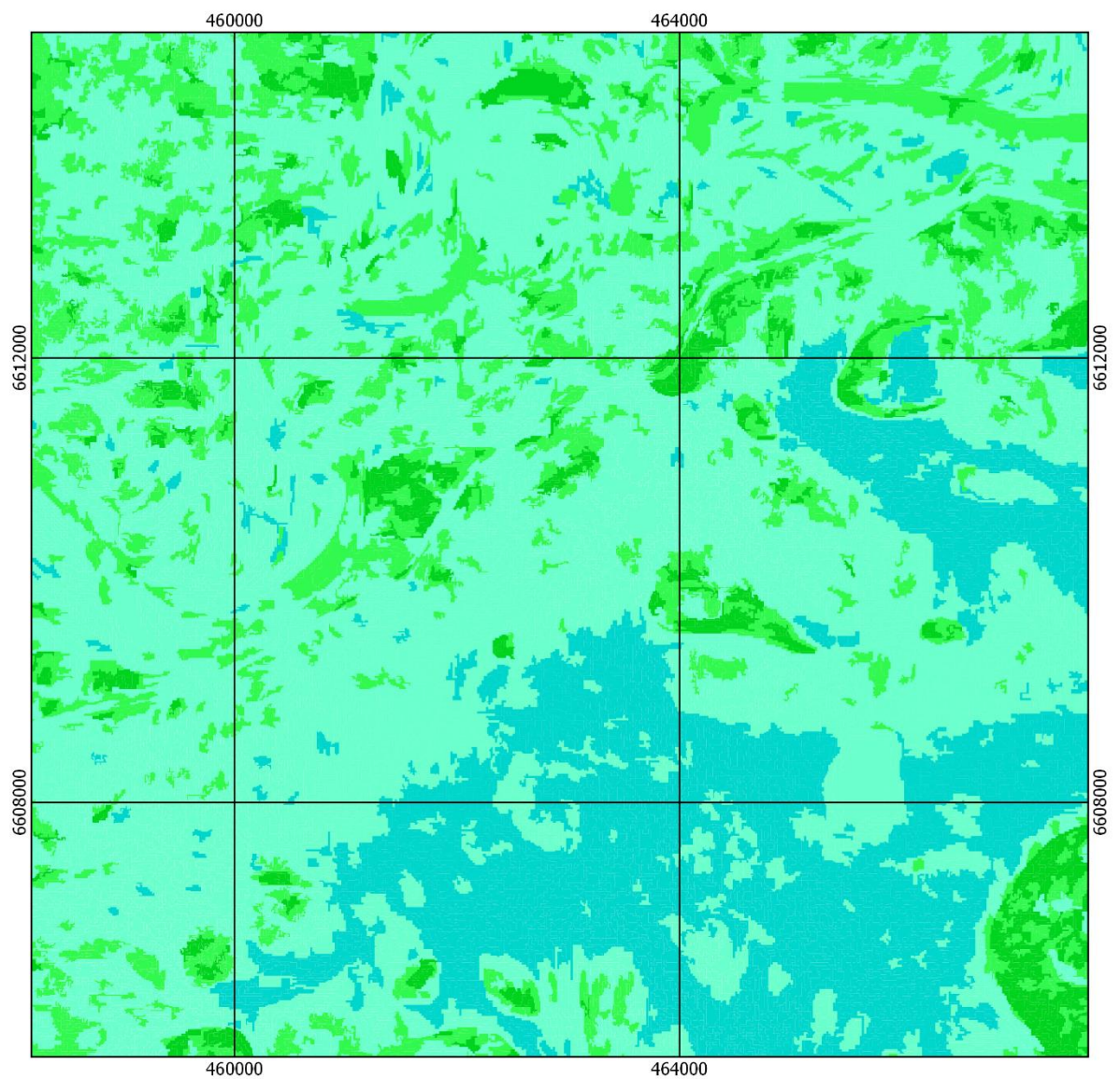
- > 0.73
- 0.65 - 0.73
- 0.57 - 0.65
- 0.3 - 0.57
- < 0.3

