

**Д.В. Морев, В.А. Потапова, А.М. Ярославцев,
Ю.Л. Мешалкина, М.Р. Шаяхметов**

**ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИИ,
ПОЧВОВЕДЕНИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ
ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Москва
2024

УДК 528.8
ББК 26.113.4
О75

Рецензенты:

- К.П. Хайдуков** — кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и общего земледелия им. профессора В.Д. Мухи, ФГБОУ ВО «Курский ГАУ»
- А.В. Чинилин** — кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела агроэкологической оценки почв и проектирования агроландшафтов ФГНБУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

Авторы:

Морев Д.В. (РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, занятия 1–8);
Потапова В.А. (РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, занятия 1–8);
Ярославцев А.М. (РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, занятие 9);
Мешалкина Ю.Л. (МГУ им. М.В. Ломоносова, занятие 10);
Шаяхметов М.Р. (Омский ГАУ, введение, главы 1–4);

О75 Основы дистанционного зондирования в экологии и природопользовании. Практикум: учебно-методическое пособие / Д.В. Морев, В.А. Потапова, А.М. Ярославцев [и др.]; под редакцией Д.В. Морева. — М.: РГАУ — МСХА, 2024. — 136 с.: ил.

ISBN 978-5-6049459-7-1

В учебно-методическом пособии авторами предлагаются набор типовых задач в области экологии и природопользования и инструменты для их выполнения. Используемые в практикуме программы включают открытые программы QGIS и SAGA GIS, а также язык программирования R.

В рамках заданий обучающимся предлагается освоить работу с космическими снимками от этапа их получения с помощью основных открытых источников, а также их визуализацию и различные варианты обработки, включая построение цифровых моделей рельефа, анализ крутизны и экспозиции склонов, дешифрирование и др. — до подготовки картосхем и их интерпретации.

Учебное пособие соответствует программам курсов «ГИС-технологии и анализ данных дистанционного зондирования в системах экологического мониторинга и проектирования» и «Основы дистанционного зондирования» и предназначено для студентов очной формы обучения по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», программе курса «Цифровые технологии в АПК».

УДК 528.8
ББК 26.113.4

ISBN 978-5-6049459-7-1

© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. История развития дистанционного зондирования Земли. Современные подходы к спутниковому мониторингу.	6
Глава 2. Применение данных дистанционного зондирования при мониторинге плодородия почвенного покрова	11
Глава 3. Обзор современных беспилотных летательных аппаратов	14
Глава 4. Тематическое дешифрирование космических снимков.	23
<i>Занятие 1. Знакомство с открытыми источниками данных дистанционного зондирования Земли.</i>	<i>31</i>
1.1. Геологическая служба США (USGS).	31
1.2. Европейское космическое агентство (ESA)	35
1.3. Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA)	37
<i>Занятие 2. Получение данных SRTM (радарная топографическая съемка) и импорт в программу QGIS.</i>	<i>40</i>
2.1. Описание радарной топографической съемки SRTM	40
2.2. Получение снимков SRTM	41
2.3. Подключение модуля QMS.	45
2.4. Импорт растровых изображений SRTM в проект QGIS	47
<i>Занятие 3. Подготовка растровых изображений региона исследований</i>	<i>49</i>
3.1. Объединение тайлов	49
3.2. Корректировка системы координат и картографической проекции.	50
3.3. Обрезка растра по границам субъекта.	53
<i>Занятие 4. Геоморфологические исследования.</i>	<i>59</i>
4.1. Построение карты рельефа.	59
4.2. Построение карты и анализ экспозиции склонов.	64
4.3. Построение карты и анализ крутизны склонов	66
<i>Занятие 5. Выделение эрозионно опасных участков, требующих специальных почвозащитных мероприятий или непригодных для ведения сельского хозяйства.</i>	<i>68</i>
5.1. Построение растровой карты эрозионно опасных участков	68
5.2. Построение векторной карты эрозионно опасных участков.	69
5.3. Расчет площади эрозионно опасных участков	70
<i>Занятие 6. Определение площади водосбора реки</i>	<i>75</i>
6.1. Избавление от замкнутых понижений в ЦМР	75
6.2. Создание растра водотоков.	78

6.3. Расчет водосборной площади реки (поймы)	81
6.4. Картографическое представление данных	82
<i>Занятие 7. Контрастирование снимков и расчет NDVI</i>	<i>85</i>
7.1. Выгрузка снимков Landsat	85
7.2. Контрастирование и расчет NDVI	89
7.3. Создание макета карты	92
<i>Занятие 8. Классификация и дешифрирование.</i>	<i>93</i>
8.1. Загрузка снимка и подготовка выборки для классификации	93
8.2. Классификация без обучения ISODATA	97
8.3. Классификация с обучением	98
<i>Занятие 9. Моделирование риска эрозии с использованием управления RUSLE</i>	<i>99</i>
9.1. Определение и контекст	99
9.2. Модель RUSLE	99
9.2.1. Климатический фактор: агрессивность осадков.	101
9.2.2. Топографический фактор: длина склона и градиент	101
9.2.3. Типы почв и факторы почвенного покрова	102
9.2.4. Пределы рассматриваемого метода	103
9.3. Программное обеспечение и данные.	104
9.3.1. Программное обеспечение	104
9.3.2. Загрузка данных о климатических осадках в мире	104
9.3.3. Шаг 1. Расчет R-фактора	104
9.3.4. Шаг 2. Расчет коэффициента LS.	105
9.3.5. Шаг 3. Подготовка K-фактора	107
9.3.6. Шаг 4. Создание C и P-факторов	111
9.3.7. Шаг 5. Потеря почвы. Расчет из уравнения RUSLE.	113
<i>Занятие 10. Составление карт распределения количественных свойств методом обратных расстояний и ординарным кригингом в среде R</i>	<i>115</i>
10.1. Описание данных и их подготовка	115
10.2. Базовые операции при работе в среде R	117
10.3. Основные операции при работе с пространственными данными	122
10.4. Интерполяция точечных данных методом обратных расстояний.	123
10.5. Подбор параметров вариограммы и интерполяция точечных данных методом ординарного кригинга	126
Библиографический список	134

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития земледельческой науки характеризуется высоким уровнем дифференциации вариантов агротехнологий с учетом неоднородности почвенного покрова, непредсказуемого наложения очагов сорняков, вредителей и болезней, что требует весьма оперативно-го изменения ранее принятой технологии обработки почвы и ухода за посевами. Современные материалы дистанционного зондирования Земли (МДЗЗ) позволяют достаточно четко и оперативно отражать любые изменения в состоянии почвы и посевов полевых культур, которые могут служить сигналом для выбора и оптимизации элементов наилучших доступных технологий, а также для осуществления мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения [3, 4].

Государственная программа развития АПК на период до 2025 года приоритетной задачей ставит: «совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса, ориентированной на быструю адаптацию к требованиям научно-технического прогресса». В связи с этим сельскохозяйственный рынок нуждается в специалистах, обладающих современными компетенциями в области применения геоинформационных технологий для оперативного принятия решений при производстве продукции сельского хозяйства [2, 8].

Ее ядром должно стать широкое использование спутниковой информации и данных с беспилотных летательных аппаратов о состоянии не только каждого самостоятельного землевладения, но и любого поля, полигона, земельного массива, используемых и неиспользуемых угодий.

В современных условиях оценка состояния земельных фондов страны и разработка мероприятий по повышению плодородия земель сельскохозяйственного назначения может быть проведена специалистами региональных агрохимических и мониторинговых центров лишь на основе дешифрирования получаемых различных пространственных данных [6].

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СПУТНИКОВОМУ МОНИТОРИНГУ

Развитие дистанционного зондирования Земли получило освещение в трудах П.Я. Райзера (1933, 1963), П.Д. Дузя (1944, 1981), А.И. Шершеня (1958), В.П. Глушко (1981), С.С. Шульца (1984) и др. Опубликованы работы, в которых отдельные разделы посвящены развитию и становлению географических информационных систем, дан обзор аэрокосмических исследований применения снимков для изучения антропогенного воздействия на природную среду и решения эколого-географических задач [Тикунова, 1991; Берлянт, 1996; Книжников, 1997; Макаров, Новаковский, Чумаченко, 2002; Книжникова, Кравцова, Тутубалина, 2004; Догерти, 2006], приведена периодизация развития географических информационных систем [Дмитриева, Шитова, 2001].

Исследование возможностей мониторинга окружающей среды со спутников очень активно ведется на протяжении последних десятков лет научными организациями и группами различных стран (NASA, «Роскосмос», «Совзонд» и др.). Постоянное совершенствование приборов дистанционного зондирования привело к расширению возможностей по глобальному наблюдению за окружающей средой. Данные дистанционного зондирования используются для обнаружения и оценки последствий природных катаклизмов, пожаров, контроля лесных вырубок, мониторинга изменений границ природных экосистем, океанических исследований, геологических наблюдений и решения целого ряда других задач. Важным направлением исследований является разработка систем мониторинга сельскохозяйственных земель, о чем говорится в работах российских и зарубежных ученых [Гавеман, 1933, 1937; Гарелик, Грин, Цветкова, 1932; Глушкова, 2003; Гоникберг, 1983; Гонина, Зубова, 1980, 1982, 1987; Господинов, 1958; Грищенко, 1958].

Сельское хозяйство в современных условиях нуждается во внедрении новых технологий, позволяющих минимизировать затраты на получение максимального урожая. Наблюдение за состоянием сельскохозяйственных угодий является одной из главных составляющих регулирования всего агропромышленного комплекса.

В целях мониторинга плодородия почвенного покрова традиционно использовались аэрофотоснимки, но космическая съемка имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Облик агрофитоценозов меняется очень быстро, и все перемены необходимо оперативно отражать в картах и специализированных базах данных, которые, со своей стороны, и должны помогать в текущей работе местным административным органам, что на примере современных ГИС технологий является вполне решаемой задачей [28, 29].

Накопленный в мировой практике опыт почвенного дешифрирования космических снимков свидетельствует о реальной возможности использования космической информации в целях освоения поконтурной мелиорации. Наиболее эффективной она стала с 2009 года после запуска Германией системы из пяти спутников RapidEye, поскольку ими ежедневно производится мультиспектральная съемка высокого разрешения 5 м в пикселе всей планеты. Подобные космические аппараты (КА) стали запускать на орбиту Земли и другие страны. Ожидается в ближайшие годы запуск такой же по периодичности российской космической системы, согласованной с системой ГЛОНАС [1, 12].

Использование ежесуточной космической информации о состоянии земель сельскохозяйственного и лесного назначения достаточно детального масштаба создает базу снимков различного периода съемки и степени облачности, необходимую для выявления непредсказуемых откло-

нений от среднемноголетних условий на любом массиве во все сезоны сельскохозяйственных работ. Это позволяет учесть изменения влияния ряда внешних факторов на характер поглощения солнечной радиации биогеоценозами и агроценозами, учтенный на этапе составления offline-картограмм поконтурной дифференциации агротехнологии на основе анализа ранее полученных снимков данного землепользования. Такие картограммы отражают типичное для данного хозяйства состояние уровня грунтовых вод, чередование культур в севообороте, степень солонцеватости или кислотности почв, содержание гумуса и состояние пахотного и подпахотного горизонтов почвы. Эти показатели определяют рекомендуемую технологию основной и предпосевной обработки, дозы и способ внесения пестицидов, удобрений или мелиорантов [7].

Возможная точность при реализации дифференцированной агротехнологии обусловлена с одной стороны типом космического аппарата, его разрешающей способностью, числом учитываемых диапазонов солнечного спектра и периодичностью съемки, а с другой — готовностью программного комплекса для составления картограмм и их согласованностью с возможностью практического осуществления оперативного изменения технологии обработки почвы и вспомогательных элементов повышения продуктивности возделываемых культур.

Такой подход, как показывает международный опыт, обеспечивает значительный экономический эффект и, самое главное, позволяет обеспечить воспроизводство почвенного плодородия и уровень экологической чистоты сельскохозяйственной продукции. Судя по публикациям германских специалистов, фермер даже на полях с относительно однородным почвенным покровом, внедряя элементы точного земледелия при использовании минеральных удобрений и средств защиты урожая от сорняков, вредителей и болезней, реально добивается повышения урожая на 30% при одновременном снижении затрат на минеральные удобрения на 30% и на пестициды на 50%. [12].

Для реализации технологии поконтурного земледелия необходимы современная сельскохозяйственная техника, управляемая бортовой ЭВМ и способная дифференцированно проводить агротехнические операции, приборы точного позиционирования на местности (GPS-приемники), технические системы, помогающие выявить неоднородность поля.

Среди этих условий, по нашему мнению, наименее отработанной является методика оперативного целевого дешифрирования материалов дистанционного зондирования сельскохозяйственных посевов с выявлением существенных отклонений состояния поля от типового агротехнологического плана, составленного на основе космических снимков данного землепользования прошлых лет (рис. 1).



Рисунок 1. Обзор наиболее распространенных спутников и условия получения их данных

На рисунке 1 приведен обзор наиболее распространенных на данный момент группировок спутников и условия получения их данных. Наиболее перспективными являются мультиспектральные изображения космического аппарата (КА) Sentinel 2, имеющего в своем оборудовании камеры с диапазоном съемки от 0,43 до 2,323 мкм.

Спутники SENTINEL-2 (A/B) с сенсором MSI (Multispectral Instrument) являются частью программы Copernicus Европейского космического агентства (European Space Agency, ESA). Спутник SENTINEL-2A запущен 23 июня 2015 года, а SENTINEL-2B — 07 марта 2017 года. Орбиты обеспечивают возможность съемки в средних широтах Северного полушария с частотой каждые 2–3 сут. Спутники имеют по 13 каналов, из них четыре с разрешением 10 м/пикс в видимом и ближнем ИК (номера каналов 2–4, 8), шесть (номера 5–7, 8а, 11, 12) с разрешением 20 м/пикс в ближнем и среднем ИК диапазонах и еще три канала (1, 9, 10) с разрешением 60 м/пикс. Панхроматический канал отсутствует. Наибольший практический интерес представляют каналы R, G, B, NIR с разрешением 10 м/пикс, обеспечивающие сразу, без преобразований типа pan-sharpening, разрешение более высокое, чем дают снимки LANDSAT.

Исходя из диапазонов съемки данного КА можно судить о широком использовании получаемых данных в различных отраслях народного хозяйства. За последние двадцать лет геоинформационные технологии проникли во все сферы жизни человека, и сельское хозяйство — не исключение. В России и в европейских странах активно разрабатываются технологии, позволяющие минимизировать затраты, для получения максимального урожая сельскохозяйственных культур.

В 2012 году научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) ОАО «Российские космические системы» совместно с Хабаровским краевым центром информационных технологий и телекоммуникаций (ХКЦ ИТТ) выполнил исследование по заказу администрации города Хабаровска на тему «Оценка (определение) площадей, биоморфных форм (древесные, кустарниковые, травянистые) зеленых насаждений городского округа “Город Хабаровск”» [12].

В Институте космических исследований РАН в городе Москве разрабатывается система мониторинга сельскохозяйственных земель с использованием данных дистанционного зондирования. Основными используемыми космическими снимками в настоящее время являются данные среднего разрешения (250 м в пикселе) прибора MODIS. Исследования показывают, что изображения такого разрешения не дают полной картины происходящей на местности ситуации, погрешность при определении площадей очень высокая. Одними из главных задач мониторинга являются определение площадей, засеянных различными культурами, и чистого пара, а также оперативный мониторинг динамики развития посевов по фазам роста. С этой целью разрабатываются методы первичной обработки материалов дистанционного зондирования Земли, включающие в себя маскировку пикселей, непригодных для анализа, в том числе из-за влияния снежного и облачного покровов, а также построения очищенных от влияния указанных факторов мозаик изображений. Построенные композитные изображения имеют значительно меньший объем по сравнению с исходными данными и позволяют упростить дальнейшие этапы обработки. Тематическая обработка спутниковых данных главным образом основана на анализе временных серий вегетационных индексов, таких как нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI и менее зависимый от яркости почвенного покрова перпендикулярный вегетационный индекс PVI [13–16]. Индекс NDVI — это безразмерный показатель отражательной способности изучаемого объекта, характеризующий активность вегетации растительности, который коррелирует с содержанием хлорофилла, площадью листовой поверхности, сомкнутостью и архитектурой растительного покрова, определяющие поглощение ФАР [14, 33] (рис. 2).

На рисунке 2 видно, что с помощью современного программного обеспечения можно в режиме online выделять участки с наибольшей биомассой растений (красный цвет), тем самым регулировать дозы внесения удобрений на земельных участках с помощью GPS.

Разработанные методы позволяют проводить анализ и мониторинг посевов в течение всего года, учитывая в зимний период накопление снега для прогнозирования запасов влаги [4].

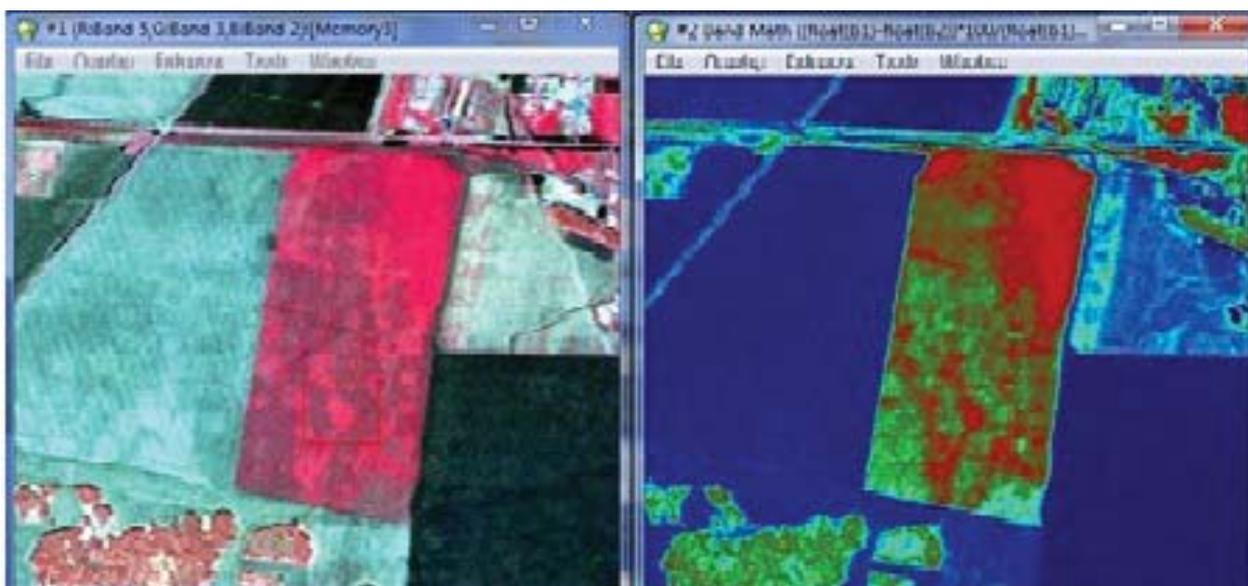


Рисунок 2. Пример выделения области с наибольшей биомассой растений на примере индекса NDVI (справа) и космического изображения с ИСЗ Rapid Eye (слева)

Нужно отметить, что накопленный опыт почвенного картирования системой «Росгипрозем» показал необходимость составления почвенных карт с детальностью 1 : 5000, 1 : 10 000. В этом случае разрешение 1 пикселя должно быть не более 5 м.

Отечественные спутники систем «Метеор» и «Ресурс» имеют разрешение от 500 до 1000 м и не позволяют анализировать различия спектральных характеристик агроценозов. Они отвечают в основном задачам Гидрометеослужбы и службы охраны лесов.

Для проведения мониторинга сельскохозяйственных угодий одних знаний по дешифрированию изображений недостаточно. Практика показывает, что специалист должен обладать рядом знаний в различных областях сельскохозяйственных наук, учитывая не только особенности роста и развития культур, но и почвенный покров территории [6].

Наиболее значимым в условиях Западно-Сибирской равнины, как было установлено еще работами С.С. Неуструева (1915, 1930) и развито в учении о структуре почвенного покрова В.М. Фридландом (1972), является комплексность почвенного покрова, которая характеризует резкие различия в плодородии компонентов данного комплекса. Нередко в лесостепной зоне в комплексах почв черноземного ряда встречаются различные засоленные почвы, солоды и др., особенности которых накладывают свой отпечаток на тон изображения и на его спектральные характеристики, тем самым усложняя процесс почвенного дешифрирования.

В других случаях, при преобладании в пределах поля или агротехнологического массива одной почвенной разности, этот фактор может уступать по значимости вариабельности показателей ее плодородия: колебаниям содержания элементов питания, мощности и послойной плотности корнеобитаемого слоя, варьированию засоренности поля и поражению посевов болезнями растений [5, 12].

В этом случае элементами управления агротехнологии являются материалы агрохимических исследований и, как результат, — маневрирование дозами удобрений и пестицидов, а также нормами высева семян и т.п.

Ядром технологии точного поконтурного земледелия является программное наполнение, которое обеспечивает автоматизированное ведение пространственно-атрибутивных данных картотеки сельскохозяйственных полей, а также генерацию, оптимизацию и реализацию агротехнических решений с учетом вариабельности характеристик каждого из полей того или иного

землепользования. На сегодняшний день технология точного земледелия активно развивается, на рынке существует ряд программных продуктов, предназначенных для анализа собранной информации и принятия производственных решений (рис. 3). В основном это программы расчета доз удобрений с элементами геоинформационных систем (ГИС): SSToolBox ©, Agro-Map ©, Агроменеджер ©, ЛИССОЗ ©, УрожайАгро ©, АдептГИС ©, а также более широкого плана — FieldRover II ©, MapInfo ©, AgroView © и др.

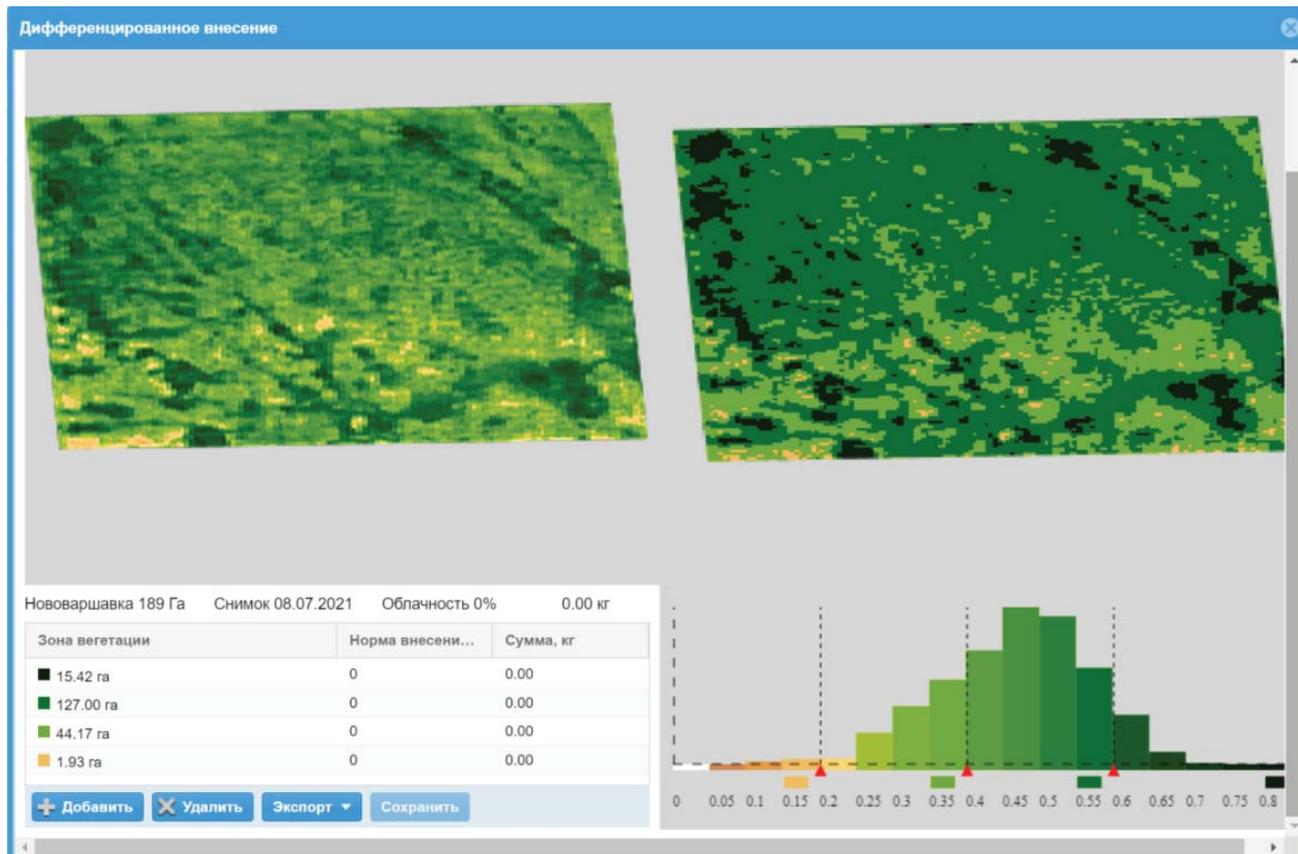


Рисунок 3. Пример картограммы для дифференцированного внесения удобрений, созданной на основе платформы Agrosignal

Опытным путем специалистами Омского ГАУ было установлено, что при использовании принципов дифференцированного внесения удобрений в первый год экономия составляет до 40%, но одной из проблем внедрения данной технологии является отсутствие у сельхозтоваропроизводителей специализированной техники.

Вопросы к главе 1

1. Перечислите ученых, внесших вклад в развитие дистанционного зондирования Земли.
2. Назовите основные спутники и их функциональные возможности.
3. Для чего применяют вегетационный индекс NDVI?

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

При отсутствии специализированной почвенной службы в России задача мониторинга почвенного покрова возлагается на специалистов агрохимической службы и системы «Госземкадастрсъемка». Но до сих пор существующие методики проведения мониторинга земель концентрируют основное внимание специалистов на географических особенностях обследуемых полигонов (геодезическая привязка, векторизация) или истории их использования (площади возделываемых культур, их урожайность и т.п.).

Нам представляется, что достичь поставленной цели в крайне сжатые сроки можно лишь на основе почвенного дешифрирования космических снимков, исследуя закономерности отражения и поглощения солнечной энергии агроценозами.

Многие авторы для изучения специфических особенностей спектральной отражательной способности почв использовали в своих исследованиях регистрирующий спектрофотометр с интегрирующей сферой СФ-18 в видимой области спектра (400–750 нм) [12].

Д.С. Орлов, Н.И. Суханова и М.С. Розанова (2001) указывают, что коэффициент отражения, определяемый в лабораторных условиях на спектрофотометре, является объективной характеристикой самой почвы и не зависит, в отличие от коэффициента яркости, определяемого методами аэрофотосъемки, от высоты стояния солнца и других факторов. При этом в лаборатории измеряется интенсивность цветового потока, отраженного только в каком-то одном направлении, под конкретным углом зрения. А коэффициент яркости характеризует отражательную способность объекта при определенных условиях вне зависимости от его сельскохозяйственного использования.

В то же время ряд работ посвящен доказательству перспективности изучения отражательной способности почв в инфракрасном диапазоне. А.А. Комисарчук с соавторами показано, что состояние мелиоративных систем на черноземах хорошо идентифицируется с использованием дистанционного зондирования инфракрасным радиометром, камерой МКФ-6 и тепловизором «Вулкан» при определении температурных и влажностных полей на почвах под различным покрытием. Предложено уравнение связи влажности и температуры почв: $W = aT - b$, где W — влажность почвы, T — радиационная температура, a и b — параметры съемки.

Аналогичные исследования проводили и специалисты из Омского государственного педагогического университета П.П. Бобров и др. (2000). В своих работах они используют тонкий слой съемки, который снимает только поверхность. Тем не менее эти исследования свидетельствуют о необходимости использовать при почвенном дешифрировании не только видимую область спектра, но также микроволновый и инфракрасный диапазон. Однако, как правило, вышеуказанные авторы обычно проводили изучение отражательной способности лишь по верхней части гумусового горизонта, выявляя спектральные особенности гумуса на спектрофотометре. Эти данные не дают ответа, как проявляются различия почвенного покрова разных землепользователей в ходе использования земель сельскохозяйственного назначения. Из вышесказанного можно предположить, что исследования спектральной отражательной способности почв в лабораторных условиях имеют огромное количество погрешностей в связи с тем, что космическая съемка производит измерение, учитывая все факторы, влияющие на спектральную отражательную способность (климат, влажность и т.д.), чего нельзя учесть на спектрофотометре.

Кроме вышеперечисленных достоинств космических снимков, можно отметить, что большая часть аэроснимков выполнена в черно-белом варианте. А космические снимки можно синтезировать путем сочетания трех и более черно-белых космических снимков, полученных в разных диапазонах видимого и инфракрасного спектров, то есть производить синтез различных каналов для выявления разностей между объектами (рис. 4).