0 1 2 km



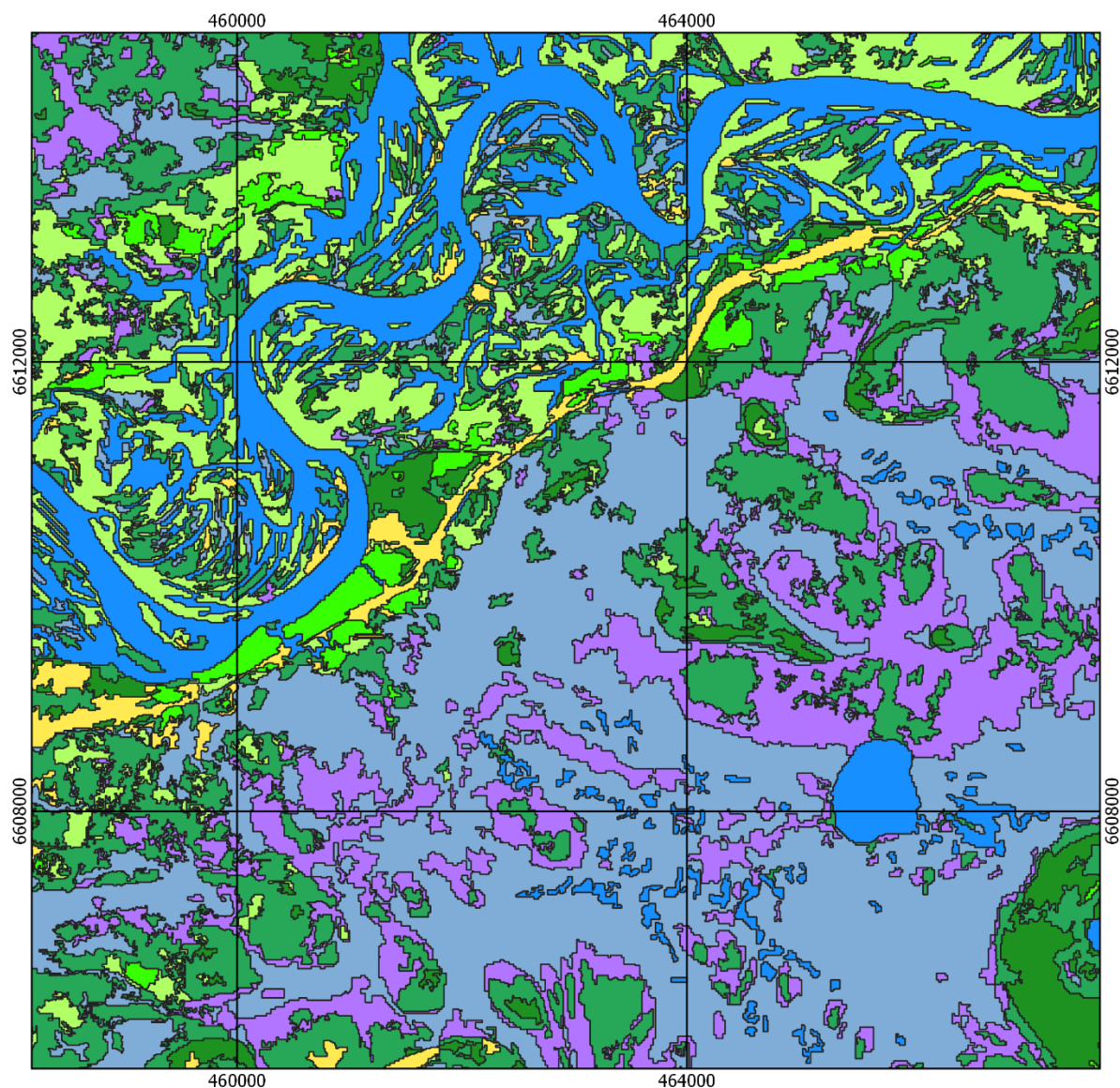
Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Карта радарного вегетационного индекса