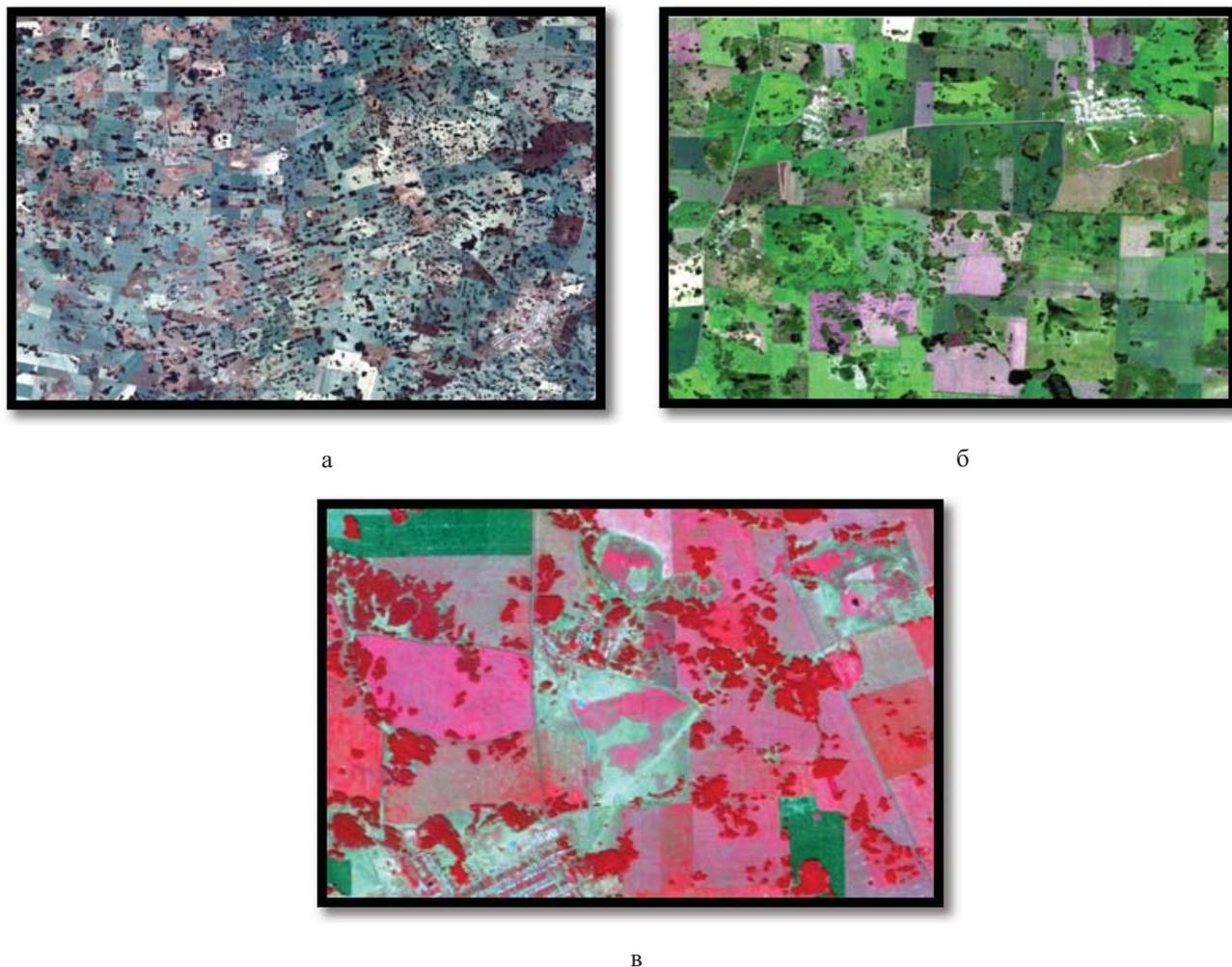


Рисунок 4. Различные варианты синтеза каналов съемки: а — синтез Red-Green-Blue (30 м); б — синтез Red-Green-Blue (10 м); в — синтез NIR-Red-Green (5 м)

В связи с этим задачей исследований для проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения является определение возможности использования мультиспектральных космических снимков при обосновании максимально эффективных вариантов синтеза [17, 18].

В результате проведенного анализа по данному вопросу первой задачей исследований для совершенствования методики мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения стало однонаправленное изучение использования материалов космической съемки. В связи с этим возникла потребность в дальнейшем изучении проблемы по космическим изображениям с применением методов кластерного анализа спутниковых снимков. Они позволяют более точно выделять границы природных объектов, а также определять особенности динамики спектра отражения почвенного покрова в зависимости от характера возделываемых культур, сортов, обработки почвы, их количественные параметры, необходимые для мониторинга рационального использования земель сельскохозяйственного назначения (рис. 5).

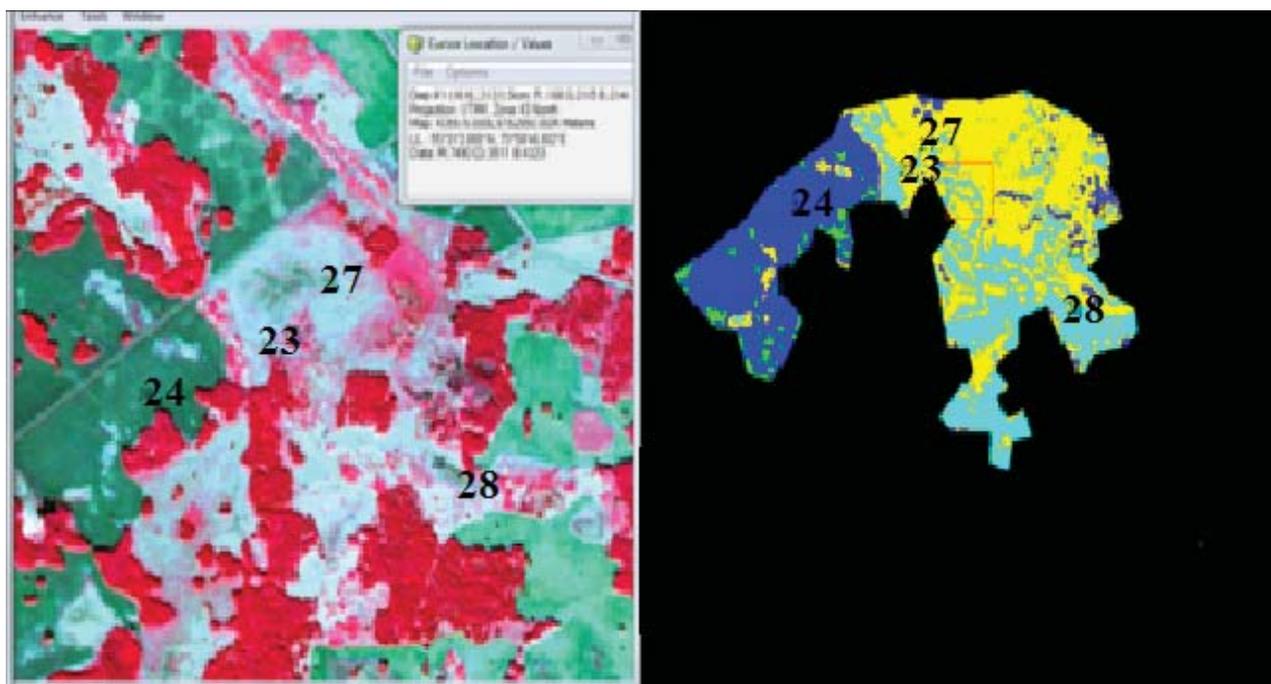


Рисунок 5. Пример использования кластерного метода при дешифрировании мультиспектральных изображений

Суть кластеризации состоит в том, что все исходные объекты (в данном случае пиксели) разбиваются на несколько непересекающихся групп таким образом, чтобы объекты, попавшие в одну группу, имели сходные характеристики, в то время как у объектов из разных групп эти характеристики должны значительно отличаться. Полученные группы называются кластерами.

Невозможность использования международного опыта дешифрирования космических снимков почвенного покрова заключается в том, что сами методы обработки космической информации в различных народнохозяйственных и оборонных целях засекречены и в лучшем случае являются коммерческой тайной. Существующие методики построения цифровой модели рельефа для выявления ареалов почв, к сожалению, неприменимы на равнинной территории лесостепной зоны Западной Сибири.

Вопросы к главе 2

1. Как применяют данные дистанционного зондирования Земли при почвенных обследованиях?
2. В чем заключается суть метода синтезирования каналов съемки?
3. Что такое кластерный метод?

ГЛАВА 3. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Наблюдаемый рост рынка аэрофотосъемки объясняется растущим внедрением дронов для решения широкого спектра различных задач. Наблюдается экспоненциальный рост использования беспилотных воздушных судов (БВС) для аэрофотосъемки за последнее десятилетие из-за большого количества преимуществ по сравнению с традиционными платформами, такими как вертолеты и летательные аппараты с неподвижным крылом. Благодаря высокой маневренности дроны способны работать в плотно застроенных городских районах, где крупным летательным аппаратам сложно произвести аэрофотосъемку. Эта способность беспилотников в основном используется сектором недвижимости для получения аэрофотоснимков строительных проектов в городских районах.

За последние четыре десятилетия произошло значительное увеличение числа стихийных бедствий. Аэрофотосъемка в значительной степени способствует своевременной оценке ущерба в пострадавших районах и помогает быстро осуществить соответствующие операции по ремонтно-восстановительным работам и оказанию помощи.

В 2017 году платформа БВС занимала основную долю на рынке — около 71% — благодаря быстрорастущему ее внедрению для аэрофотосъемки в различных секторах, включая решение государственных задач, строительство, нефтегазовый комплекс, военно-оборонную отрасль и сельское хозяйство. БВС оказались экономически эффективной альтернативой вертолетам и летательным аппаратам с неподвижным крылом для аэрофотосъемки, что способствовало их принятию для мелкомасштабных и недорогих приложений. Налицо значительное снижение в использовании традиционных платформ аэрофотосъемки, таких как парашюты, воздушные шары и воздушные змеи, мачты, установленные на автомобилях, благодаря приходу технологии дронов, которая служит надежной альтернативой для получения аэрофотоснимков в различных климатических условиях.

Сегменту вертикальной аэрофотосъемки в 2017 году принадлежала большая доля рынка аэрофотосъемки в силу значительной полезности практики визуализации геопространственных данных. Вертикальные аэрофотоснимки, предоставляющие полезные данные для подготовки точных цифровых моделей ландшафтов, широко используются государственными структурами для картографических приложений.

Ожидается, что сегмент наклонной аэрофотосъемки будет демонстрировать ускоренный рост по сравнению с прогнозной шкалой с CAGR — более 15%. Этот отличный рост объясняется преимуществом в более точном определении высот объектов и в охвате большей площади поверхности по сравнению с вертикальным аэрофотоснимком, полученным с той же высоты и при том же фокусном расстоянии.

Сегмент геопространственного картографирования в 2017 году доминировал на рынке аэрофотосъемки благодаря широкому применению различных методов аэрофотосъемки в геопространственных картографических функциях. Аэрофотоснимки используются для услуг фотограмметрического картографирования, применяющих технологии дистанционного зондирования и фотограмметрию для получения результатов геопространственного картографирования.

Сегмент городского планирования, зарегистрировал самый быстрый рост (более 17%) в период 2018–2024 годов в связи с увеличением потребности в продукции аэрофотосъемки для государственных учреждений, для улучшения дорожного планирования, управления недвижимостью и инвентаризации земель. Поскольку аэрофотоснимки обеспечивают городских пла-

нировщиков регулярной актуальной информацией о схемах дорожного движения, строениях, железных дорогах, мостах, характеристиках воды и других компонентах городской инфраструктуры, их полезность для городского планирования, как ожидается, будет заметно расти в течение прогнозируемого периода.

Существует большое количество различных определений БВС. Вот одно из самых простых: «Беспилотное воздушное судно — это летательный аппарат без человека (экипажа) на борту». Однако в таком случае к БВС нужно причислить вообще все летающие искусственные объекты, что, очевидно, неправильно.

Беспилотный летательный аппарат — это летательный аппарат многоразового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа (человека-пилота) и способный самостоятельно целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором со стационарного или мобильного пульта управления).

Заметим, что к БВС не относятся все ракеты, снаряды, бомбы (независимо от того, управляемые они или нет), аэростаты без двигателей и другие безмоторные летательные аппараты: планеры, дельтапланы, парапланы. Но беспилотные дирижабли, моторные дельтапланы и парапланы в соответствии с данным определением вполне можно отнести к БВС. Существуют другие, более узкие понятия БВС. Например, известны такие определения, в которых к БВС причисляют только аппараты самолетного и вертолетного типов.

Разница в терминах БВС и ДПЛА (дистанционно пилотируемый летательный аппарат) в том, что первый является более общим понятием. ДПЛА относится к тем аппаратам, которые управляются оператором дистанционно по радио с наземного пункта, тогда как в общем случае БВС может выполнять задачу и автономно, по заложенной в нем программе.

Недавно появившиеся термины UAS (Unmanned Aerial System) и соответствующий русскоязычный «БАС» («беспилотная авиационная система») учитывают не только сам летательный аппарат (аппараты), но также всю инфраструктуру и средства обеспечения (транспортно-пусковое устройство, средства связи, наземный пункт управления и др.). В наших источниках встречается также термин «БАК» («беспилотный авиационный комплекс»). Многие «БАС» и «БАК» считают синонимами, однако между ними есть некоторая разница, которая заключается в том, что «БАС» является более широким понятием. БАК — это только совокупность материально-технических средств, необходимых для выполнения определенных функций. Однако эти функции выполнены быть не могут без наличия элементов, устанавливающих связи различного типа (информационные, информационно-управляющие и т.п.) между структурными элементами комплекса. Наличие таких элементов и таких связей является отличительной особенностью БАС. Таким образом, кроме всего того, что входит в БАК, в БАС должны быть включены еще: технический персонал, протоколы обмена информацией, нормативно-регламентирующая документация, средства интеграции с другими системами.

Классификация БВС по принципу полета

По этому критерию все БВС можно разделить на три группы:

- 1) БВС с жестким крылом (БВС самолетного типа);
- 2) БВС с гибким крылом;
- 3) БВС с вращающимся крылом (БВС вертолетного типа).

Кроме БВС перечисленных групп существуют также различные гибридные подклассы аппаратов, которые по их принципу полета трудно однозначно отнести к какой-либо из перечисленных групп. Особенно много таких БВС, которые совмещают качества аппаратов самолетного и вертолетного типов.

БВС самолетного типа

Этот тип аппаратов известен также как БВС с жестким крылом (англ.: fixed-wing UAV). Подъемная сила у этих аппаратов создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, как правило, отличаются большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью.

Существует большое разнообразие подтипов БВС самолетного типа, различающихся по форме крыла и фюзеляжа. Практически все схемы компоновки самолета и типы фюзеляжей, которые встречаются в пилотируемой авиации, применимы и в беспилотной.

Взлеты и посадки традиционных БВС самолетного типа — процесс достаточно трудоемкий и затратный, требующий наличия специальных вспомогательных средств (ВПП, устройств запуска и посадки), поэтому разработчики новой техники все чаще обращаются к нетрадиционным схемам самолетных БВС, позволяющим создать безаэродромные БАС. Тейлситтеры в стартовом положении обычно опираются хвостовой частью на грунт. Если в качестве движителя используются тянущие винты, то они располагаются в носовой части. Посадка, как и взлет, у таких аппаратов обычно производится вертикально. Самое сложное для СВВП — это переход с вертикальной фазы полета на горизонтальную и обратно. У БВС SkyTote, например, для управления полетом в этих фазах используется даже специальный нейросетевой контроллер.

БВС с гибким крылом

Это дешевые и экономичные летательные аппараты аэродинамического типа, в которых в качестве несущего крыла используется не жесткая, а гибкая (мягкая) конструкция, выполненная из ткани, эластичного полимерного материала или упругого композитного материала, обладающего свойством обратимой деформации.

В этом классе БВС можно выделить беспилотные моторизованные парапланы, дельтапланы и БВС с упруго деформируемым крылом.

Преимущество мотодельтаплана по отношению к другим БВС заключается в простоте и надежности конструкции, дешевизне и компактности в сложенном виде, минимальной необходимой длине площадки для взлета и посадки, бесшумности, отсутствии влияния вибраций от ротора несущего винта на аэродинамические элементы конструкции.

БВС с упруго деформируемым крылом

Крыло в аппаратах такого типа выполняется из композитного материала с большой степенью упругости. Это позволяет сворачивать крыло без опасения потерять его форму. Оно также хорошо противостоит соударениям с землей и препятствиями.

Кроме того, такое крыло способно частично компенсировать порывы ветра и улучшать стабильность полета. Аппарат оснащен камерой для видео и фотосъемки. Запуск БВС может производиться как «с руки», так и с помощью специальной пневматической катапульты. После вылета из катапульты аппарат разворачивает крылья. Гибкое крыло не имеет элеронов, поэтому управление осуществляется с помощью небольших аэродинамических рулей в хвостовой части.

БВС вертолетного типа

Этот тип аппаратов известен также как БВС с вращающимся крылом (англ.: rotary-wing UAV, rotorcraft UAV, helicopter UAV). Часто их называют также VTOL UAV (Vertical Take-off and Landing UAV) — БВС с вертикальным взлетом и посадкой. Последнее не совсем корректно, так как в общем случае вертикальный взлет и посадку могут иметь и БВС с неподвижным крылом

(например, как в СВВП — за счет реактивного сопла, при взлете и посадке направляемого вертикально вниз).

Подъемная сила у аппаратов этого типа также создается аэродинамически, но не за счет крыльев, а за счет вращающихся лопастей несущего винта (винтов). Крылья либо отсутствуют вовсе, либо играют вспомогательную роль. Очевидными преимуществами БВС вертолетного типа являются способность зависания в точке и высокая маневренность, поэтому их часто используют в качестве воздушных роботов.

Достоинством схемы является простота конструкции и системы управления. К недостаткам следует отнести большие габариты за счет хвостовой балки и потери мощности на привод рулевого винта (до 10% от мощности двигателя), уязвимость и опасность повреждения рулевого винта при полете у земли.

Гексакоптеры и октокоптеры, имеющие соответственно по шесть и восемь роторов, обладают гораздо большей грузоподъемностью по сравнению с квадрокоптерами. Они также способны сохранять устойчивый полет при выходе из строя одного ротора. Такие аппараты отличаются также гораздо меньшим уровнем вибраций, что особенно важно для видеосъемки.

Рекомендации по применению беспилотных летательных аппаратов для сельхозтоваропроизводителей

Использование БВС в системе «точного или точечного земледелия» и в целом в агропромышленном комплексе является одним из наиболее перспективных в последнее время направлений применения этой технологии. БВС на данный момент могут быть эффективно использованы при планировании и контроле этапов производства сельскохозяйственной продукции, а также для химической обработки посевов. При этом основным критерием для внедрения БВС является экономическая целесообразность.

БВС позволяют получать оперативно актуальную и эффективную информацию, кроме того, накопленная за длительный период информация позволяет анализировать процессы в динамике [32].

БВС позволяют в любой момент времени анализировать состояние посевов с высоким качеством изображения (географически привязанным GPS-приемником). Данные ДЗЗ на данный момент на различных интернет-платформах дают возможность получить бесплатно спутниковые данные в различных диапазонах съемки до 10 метров, при получении данных высокого пространственного разрешения нужно либо производить работы на интернет-платформе, либо оплачивать стоимость изображения для скачивания. В рамках выполнения НИР производили работы непосредственно на интернет-платформах.

Результаты аэрофотосъемки позволяют ставить участки на кадастровый учет либо выявлять участки, не имеющие кадастрового номера, нарушения границ землепользования, фактическое использование категории земель без непосредственного объезда всего участка обследования.

Съемка с БВС более детализована, по сравнению с космическим снимком. Разрешение снимков возможно в сантиметрах на точку, за счет высот полета от 50 до 600 м над поверхностью земли.

Получение снимков возможно даже в процессе полета, причем можно скорректировать полет в реальном времени, если заказчику это необходимо (при оформлении заранее соответствующих документов в органах, отвечающих за выдачу разрешения на полет БВС).

При применении БВС на основе кластерного метода возможно изучение развития эрозионных процессов (построение картограмм водотоков и выявление эрозионных борозд). Если уклон местности до 3 градусов, использование нецелесообразно, так как это связано с микропонижениями изучаемой территории.

Целевое использование данных БВС на масштабном уровне возможно при внесении поправок в нормативно-правовые акты, которые тормозят их масштабное внедрение ввиду прохожде-

ния многих регулирующих полет инстанций и получения оперативной информации online.

Спутниковая информация на данный момент обеспечивает получение данных раз в два дня (но нужно учитывать климатические нюансы, разрешающую способность снимков). Перспектива использования БВС огромна на территории Западно-Сибирского региона для создания общей платформы мониторинга сельскохозяйственных угодий (съемка интересующих участков в любой момент времени, оперативное получение информации, минимизация затрат на проведение почвенно-агрохимического обследования и выдачи рекомендательных документов, управление посевами).

Критерии оценки при прогнозировании урожайности на основе индекса NDVI по данным БВС и ДЗЗ

Прогноз урожайности по индексу NDVI можно дать в момент наибольшего пика показателя, который достигается у зерновых культур в фазу колошения (NDVI достигает значения 0,8–0,88) или в фазу максимального развития листьев для остальных культур.

Было установлено, что для прогнозирования урожайности с наименьшей погрешностью нужно исходить не из определенной культуры, а из особенностей конкретного сорта сельскохозяйственной культуры.

Таким образом, при получении электронного картографического материала агроном устанавливает значение индекса NDVI. Если в фазу колошения NDVI достигает своего максимума для сельскохозяйственных культур, то можно делать прогноз получения урожайности равным 100% от заявленных особенностей сорта. Например, при значении NDVI в фазу колошения всего 0,6–0,65 урожайность будет в среднем ниже на 25–30%.

При создании электронного картографического материала по данным БВС или ДЗЗ можно выявить участки, не достигшие своего максимума в период вегетации, установить их числовое значение. При дальнейшем анализе потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях или химической обработке на основе алгоритма К-средних создается картограмма для дифференцированного подхода в системе «точного земледелия» (рис. 6).

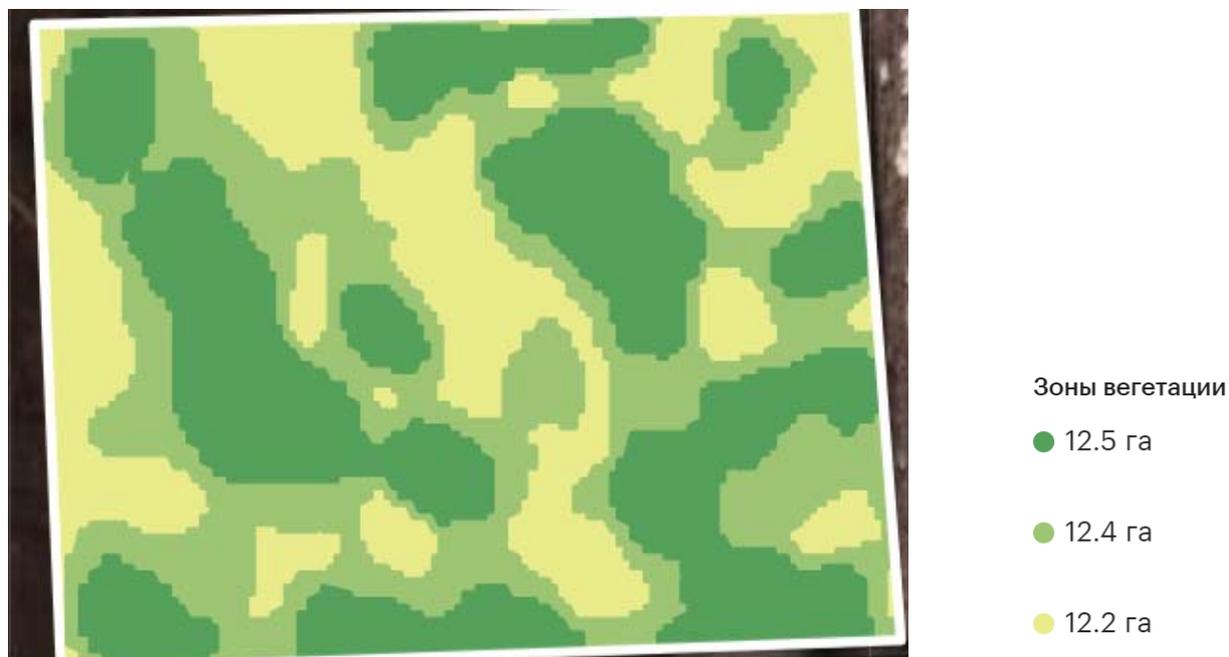
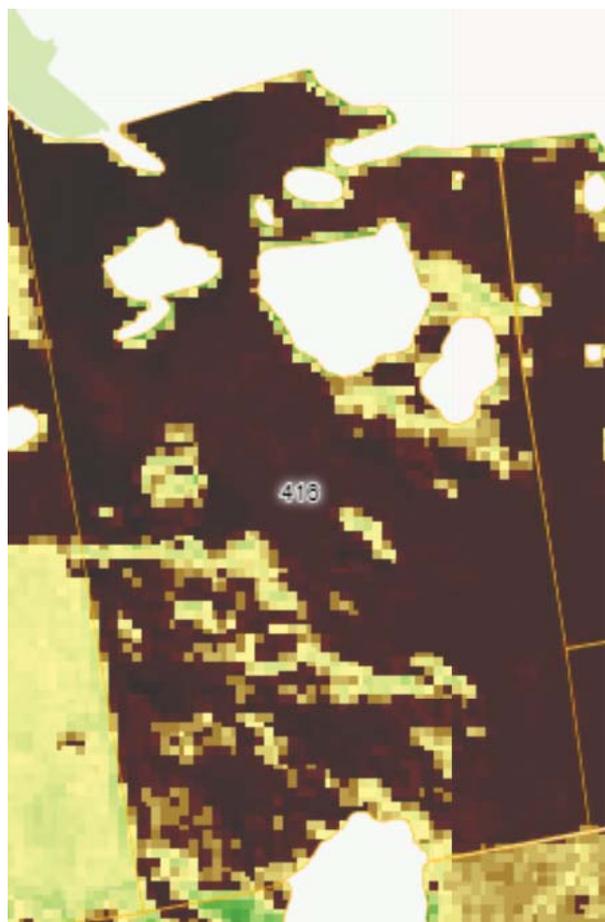


Рисунок 6. Картограмма для дифференцированного подхода при проведении агротехнических мероприятий в «системе точного земледелия»

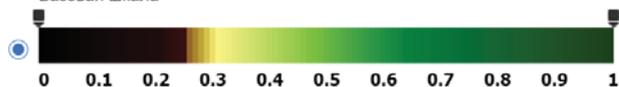
Данная картограмма позволяет вычислить площадь участков, нуждающихся в полной дозе удобрения, и участки с пониженной потребностью, либо участки, нуждающиеся в химической обработке также в полной или сниженной дозе. В связи с тем, что данные получаемые с БВС и ДЗЗ, географически привязаны в местной системе координат, картограмму можно загружать в бортовой компьютер тракторного агрегата для дифференцированного внесения удобрений или ядохимикатов, а также можно использовать при обработке данных посевов с использованием беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа (если площадь участков и летные характеристики это позволяют).

При анализе индекса NDVI появляется возможность анализировать развитие сорняков при сельскохозяйственном производстве (рис. 7).



Цветовая шкала

Базовая шкала



Графики хода NDVI и метеопараметров

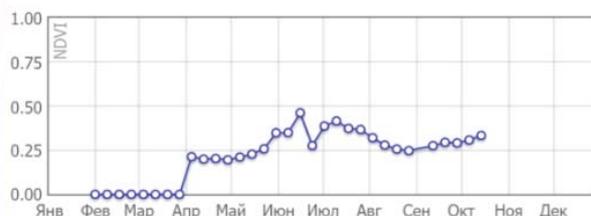


Рисунок 7. Анализ засоренности парового поля на основе индекса NDVI

В данном случае мы наблюдаем, что на этом паровом поле в середине июня проводилась химическая обработка посевов, но к началу июля наблюдается всплеск показателей биомассы. Исходя из этого, можно сделать вывод, что химическая обработка не сработала на сто процентов (возможно, ввиду климатических особенностей данного года исследований). Тем самым оперативное применение БВС при мониторинге состояния посевов является новым инструментарием для принятия решения обследования того или иного участка с целью выявления лимитирующих факторов развития сельскохозяйственных культур.

При применении цифровых данных, получаемых на основе использования БВС и космических аппаратов (КА), необходимо учитывать лимитирующие факторы, влияющие на прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур; одними из главных факторов являются

ся метеорологические условия, пространственное разрешение. Отклонение температуры или осадков от среднесезонных приведет к отклонению при прогнозировании урожайности. Установлено, что скорость увеличения и снижения биомассы и, соответственно, значения вегетационных индексов в первую очередь зависят от влажности (для практики использования в орошаемом земледелии нужны дополнительные исследования). При повышенной температуре и низкой влажности пик вегетационного индекса не достигает максимума, тем самым уменьшая вероятность прогноза урожайности. При нехватке температуры вызревание и развитие культуры может быть также снижено. Кроме того, от метеорологических условий зависит и развитие болезней, которое также приводит к снижению вегетационного индекса, а с ним и урожайности.

Пространственное разрешение — величина, характеризующая размер наименьших объектов, различимых на изображении. Для различия объектов применяют дешифровочные показатели, которые, в свою очередь, разделяются на прямые и косвенные.

Прямые показатели дешифрирования

Форма изображения передает общие очертания объекта, его объемность и характер границ, сохраняется при изменении масштаба аэросъемки. Правильные геометрические очертания имеют объекты, связанные с деятельностью человека, — постройки, дороги, мосты, пашни, просеки и т.п. Природные объекты имеют криволинейные, неровные очертания и формы: элементы рельефа, гидрографическая сеть, границы естественных угодий и т.д.

Тон изображения (яркость) зависит от характера растительности, возраста возделываемых культур на пашне, влажности почвы.

Структура (рисунок) поверхности изображения возникает вследствие неоднородности растительного и почвенного покрова в пределах данного контура. Рисунок может быть аморфным (бесструктурным) и структурным (пятнистым, зернистым, точечным, полосчатым, линейным и т.д.).

Тень — важный дешифровочный признак для объектов, имеющих высоту. Различают тени собственные — они образуются вследствие различной освещенности сторон объекта, выпуклых и вогнутых объектов местности (овраги, ямы, обрывы); падающие тени — отбрасывают объекты, имеющие высоту (постройки, горы, деревья).

Косвенные признаки (индикаторы)

Косвенные признаки характеризуют объект дешифрирования опосредствованно через какой-либо компонент природного комплекса или через определенные сочетания. Основными из них являются тип местности и взаимосвязи объектов. Тип местности является описательной характеристикой территории, в том числе ее топографии, почвенного или растительного покрова и т.д. Тип местности и растительность характеризуют геоморфологические и ландшафтные индикаторы.

Взаимосвязи — важный критерий дешифрирования, определяющий закономерности взаимного расположения близлежащих объектов. Например, небольшие участки земли белого цвета, расположенные нерегулярно вдоль реки, свидетельствуют о наличии у нее сухого песчаного берега. Сетка линий и регулярно расположенные прямоугольные объекты между ними указывают на территорию городского типа

В связи с тем, что спутниковые данные имеют различное разрешение и БВС при различной высоте съемки также меняют данный параметр, нужно отметить, что и показатели дешифрирования могут изменяться (одни объекты будут проявляться четко, другие будут исчезать). Далее представлено сравнение одного и того же объекта при различной космосъемке и БВС.