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Карта ландшафтного покрова



Классы ландшафтного покрова

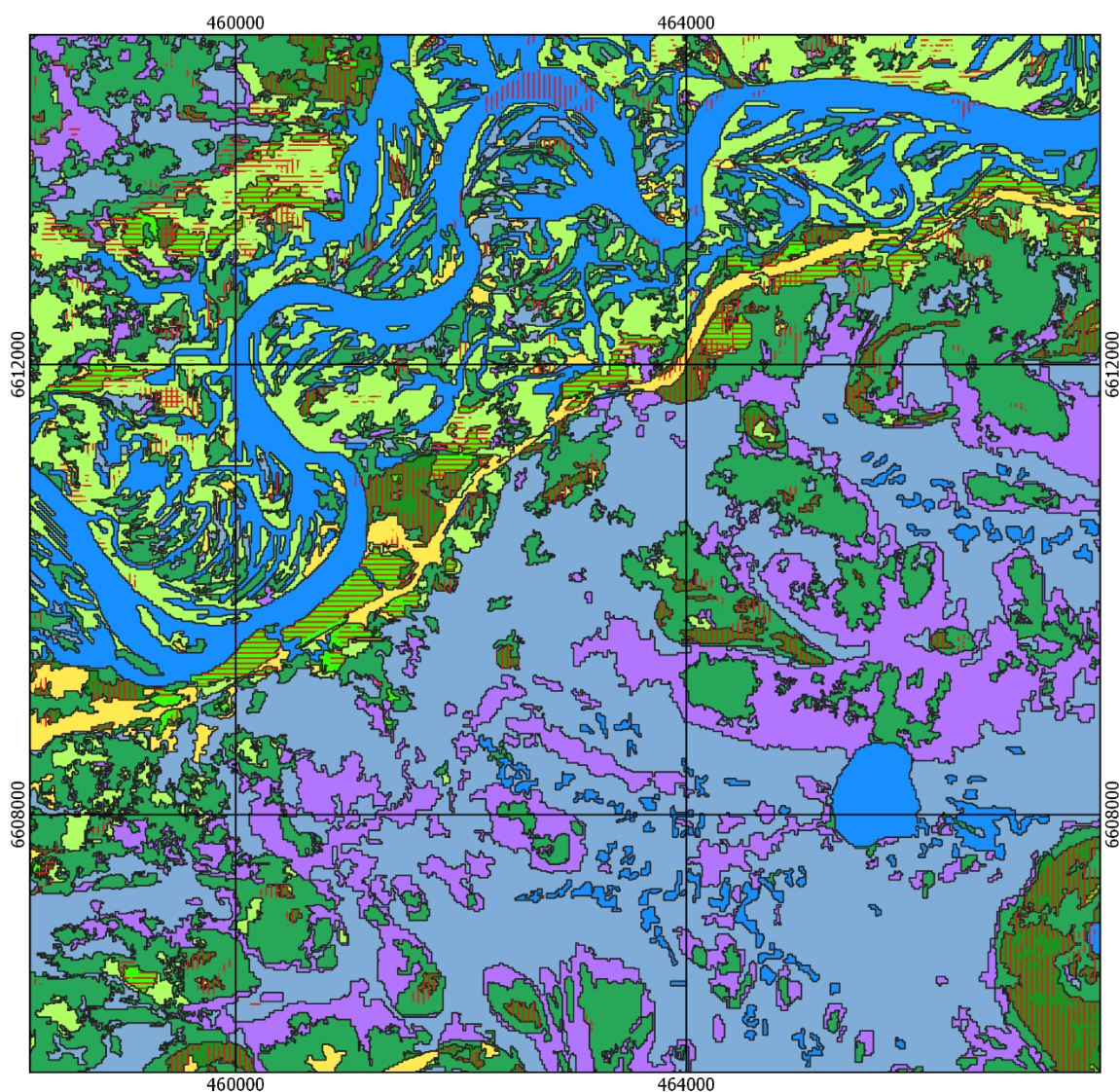
- Поверхностные воды
- Травяно-мохово-кустарничковые
- Лес хвойный густой
- Лес хвойный редкий
- Лес мелколиственный густой
- Болото водораздельное
- Болото водосборное
- Участки без растительности

0 1 2 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Карта распределения высоких значений вегетационных индексов в ландшафтном покрове



NDVI

▬▬▬ > 0.73

RVI

▬▬▬▬▬ > 1.0

Классы ландшафтного покрова

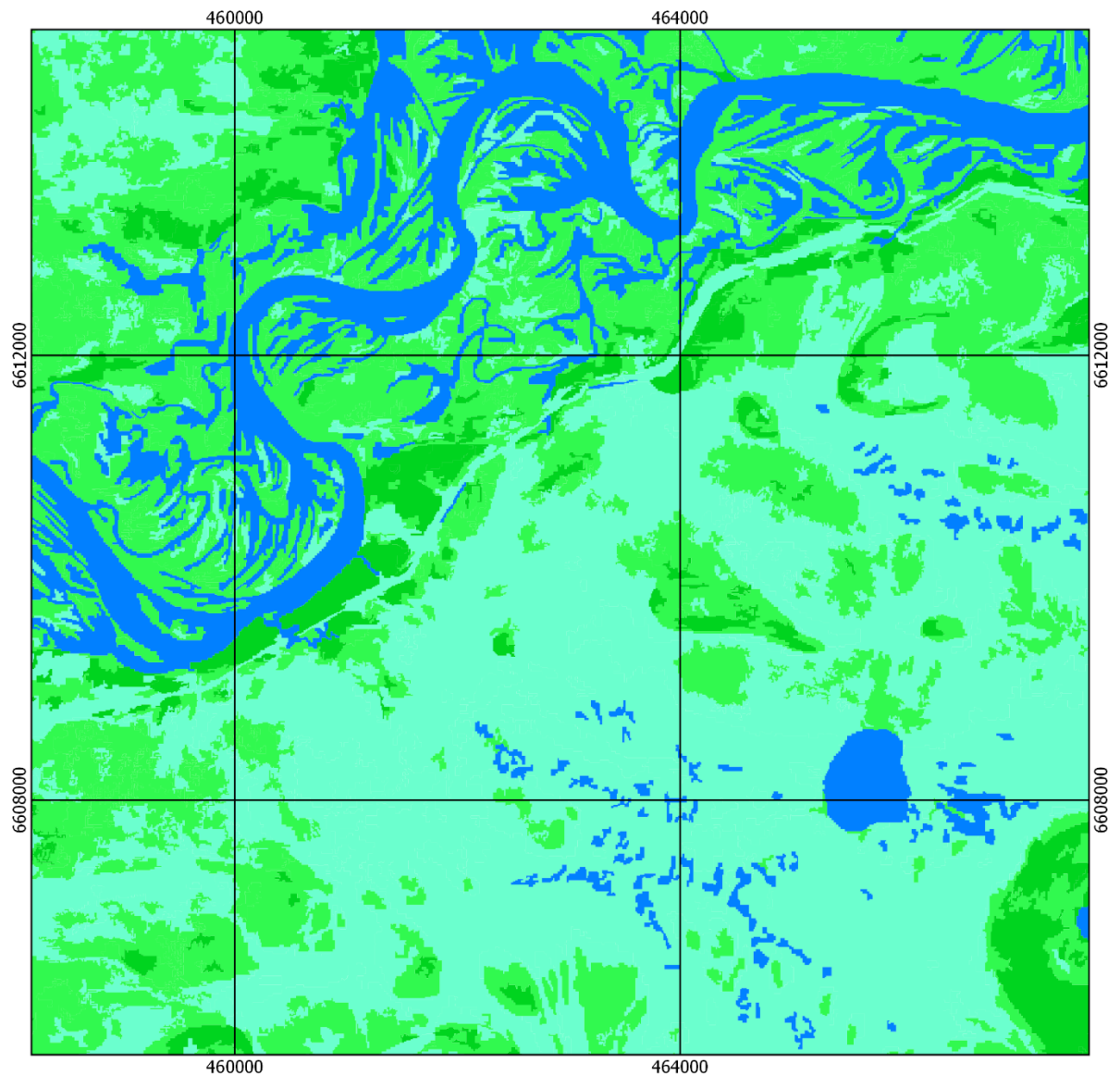
- ▬ Поверхностные воды
- ▬ Травяно-мохово-кустарничковые
- ▬ Лес хвойный густой
- ▬ Лес хвойный редкий
- ▬ Лес мелколиственный густой
- ▬ Болото водораздельное
- ▬ Болото водосборное
- ▬ Участки без растительности

0 1 2 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N

Карта ландшафтных функций



Биопродуктивность лесов, т/га

- > 9.0
- 8.0 - 9.0

0 1 2 km



Система координат WGS84
Проекция UTM zone 42N