При сравнении влияния разрешающей способности КА и БВС на фотограмметрическую обработку полученных данных и пространственно-временном их анализе нужно отметить ряд положительных и отрицательных моментов. Получаемые с БВС данные имеют высокое и сверхвысокое пространственное разрешение, что позволяет избежать большой погрешности при идентификации наземных объектов по прямым и косвенным признакам либо на основании идентификационных особенностей. Но существующая на сегодняшний момент нормативно-правовая система не позволяет оперативно применять полученные данные. Организация, обладающая правами на использование БВС, обязана на полевой сезон подготавливать клиентскую базу за полгода. Если сельхозтоваропроизводитель обратится в нее непосредственно в период вегетации, данные с пролетов БВС при мониторинге посевов будут получены им уже после уборочных работ (в связи с прохождением огромного количества инстанций для получения разрешения на полет). Данные дистанционного зондирования на сегодняшний момент обновляются на интернет-платформах в свободном доступе один раз в два дня, но при отсутствии облачности. Эта особенность не позволяет получать оперативную информацию в режиме online, а также при наличии некачественного изображения погрешность при фотограмметрической обработке и дешифрировании наземных объектов возрастает. Еще одной из главных особенностей является вес получаемой информации, что затрудняет ее компьютерную обработку. При использовании БВС требуется компьютерное оснащение с высокими показателями производительности процессора и видеокарты. При сравнении диапазонов съемки БВС и КА имеют одинаковые возможности и тем самым могут друг друга взаимно дополнять при комплексном анализе от уровня целого муниципального района до отдельного участка земель сельскохозяйственного назначения.

Для анализа биомассы по периодам вегетации используют, наиболее распространенный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности, простой количественный показатель фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Это один из самых распространенных индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED — отражение в красной области спектра.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные природные объекты от прочих. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

По полученным данным с помощью космических снимков и индекса NDVI на протяжении всего периода вегетации можно провести следующие операции:

- мониторинг равномерности всходов посевов (рис. 8);
- мониторинг очагов вспышки болезней и других неблагоприятных факторов;
- определение готовности урожая к уборке;
- определение нуждаемости в подкормке урожая азотом.

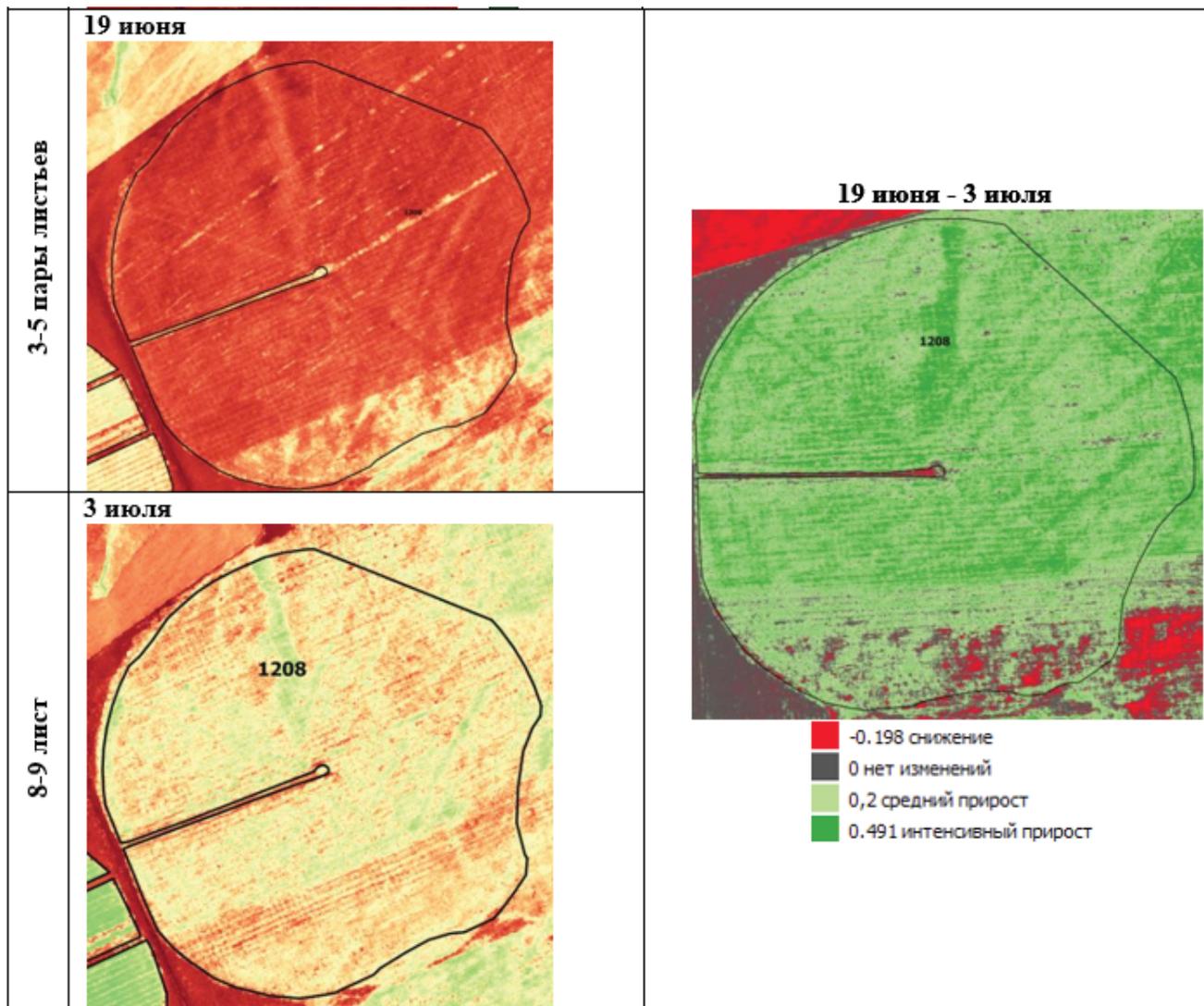


Рисунок 8. Картограмма прироста подсолнечника по NDVI

Вопросы к главе 3

1. Перечислите виды БВС и их особенности.
2. Как применяют БВС в сельском хозяйстве?
3. Проведите сравнительный анализ данных, полученных при использовании БВС, и данных с КА.

ГЛАВА 4. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Дешифрирование (интерпретация) космических снимков (КС) — выявление, опознавание на снимках земной поверхности, получаемых с космических аппаратов (пилотируемых или беспилотных), либо отдельных объектов, объектов одного вида (с последующим описанием — графическим, словесным, цифровым), либо картографирование территории — тематическое или комплексное (например, топографическое).

При этом под картографированием понимается составление специального изображения (построенного по определенным геометрическим моделям) участка, района, региона и т.д. с изображением всего разнообразия объектов земной поверхности.

Дешифрирование КС является в настоящее время подсистемой, включенной в огромное количество программ, проектов, начинающихся с запусков разнообразных искусственных спутников Земли и кончающихся получением как новых данных (в том числе и военных), так и научной и производственной продукции (например, разнообразных карт).

При дешифрировании почв по аэро- и космическим снимкам используют комплекс прямых и косвенных признаков. К прямым дешифровочным признакам относятся: тон, цвет, рисунок (текстура изображения), размер и форма почвенных контуров. К косвенным — типы и формы рельефа, особенности речных долин и водосборов, характер литологии и растительности, своеобразии антропогенной деятельности.

Признаки дешифрирования, как прямые, так и косвенные, не одинаковы между собой по значению. Признак дешифрирования, свидетельствующий в любых природных условиях об одном и том же качестве объекта, называется однозначным признаком дешифрирования или признаком дешифрирования повсеместного значения. Например, рисунок фотоизображения в виде четко выраженных «вееров блуждания» всегда индицирует пойму с аллювиальными отложениями и преобладанием дернового типа почв. Полосчатый рисунок фотоизображения, чаще всего у контуров с прямолинейными четкими границами, всегда характерен для пашен. Четко ограниченные небольшие бесструктурные или структурные пятна темной окраски в ряде зон маркируют небольшие понижения в рельефе с более влаголюбивой растительностью, чем зональная, и гидроморфными почвами.

Признак дешифрирования, который в одних и тех же природных условиях может индицировать ряд объектов, называется многозначным признаком. Например, мелкокрапчатый рисунок, резко ограниченный от окружающей территории, указывает как на порослевой березняк, так и на молодой соснячок на торфяной почве. Признак дешифрирования, указывающий в одних природных условиях на одно качество объекта или на один объект, а в других природных условиях на другое качество или на другой объект, называется ограниченным признаком дешифрирования, или признаком дешифрирования локального значения. Локальное значение имеют главным образом косвенные признаки дешифрирования. Например, небольшое (около 1 га), четко ограниченное, темное, бесструктурное пятно на аэрофотоснимках Мещерской низменности маркирует небольшое понижение с осоковой, разнотравно-осоковой или мохово-осоковой растительностью на перегнойно-глеевых или торфянисто-глеевых почвах, а в Прикаспийской низменности небольшое понижение с разнотравно-злаковой растительностью на лугово-каштановых почвах. Все прямые и косвенные признаки дешифрирования имеют свое значение в вышеизложенном аспекте.

Прямой признак дешифрирования — размер (имеются в виду снимки одного и того же масштаба) для топографических объектов, таких как одиночные строения, населенные пункты,

пути сообщения, экономические и культурные объекты, — является однозначным признаком. Для ряда природных объектов размер является как однозначным, так и многозначным признаком дешифрирования. Размер фотоизображения крон древесной растительности может быть однозначным признаком (самыми крупными кронами, размером 2–3 мм [1 : 10 000], являются кроны дуба). И в то же время размер крон древесной растительности часто является признаком многозначным (например, елово-пихтовые и сосновые древостои могут характеризоваться диаметром 0,25 мм).

Размер природных контуров — почвенных, растительных и т.д. — в любых природных условиях является при дешифрировании главным образом лишь их характеристикой. Например, ширина русла реки, площади болот и заболоченных земель, площади песков, развееваемых и закрепленных, и т.д. Исключением являются случаи, когда почвенные контуры имеют одинаковую форму и тон фотоизображения и отличаются лишь размером, тогда размер почвенного контура становится признаком дешифрирования локального значения. Так, на территории Северного Прикаспия падины с лугово-каштановыми почвами и закрытые лиманы с осолоделыми луговыми почвами дают на аэрофотоснимках изображения одинакового тона и похожих форм. Располагаться падины и лиманы могут поблизости среди лугово-степных комплексов. Различаются между собой эти контуры по размерам. Лиманы образуют более крупные контуры.

При ландшафтно-индикационных исследованиях, являющихся одним из видов комплексных физико-географических исследований, используют те внешние черты ландшафтов, которые доступны визуальному наблюдению и аэрофотографированию (в том числе и фотографированию из космоса) в качестве ориентировочных показателей различных явлений и процессов. Это такие явления и процессы, непосредственное наблюдение которых затруднено и требует применения более или менее сложных инструментальных методов, а иногда и стационарных методов исследований.

Ландшафтная индикация определяет геологические, гидрогеологические, гидрологические, почвенные и климатические условия, а также последствия деятельности человека по внешнему облику ландшафта, по отдельным его составляющим, его компонентам и входящим в них элементам (растениям, формам рельефа и т.д.) [7]. Главнейшими исходными понятиями в ландшафтной индикации являются «индикат» и «индикатор». Объектами индикации (индикатами) могут быть как различные природные тела (горные породы, почвы и др.), так и те или иные их свойства и протекающие в них процессы (в том числе и антропогенные). Показатели, которые при этом используются, называются индикаторами. Как при наземных полевых исследованиях, так и особенно при дешифрировании аэрокосмических фотоматериалов часто приходится встречаться со случаями, когда то или иное природное или антропогенное тело, хорошо заметное, но не имеющее надежной связи с определенным индикатом (и поэтому не являющееся индикатором), может обладать отдельными признаками, помогающими распознавать индикат. Например: цвет и тон изображения солонцов в лесостепной зоне совпадает с карбонатными черноземными почвами степной зоны, поэтому при распознавании объекта по аэрокосмическим изображениям нужно учитывать природную зону и ряд других факторов. В индикационных исследованиях различают две группы компонентов ландшафта: физиономические (доступные непосредственному визуальному наблюдению и по большей части еще и аэрофотографированию) и деципиентные (труднонаблюдаемые, скрытые, требующие для исследования различных инструментальных или специальных технических средств и методов). К первым относятся перечисленные выше частные индикаторы и их сочетания, ко вторым — индикаты. Особое положение занимает почва. В тех случаях, когда ее поверхность скрыта растительностью, почва, несомненно, деципиентна, а, будучи открытой для наблюдения, она становится физиономической.

Совокупность физиономических компонентов ландшафта образует его эктоярус. Для пояснения этого понятия напомним, что ландшафтная единица любого ранга может рассматриваться как многоярусная система. Наиболее глубоко залегает геологическая основа ландшафта, пред-

ставляющая собой совокупность коренных и почвообразующих пород. Она, очевидно, может быть подразделена на подъярусы — более глубокий подъярус коренных толщ и перекрывающий его подъярус рыхлых отложений. Над геологическим ярусом обособляется ярус подпочвы (отождествляемый некоторыми исследователями с корой выветривания), который, в свою очередь, перекрывается почвой, подразделяющейся на ряд горизонтов. Вся эта система одета сверху ярусом очень сложного строения, в образовании которого участвуют поверхностные формы рельефа, гидросеть и антропогенные элементы ландшафта, наземные ярусы растительности, поверхность почвы. Лишь этот неоднородный по генезису своей структуры ярус и доступен нашему непосредственному наблюдению. В строгом смысле он и образует собой «внешний облик ландшафта» и называется эктоярусом [Викторов, Чикишев, 1976]. Подход к ландшафту как к многоярусной системе довольно распространен [Бяллович, 1960; Коровин, 1934; Садов, 1978].

Таким образом, эктоярус представляет собой сочетание различных физиономических компонентов, наибольшее значение среди которых имеют рельеф и растительность. Это определяет исключительное значение эктояруса как системы, включающей в себя все возможные группы индикаторов — геоботанические, геоморфологические, комплексные и др. Изучение закономерностей, управляющих формированием эктояруса, может быть названо физиономическим анализом ландшафта. При рассмотрении ландшафта как многоярусной системы, венчаемой эктоярусом, первоочередная проблема физиономического анализа сводится в основном к изучению структуры этого яруса. Еще Г. Никольс [Nichols, 1917] ввел понятие об элементарных «физиографических единицах», под которыми он понимал сочетание растительного сообщества и той формы рельефа, к которой это сообщество приурочено. Следовательно, понятие о физиографической единице было скорее физиономическим, так как оно представляет собой сочетание элементарных участков двух главнейших физиономических компонентов ландшафта. На основе этих представлений Г. Никольс С.В. Викторов (1966) сформулировал понятие о «физиономическом элементе», под которым он понимает участки местности, различающиеся по размеру, очертаниям, окраске и другим внешним признакам. С этой точки зрения эктоярус — это система физиономических элементов, которые могут быть крайне разнообразны.

Сложность структуры эктояруса находится в прямой зависимости от масштаба исследований. В этой связи результаты физиономического анализа ландшафта в известной мере условные, сохраняющие свое значение лишь в определенных рамках, ограниченных детальностью изучения. Эта детальность, в свою очередь, определяется прикладными задачами проводимых работ. Следовательно, в зависимости от масштаба исследований в качестве физиономических элементов могут выступать внешние облики как элементарных ландшафтов, так и более высоких единиц (видов, групп ландшафтов и т.д.), как входящие в эктоярус частные индикаторы (формы рельефа, растительные сообщества и др.), так и комплексные ландшафтные индикаторы с теми или иными индикатами. Таким образом, эктоярус служит основным источником индикационной информации.

Почва как объект дешифрирования. Почва как целостный природный объект, имеющий определенное строение генетического профиля и различные почвенные горизонты, ни на аэроснимках, ни на космических снимках непосредственно не изображается. Даже в случае распашки и отсутствия посевов на снимках отображаются лишь отдельные свойства поверхностного горизонта — гумусированность, влажность, карбонатность, засоленность, механический состав. Однако этот горизонт генетически связан со всем профилем почвы. На основании положения Б.Б. Полынова о том, что все почвенные горизонты являются парагенетическими, то есть взаимосвязанными в своем происхождении, Ю.А. Ливеровский (1962) пришел к выводу, что свойства верхнего горизонта могут служить признаками для определения генетической принадлежности всей почвы. Поэтому, анализируя изображение поверхностного горизонта, можно при определенных условиях выявлять смену почв и их границы, а в ряде случаев (при наличии дополнительных материалов) и определять генетический тип (подтип, разновидность) почв. Но в

подавляющем большинстве случаев открытая поверхность почв на аэрокосмических снимках не видна и их дешифрирование основывается на том, что почва является результатом совокупной деятельности материнских пород, климата, растительности и животных организмов, рельефа и времени их взаимодействия, то есть возраста. Важно установление взаимосвязи почвы с компонентами ландшафта, получающими наилучшее отображение на космических снимках, в первую очередь с растительностью и рельефом.

Особенности почвенного дешифрирования космических снимков

Указанная особенность дешифрирования почв, опирающегося в основном на косвенные признаки, усиливается характерным для изучения любых географических объектов по космическим снимкам возрастанием роли косвенного дешифрирования. Особенности работы со снимками из космоса связаны с отличительными свойствами самих космических снимков — их большой обзорностью и генерализованностью изображения, одновременным отображением на снимках всех компонентов ландшафта. Эти свойства усилили познавательные функции космических снимков, но одновременно сделали работу с ними более сложной, требующей более глубокого понимания существа дешифрируемых объектов, их взаимосвязей. Специфика использования снимков в почвоведении, состоящая в большой роли географического анализа при работе со снимками, в необходимости учета для распознавания генетической принадлежности почв взаимосвязей и взаимообусловленности всех почвообразующих компонентов природной среды и хозяйственной деятельности, еще сильнее возрастает при работе с космическими снимками. Дешифрирование почв требует географического анализа, широкого географического мышления, а, следовательно, комплексной географической подготовки. И, конечно, необходимы знания местных условий исследуемой территории, что подразумевает обязательное ознакомление с районом работ по литературным, картографическим и другим источникам. Для грамотного дешифрирования необходимо знать и особенности используемых съемочных материалов. Поэтому надо хорошо ориентироваться в современном фонде космических снимков, представлять специфику и возможности снимков разных типов. В работе с космическими снимками (более обзорными и генерализованными) усиливается роль камерального дешифрирования, а для полевого — утверждаются его контролирующие функции. Общая технологическая цепь выглядит так: предварительное камеральное дешифрирование — полевой контроль — окончательное камеральное дешифрирование. Полевой контроль, осуществляемый при многих видах тематического дешифрирования космических снимков путем аэровизуальных наблюдений, в почвенных исследованиях не может быть заменен ими, требуются натурные наблюдения на земле. В связи с переносом центра тяжести на камеральное дешифрирование большую значимость приобретает привлечение разнообразных дополнительных материалов: картографических, литературных и других, а также научно-методических пособий и методических руководств, атласов аннотированных космических снимков со схемами их дешифрирования, эталонов изображения и дешифрирования различных почв.

Любое географическое дешифрирование снимков — топографическое или тематическое — включает в себя операции распознавания объектов и фиксации на снимках их положения или границ распространения. Исходя из того, что двуединой задачей почвенного дешифрирования является установление содержания и проведение границ почвенных контуров по снимкам, Ю.А. Ливеровский предложил первую из этих двух взаимосвязанных операций, имеющую целью определение генетической принадлежности почв, назвать генетическим дешифрированием, а решение второй задачи, связанной с выделением контуров различных почв или территорий с однотипным строением почвенного покрова, определением их границ, — контурным дешифрированием.

При многих видах тематического анализа аэрокосмического изображения выделение конту-

ров представляет завершающую стадию, когда дешифровщику уже удалось распознать объект. В почвенном дешифрировании далеко не всегда так. Часто выделить по снимку однородные контуры проще, чем понять их сущность, определить генетический тип почв, для чего требуется дополнительная информация, и тогда выделение контуров может быть первой стадией работы. К тому же сама форма и размер контуров, их приуроченность к определенным элементам ландшафта могут служить признаком генетической принадлежности почв. Выделение территориальных единств — участков однородного тона или структуры изображения, участков с близкими спектральными характеристиками объектов — является опережающим шагом и при многих методах компьютерной классификации изображений (сегментация, кластеризация).

Прямые дешифровочные признаки почв

Различные почвы могут распознаваться по космическим снимкам по прямым дешифровочным признакам далеко не всегда, а лишь на распаханых землях или полях со всходами зерновых и пропашных культур высотой не более 10–20 см и на слабо покрытых растительностью территориях (при проективном покрытии до 10–15%). Однако на снимках находит отображение лишь верхний горизонт почвы, а на его изображение в момент съемки сильное влияние оказывает состояние почвы, прежде всего ее влажность. Это осложняет определение типов, подтипов и разновидностей почв по прямым признакам даже в тех случаях, когда на снимках изображаются распаханые земли. Поверхностные горизонты различных почв могут отличаться по окраске, структуре, характеру поверхности, гранулометрическому составу, влажности. Структура и характер поверхности, которые могут находить отображение на крупномасштабных аэроснимках, на космических снимках ввиду большой их генерализованности не проявляются. Специфическая окраска большинства типов почв нашла отражение и в их названиях — серые лесные, черноземы, каштановые, буроземы. Поэтому окраска поверхностного горизонта почв, отображающаяся на аэрофотоснимках, может служить основным прямым дешифровочным признаком типа почв. Однако из космоса редко получают снимки с естественной цветопередачей, и реальный цвет почв в этом случае теряет диагностическое значение, а основное значение приобретают яркость, тон их изображения. Тон изображения разных почв на панхроматических снимках может меняться от белого тона изображения сухих солончаков и песков и почти белого тона пустынных почв — серо-бурых, сероземов — до почти черного тона изображения черноземов. На черно-белых снимках тон изображения почв определяется их отражательной способностью, которая зависит от их минералогического и органического состава. Как указывалось, гумусовые вещества и окислы железа снижают общую яркость почв, а кремнезем, карбонаты и хлориды увеличивают ее. Наиболее четко по тону изображения разделяются почвы южной части лесной, лесостепной зон и северной части степной зоны, которые к тому же чаще отображаются на снимках в распаханном виде, а также почвы сухостепной и полупустынной зон [9, 12].

Для черноземов типичных и обыкновенных характерен темно-серый, почти черный тон, каштановые почвы и темно-серые, серые, светло-серые лесные изображаются серым и светло-серым тоном, солончаки — ярким светлым. На спектральную яркость почв влияют содержание в почвах окислов железа, гумуса и гуматный состав последнего. Это важно учитывать при использовании наиболее распространенных в космических исследованиях многозональных снимков, для работы с которыми необходимо знать спектральную отражательную способность почв. На тон изображения почв на снимках влияет и их влажность: тон изображения влажных объектов в два-три раза темнее тона изображения сухих объектов. В отдельных случаях это помогает определить типы почв. Например, в пределах лесной дерново-подзолистой зоны дерново-подзолистые почвы отличаются по тону от дерново-подзолисто-глеевых. Первые изображаются светлыми, светло-серыми тонами, вторые — серыми; более темная окраска дерново-подзолисто-глеевых почв обусловлена большей их влажностью.

Благодаря большой обзорности космических снимков размер и форма почвенных контуров, их соотношение, общий рисунок изображения становятся более значимыми признаками, чем на аэрофотоснимках. Наибольшие размеры почвенных контуров, преобладающее распространение характерны для зональных почвенных типов, а меньшие размеры — для разновидностей почв, связанных с особыми условиями увлажнения, изменением литологического субстрата. Размер почвенных контуров может быть признаком дешифрирования тех или иных почв и в случаях, когда данная почва приурочена к определенным формам рельефа. Признаком определенных разновидностей почв может служить и форма почвенных контуров. Зональные почвы, как правило, не имеют характерной формы контуров, но внутризональные вариации почв, связанные с особенностями рельефа, увлажнения, нередко характеризуются специфической формой. Так, в пределах зоны дерново-подзолистых почв характерны контуры болотных почв, имеющие округлую, овальную или продолговатую (вытянутую по логам) форму. В зоне обыкновенных черноземов нередко длинные извилистые контуры лугово-черноземных почв по днищам балок. Форма почвенных контуров с учетом общих зональных условий может свидетельствовать и о направлении почвообразовательного процесса. Так, в гумидных условиях круглая форма почвенных контуров чаще всего свидетельствует о наличии или преобладании болотного процесса, в аридных условиях — солончакового или лугово-солончакового [26]. Но все же основным прямым дешифровочным признаком типа почв является тон изображения, а при работе с многозональными снимками — тон изображения на снимках в разных зонах и его изменения с переходом от зоны к зоне. Для дешифрирования таких снимков необходимо знать спектральные характеристики почв разных типов.

Дешифрирование отдельных групп объектов.

Населенные пункты сельского типа на аэрофотоснимках изображаются в виде четкого контура, состоящего из прямоугольных полосок, расположенных вплотную друг к другу. Внутри полосок выделяется светлоокрашенный прямоугольник (фотоизображение жилого дома). В остальной части полоски отмечается полосчатый рисунок фотоизображения, характерный для пашен, или равномерно распределенный крап, характерный для садов, но может быть и менее определенный рисунок. Кроме основного прямоугольника на описанной полоске размещаются прямоугольники и квадратики меньших размеров, изображающие надворные постройки, — сараи, бани и т.д. Обязательным является расположение прямоугольников, изображающих жилые дома, вдоль одной линии. Для мелких населенных пунктов характерно расположение домов с усадьбами, а, соответственно, и прямоугольных полосок в одну линию. Более частым случаем является изображение деревень в две линии или в два порядка прямоугольных полосок, расположенных друг напротив друга. Для аэрофотоизображения крупных сел характерен ряд таких порядков.

Пути сообщения и дорожные сооружения являются наиболее легко дешифрируемой группой топографических объектов. Умение определить дороги, тропы и т.д. очень важно при дешифрировании аэрофотоматериалов района исследования, для проектирования маршрутов исследований, точной ориентировки в поле. Особенно это важно для малоисследованных, труднопроходимых территорий.

Тропы на аэрофотоснимке имеют вид тонких, обычно более светлых, чем окружающий фон, нитей.

Грунтовые дороги дешифрируются по форме — это линии более или менее извилистые, неравномерной ширины, местами с разветвлениями (разъезды в неудобных местах), края линий нерезкие. Тон фотоизображения грунтовой дороги светлый. Он зависит от свойств грунта и степени использования дороги. Чем относительно светлее грунт, чем интенсивнее используется дорога, тем тон изображения ее светлее. Улучшенные грунтовые дороги изображаются лентой равномерной ширины с более или менее длинными прямолинейными участками.

Шоссе выходят на аэроснимках в виде очень светлой узкой ленты равномерной ширины с длинными прямолинейными участками и плавными поворотами.

Железнодорожный путь на аэрофотоснимках крупного масштаба безошибочно определяется по наличию двух параллельных очень узких линий — рельс. При средних и мелких масштабах аэрофотосъемок железнодорожный путь дешифрируется по его общей форме — узкой линии одинаковой ширины, прямолинейной на большой протяженности с плавными закруглениями — и по наличию легко определяемых при стереоскопическом рассматривании насыпей и выемок.

Мосты на аэрофотоснимках определяются и непосредственно по узкой полоске с резко очерченными краями меньшей ширины, чем дорога, пересекающая препятствие. Дорога, пересекающая реку или болото, является достоверным косвенным дешифровочным признаком на проходимость этих мест, на наличие брода, гати и т.д.

Гать через болото дешифрируется по форме узкой, четко ограниченной полоски. Полоска более однородная по тону и структуре соответствует изображению гати хорошего состояния, менее однородная, с черными пятнами (изображение провалов с водой), наоборот, свидетельствует о плохом состоянии гати.

Торфоразработки дешифрируются по следующим признакам. Для внутреннего рисунка их характерно изображение карьеров — длинных (вдоль всего торфяного массива), узких, темноокрашенных полос с более светлыми границами или перемычками, расположенными параллельно. Характерны, но менее четко изображаются поперечные, светлые полосы, пересекающие темные полосы. Рядом с описанным рисунком расположены однородные по тону и форме темноокрашенные усеченные пирамиды (штабеля торфа). С внешней стороны от контура торфоразработок отходит узкая темная лента, прямолинейная, с четкими границами — канава, отводящая воду с торфяного массива.

Водные объекты — реки, озера, пруды и т.д. — дешифрируются с большой достоверностью по тону (обычно очень темные), по форме (извилистая лента изображает русло реки, круглое, овальное или более сложной формы пятно — озеро и пруд). Характерным признаком дешифрирования водных объектов является резкое отличие от окружающего рисунка, резкая очерченность границ фотоизображения. По аэрофотоснимкам легко определяются каналы. По форме каналы изображаются в виде прямолинейной полосы, равномерной по ширине для ряда участков или для всего канала. Тон фотоизображения каналов обычно очень темный.

Оросительные каналы дешифрируются по тем же признакам, кроме того, от более широкой полосы (канала) в разные или в одну сторону под определенным углом и через определенные промежутки ответвляются более узкие полоски, которые, в свою очередь, также разветвляются (оросительные каналы). Аналогично выглядит осушительная сеть.

Дешифрирование сельскохозяйственных угодий дает возможность почвоведу определить такой фактор почвообразования, как хозяйственная деятельность человека.

Пашня на аэрофотоснимках имеет резко выраженные границы, контуры ее чаще всего прямоугольной формы. Тон фотоизображения находится в зависимости от зоны, в которой она располагается, и от ее состояния. Так, пашня в дерново-подзолистой зоне изображается светлыми тонами, от очень светлого до светло-серого, а в лесостепной зоне — темными или очень темными тонами. В то же время в дерново-подзолистой зоне пашня под всходами хлебов, под травосмесями может изображаться серым или темно-серым тоном, стерня в черноземной зоне — светло-серым и светлым тонами. Одним из характерных и постоянных признаков дешифрирования пашни является рисунок линейной полосчатости, соответствующий бороздам пахоты, направлению, в котором производилась обработка почвы, рядкам растений. Этот рисунок особенно отчетливо виден на аэроснимках свежевспаханых почв. Он пропадает лишь при фотоизображении песчаных пашен.

Залежи дешифрируются по признакам, описанным выше, характерным для фотоизображения пашен. Но для залежи это рисунок менее отчетливый, он маскируется рисунком естествен-

ной растительности, но в то же время достаточно ясный для достоверного опознавания. Залежи, зарастающие лесом, опознаются с большим трудом и менее достоверно. Целинные земли изображаются на аэрофотоснимках в виде ряда рисунков фотоизображения в соответствии с растительным покровом той или иной зоны.

Леса на аэрофотоснимках дают зернистый или крапчатый рисунок фотоизображения, преимущественно темных тонов. Леса с квартальной сетью дешифрируются также достоверно. Они изображаются в виде зернистого или крапчатого рисунка, пересеченного сеткой квадратов. Стороны квадратов, имеющие вид узких лент, соответствуют в действительности просекам. Просеки хорошо просматриваются под стереоскопом.

Луга заливные хорошо определяются на аэрофотоснимках по контакту с руслом реки (темная извилистая лента), рисунок фотоизображения луга однородный, бесструктурный или в виде «вееров блуждания», или разреженно крапчатый, всегда темно-серой или темной окраски. Луга, используемые в качестве сенокосов, дешифрируются благодаря наличию изображения стогов — белых черточек, разбросанных по однородному темноокрашенному фону, копен — белых точек, рядков скошенной травы — белых зигзагообразных черточек. Луга суходольные и выгоны изображаются в виде пятен разной формы, бесструктурного рисунка, серого и темно-серого тонов.

Сады изображаются в виде контуров чаще всего правильной формы со структурным рисунком, представленным крупными зернами, равномерно друг от друга отстоящими. Тона изображения серый и темно-серый.

Вопросы к главе 4

1. Что такое дешифрирование космических снимков?
2. Какие признаки используют при тематическом дешифрировании аэрокосмических изображений?
3. Какие прямые дешифровочные признаки используют при анализе аэрокосмических изображений?
4. Какие показатели учитываются при дешифрировании почвенного покрова?
5. Какие особенности дешифрирования сельскохозяйственных угодий учитывают при анализе аэрокосмических изображений?

ЗАНЯТИЕ 1. ЗНАКОМСТВО С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Программа QGIS

На сегодняшний день программы для работы с геоинформационными системами активно развиваются и становятся все более доступными широкому кругу пользователей. Их функционал постоянно расширяется, это справедливо в том числе и для бесплатных продуктов. Одна из наиболее распространенных — программа QGIS (Quantum GIS) — представляет собой простой и удобный инструмент, распространяющийся по лицензии GNU General Public License. QGIS является проектом с открытым исходным кодом (Open Source Geospatial Foundation [OSGeo]). Она является кроссплатформенной и работает на всех распространенных операционных системах — Linux, Unix, Mac OS, Windows и Android, поддерживает множество векторных, растровых форматов, баз данных, модулей и плагинов, обладает широкими возможностями.

Программу установки OSGeo4W можно скачать по следующей ссылке: <https://qgis.org/download/>. Скачанный файл представляет собой сетевой установщик, который не содержит в себе файлов установки, но скачает все необходимые компоненты.

Открытые источники данных дистанционного зондирования Земли

Данные дистанционного зондирования часто служат топографической основой картосхем различного назначения, базой для формирования тематических слоев геоинформационных систем, источником данных для расчетов вегетационных индексов и многих других задач. Подобные материалы распространяются как на коммерческой основе, так и бесплатно. Среди сервисов, предоставляющих подобные продукты, можно отметить такие ресурсы, как Геологическая служба США (USGS), Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (NASA), Европейское космическое агентство (ESA) и др.

1.1. Геологическая служба США (USGS)

Одним из наиболее распространенных и доступных источников данных по дистанционному зондированию служит Геологическая служба США, которая предоставляет доступ исследователям из различных областей науки и практики к различным снимкам, в том числе систем LANDSAT, Sentinel и др. [19]. Для получения доступа к ресурсам службы необходимо пройти регистрацию на сайте по ссылке:

https://ers.cr.usgs.gov/login?RET_ADDR=https%3A%2F%2Fearthexplorer.usgs.gov%2F%3F.

Регистрация включает несколько этапов. Прежде всего необходимо составить имя пользователя (обратите внимание, имя пользователя должно содержать от 4 до 30 символов, может включать как буквы, так и цифры, а также специальные символы) и внести его в поле Username (рис. 9). Составить пароль (пароль должен содержать от 12 до 24 символов, не менее одной буквы и одной цифры, а также может включать некоторые специальные символы) и внести его в поле New Password, снова ввести пароль в поле Confirm New Password для подтверждения.

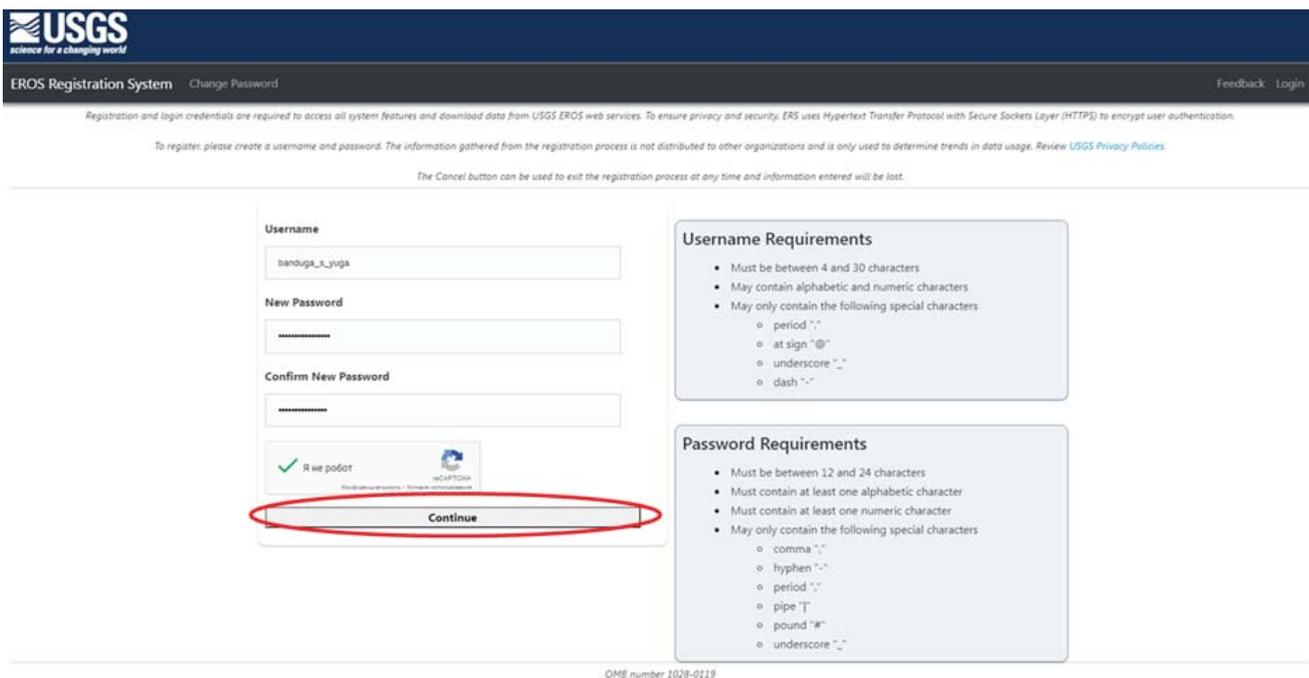


Рисунок 9. Окно составления имени пользователя и пароля в системе USGS

После нажатия кнопки Continue («Продолжить») откроется анкета пользователя. В качестве рекомендуемых можно использовать параметры, приведенные на рисунках 10–14.

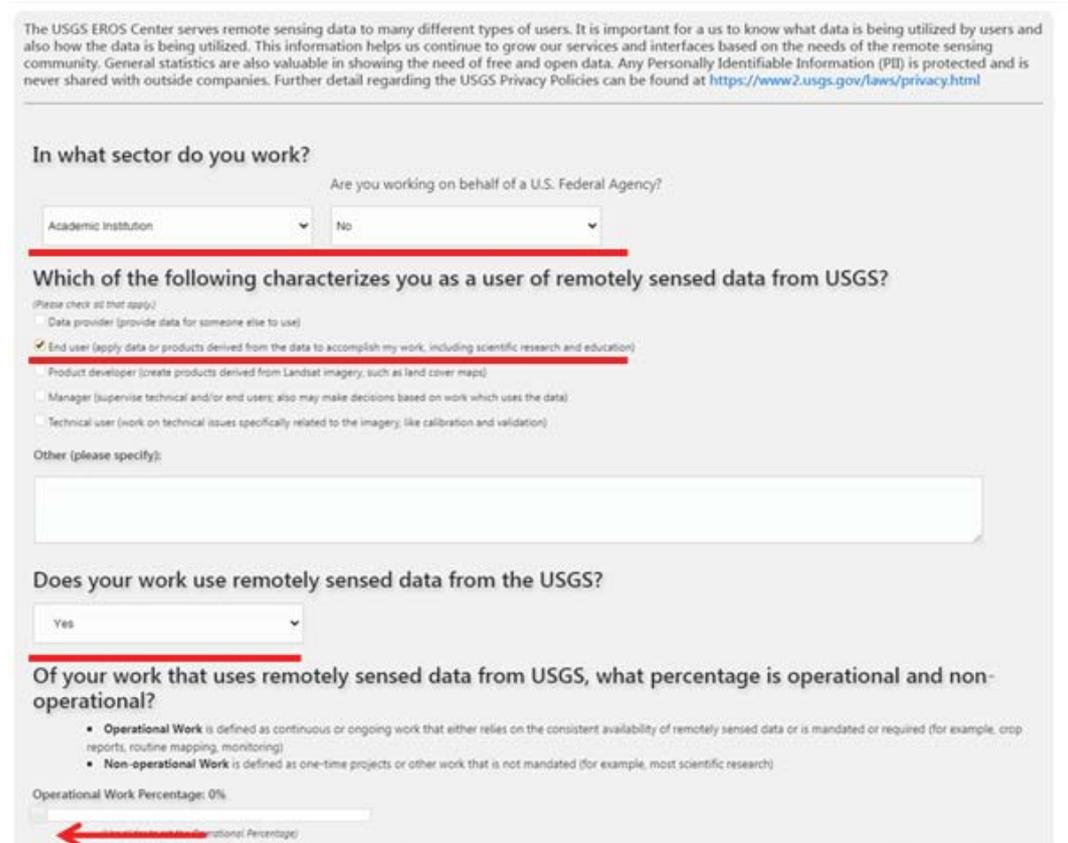


Рисунок 10. Регистрационная анкета в системе USGS (часть 1)

Operations with Percentage: 0%

(Use slider to set the Operations Percentage)

What is the primary application for which you have used remotely sensed data from USGS in the past year?

Ecological/ecosystem science/monitoring

In addition to the primary application, in what other areas have you used remotely sensed data from USGS in the past year?

(Please check all that apply)

I have not used it in other areas

<input type="checkbox"/> Agriculture forecasting	<input checked="" type="checkbox"/> Agricultural management/production/conservation
<input type="checkbox"/> Alternative energy exploration/development	<input type="checkbox"/> Assessments and taxation
<input type="checkbox"/> Biodiversity conservation	<input type="checkbox"/> Climate science/change
<input type="checkbox"/> Coastal science/monitoring/management	<input type="checkbox"/> Cryospheric science
<input type="checkbox"/> Cultural resource management/anthropology/archaeology	<input type="checkbox"/> Ecological/ecosystem science/monitoring
<input type="checkbox"/> Education K-12	<input type="checkbox"/> Education: university/college
<input type="checkbox"/> Emergency/disaster management	<input type="checkbox"/> Energy/metals/minerals exploration/extraction/development
<input type="checkbox"/> Engineering/construction/surveying	<input type="checkbox"/> Environmental regulation
<input type="checkbox"/> Fish and wildlife science/management	<input type="checkbox"/> Fire science/management
<input type="checkbox"/> Forest science/management	<input type="checkbox"/> Geology
<input type="checkbox"/> Humanitarian aid	<input type="checkbox"/> Hazard insurance
<input type="checkbox"/> Land use/land cover change	<input type="checkbox"/> Law enforcement
<input type="checkbox"/> Defense/national security	<input type="checkbox"/> Public health
<input type="checkbox"/> Range/grassland science/management	<input type="checkbox"/> Real estate/property management
<input type="checkbox"/> Recreation science/management	<input type="checkbox"/> Rural planning and development
<input type="checkbox"/> Software development	<input type="checkbox"/> Telecommunications
<input type="checkbox"/> Technical training	<input type="checkbox"/> Transportation
<input type="checkbox"/> Urban planning and development	<input type="checkbox"/> Urbanization
<input type="checkbox"/> Utilities	<input type="checkbox"/> Water resources

Other Application

Рисунок 11. Регистрационная анкета в системе USGS (часть 2)

<input type="checkbox"/> Engineering/construction/surveying	<input type="checkbox"/> Environmental regulation
<input type="checkbox"/> Fish and wildlife science/management	<input type="checkbox"/> Fire science/management
<input type="checkbox"/> Forest science/management	<input type="checkbox"/> Geology
<input type="checkbox"/> Humanitarian aid	<input type="checkbox"/> Hazard insurance
<input type="checkbox"/> Land use/land cover change	<input type="checkbox"/> Law enforcement
<input type="checkbox"/> Defense/national security	<input type="checkbox"/> Public health
<input type="checkbox"/> Range/grassland science/management	<input type="checkbox"/> Real estate/property management
<input type="checkbox"/> Recreation science/management	<input type="checkbox"/> Rural planning and development
<input type="checkbox"/> Software development	<input type="checkbox"/> Telecommunications
<input type="checkbox"/> Technical training	<input type="checkbox"/> Transportation
<input type="checkbox"/> Urban planning and development	<input type="checkbox"/> Urbanization
<input type="checkbox"/> Utilities	<input type="checkbox"/> Water resources

Other Application

Over the next year, approximately how much of the remotely sensed data you acquire from USGS will you distribute to others to use as opposed to using it yourself?

None of the data

Over the next year, how important will free and open access to remotely sensed data from USGS be to conducting your work?

Very Unimportant

Continue to Contact Information

Рисунок 12. Регистрационная анкета в системе USGS (часть 3)

В следующей части анкеты (рис. 13) необходимо заполнить графы, указав свое имя, фамилию, организацию, а также активный адрес электронной почты.

First Name	Vladislava
Last Name	Potapova
Company/Organization	RGAU-MSHA named K.A.Timiryazev
Address 1	Timiyazevskaya street
Address 2	
Country	RUSSIA
City	Moscow
State/Province	
Zip/Postal Code	127550
E-mail	

Рисунок 13. Регистрационная анкета в системе USGS (часть 4)

В графе Address можно указать адрес Вашей организации. Если при попытке зарегистрироваться возле адреса пишется «Ошибка», нужно убрать цифры и знаки препинания из адреса. Завершаем ввод данных нажатием Submit Registration (рис. 14).

Demographic Information	
Operational Work Percentage: 0%	Affiliation: Academic Institution
Non-Operational Work Percentage: 100%	
Free and Open Access Importance: Very Unimportant	
Distribution Amount: None of the data	
Primary Usage: Ecological/ecosystem science/monitoring	
Secondary Usage: Agricultural management/production/conservation	
Usage Characteristics: End user (apply data or products derived from the data to accomplish my work, including scientific research and education)	
<input type="button" value="Submit Registration"/>	

Рисунок 14. Окончание процедуры ввода данных системе USGS (часть 5)

После ввода данных необходимо подтвердить новую учетную запись с помощью письма, которое система пришлет на электронный адрес, указанный при регистрации (рис. 15).

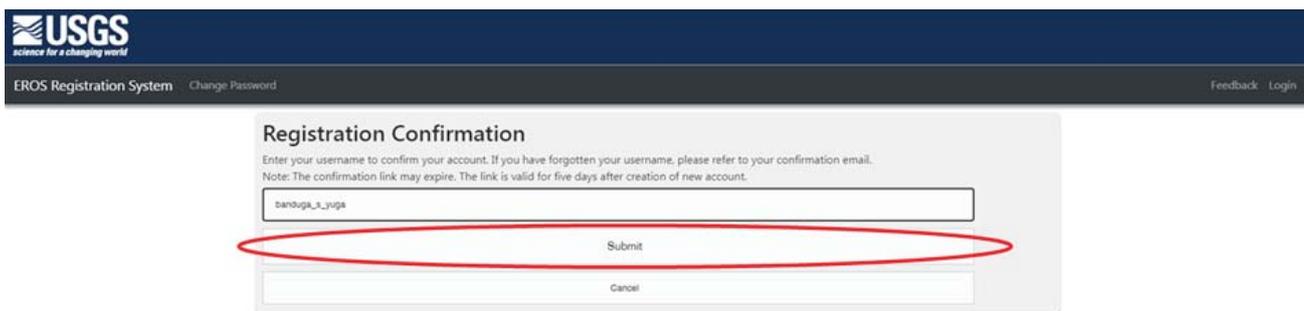


Рисунок 15. Подтверждение аккаунта в системе USGS (часть 6)

Полученные учетные данные рекомендуется записать на бумажный носитель, с целью сохранения и последующего использования. После выполненных процедур откроется доступ к материалам службы через сервис <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

1.2. Европейское космическое агентство (ESA)

Другим бесплатным источником космоснимков, в частности систем Sentinel, служит программа «Коперник» (Copernicus) Европейского космического агентства. В рамках данной программы осуществляются длительные непрерывные наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, морской среды, климатическими показателями и явлениями, свойствами поверхности планеты, включая растительный покров, животный мир, деятельность человека. Пул предоставляемых данных составляет данные не только космической съемки, но и наземных станций, измерений с водных и воздушных систем наблюдения. Программа была названа в честь Николая Коперника — выдающегося ученого и астронома, автора теории о гелиоцентрической Вселенной.

Работать с этим ресурсом из России в настоящее время возможно только через VPN. Процедура регистрации в данном случае выглядит следующим образом. Сначала необходимо пройти по ссылке на сайт Агентства: <https://dataspace.copernicus.eu/> и выбрать поле “Sign up” (рис. 16).

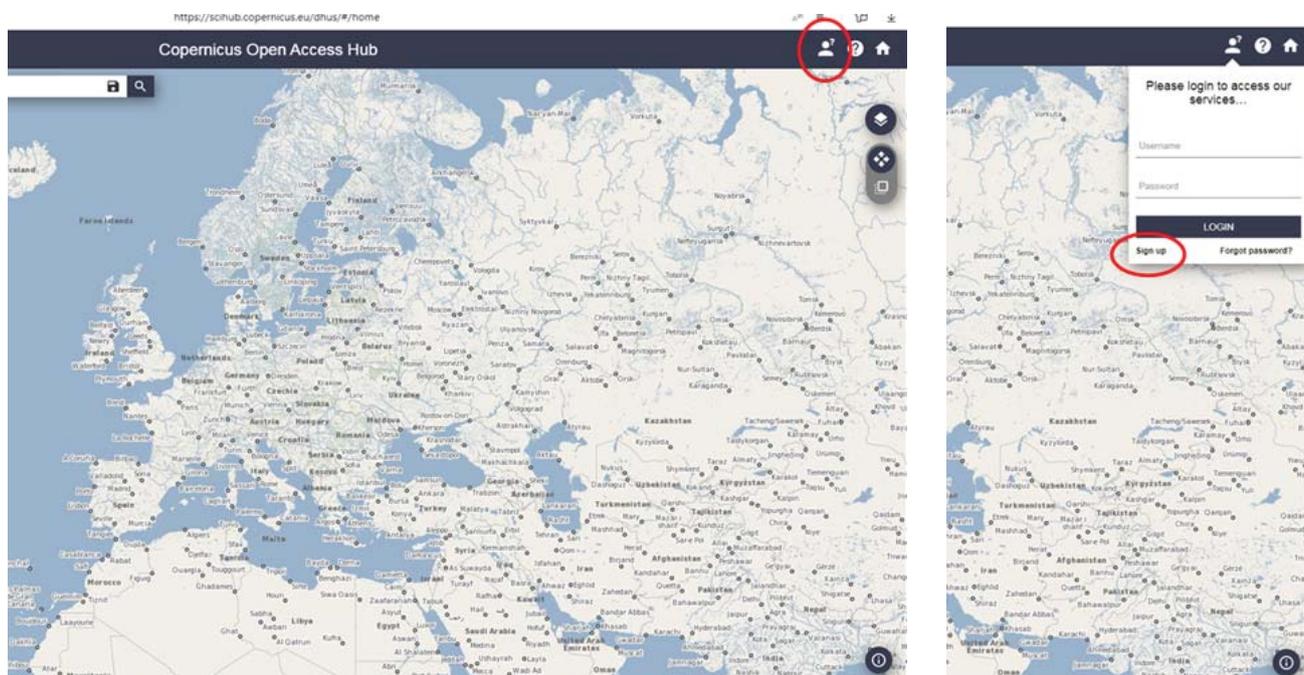


Рисунок 16. Порядок регистрации в системе Copernicus ESA

Регистрационные данные также рекомендуется сохранить на бумажном носителе для дальнейшего оперативного использования.

1.3. Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (NASA)

Последним из рассматриваемых на данном занятии сервисов будет Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства, которое также позволяет получать данные дистанционного зондирования для различных задач и пользователей бесплатно.

Как и в предыдущих случаях, доступ к ресурсам предоставляется после короткой регистрации на сайте: <https://urs.earthdata.nasa.gov/>. Интерфейс ресурса является типовым (рис. 19), и для создания учетной записи требуется выбрать пункт Register на главной странице веб-сайта.

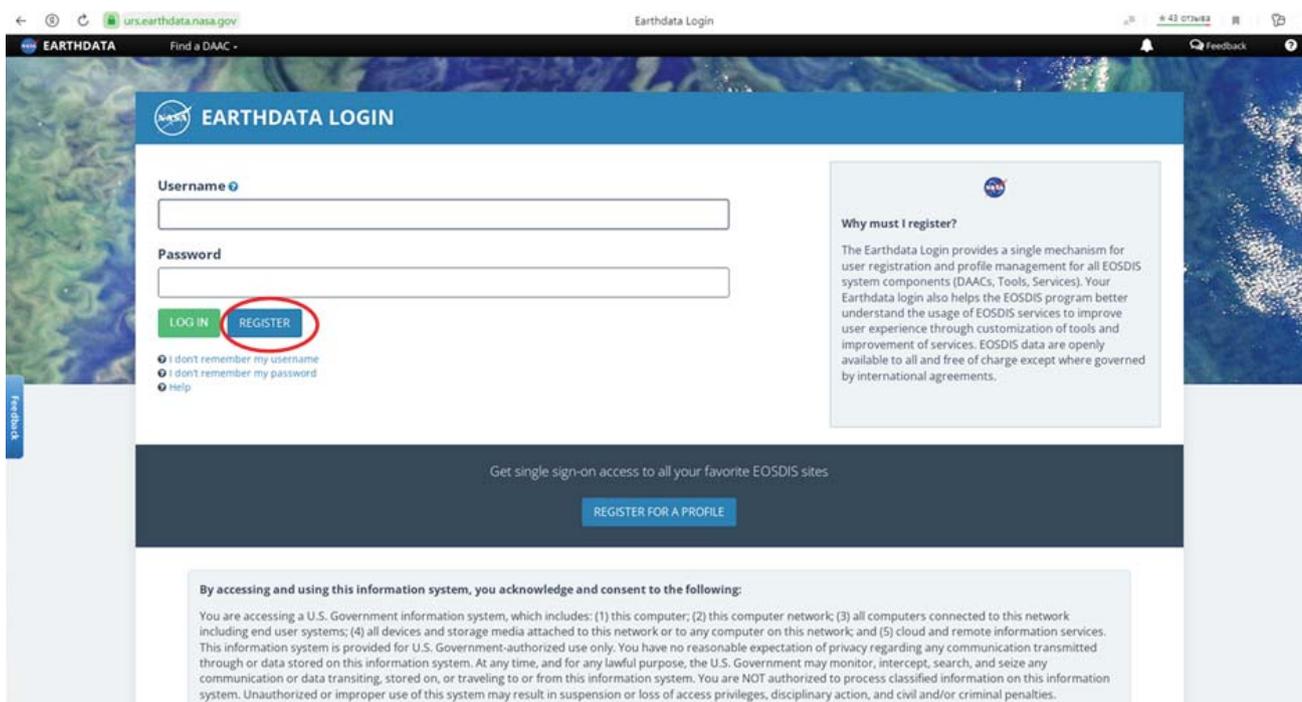


Рисунок 19. Титульная страница для авторизации в системе NASA

Далее необходимо создать имя пользователя и пароль, а также идентификационные данные, включая имя, фамилию и адрес электронной почты (рис. 20). Обратите внимание на требования к подбору пароля и логина.

Register for an Earthdata Login Profile

Profile Information

Username: *
banduga_s_yuga

Password: *
.....

Password Confirmation: *
.....

Required field

Username must:

- Be a Minimum of 4 characters
- Be a Maximum of 30 characters
- Use letters, numbers, periods and underscores
- Not contain any blank spaces
- Not begin, end or contain two consecutive special characters(. _)

Password must contain:

- Minimum of 8 characters
- One Uppercase letter
- One Lowercase letter
- One Number

User Information

First Name: *
Vladislava

Last Name: *
Potapova

Middle Initial:
.....

E-mail: *
.....
E-Mail Address is required

Country Information

Рисунок 20. Форма регистрации на сайте NASA

В следующей части регистрационной формы (рис. 21) необходимо указать страну проживания, тип использования, организацию и аффилиации.

Country Information

Country: *
Russian Federation

Affiliations

Affiliation: *
Education

User Type:
Public User

If 'other' selected above:
.....

Organization:
RGAU-MSHA named K.A. Timiryazev

Study Area:
Land Processes

Agreements

Please notify me via email with important information about EOSDIS science data products (e.g. updates, new data releases, quality issues), EOSDIS applications/tools (e.g. updates, service outages), and other relevant information for users.

Yes, I'm interested in Meris and ESA Sentinel-3 Data.

By clicking the REGISTER FOR EARTHDATA LOGIN button below, you are acknowledging that all Earthdata Login applications running in DAACs will have access to my profile information. Information in user profiles complies with NASA's Web Privacy Policy

Рисунок 21. Форма регистрации на сайте NASA (часть 2)

Завершаем заполнение формы нажатием кнопки регистрации (рис. 22).

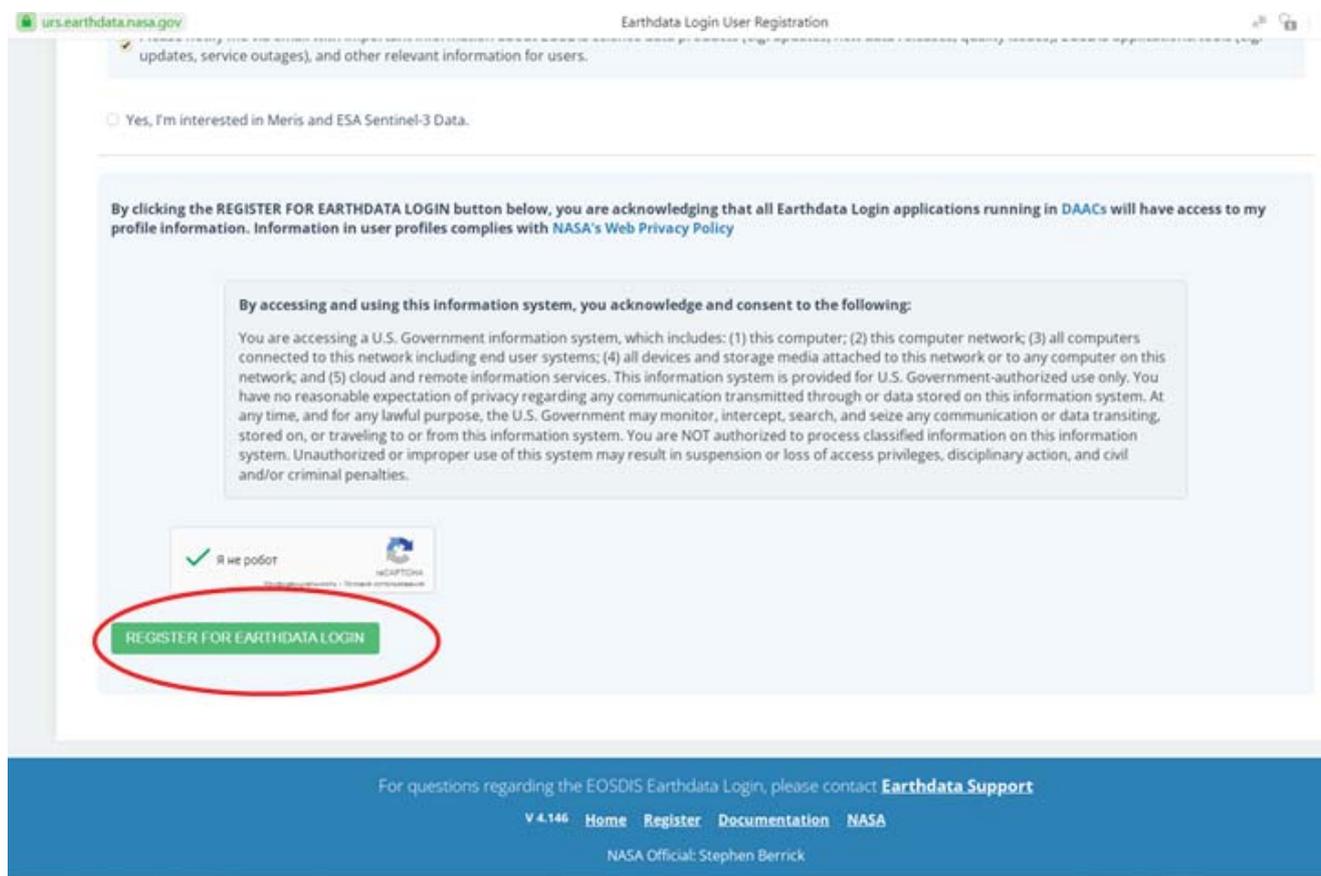


Рисунок 22. Форма регистрации на сайте NASA (часть 3)

ЗАНЯТИЕ 2. ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ SRTM (РАДАРНАЯ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА) И ИМПОРТ В ПРОГРАММУ QGIS

2.1. Описание радарной топографической съемки SRTM

В феврале 2000 года в рамках миссии STS-99 с помощью космического челнока «Индевор» была запущена радарная топографическая съемка большей части поверхности планеты (рис. 23). Радиолокационная съемка является одним из способов получения цифровых моделей рельефа (ЦМР, DEM) наряду с наземной геодезической съемкой, фотограмметрией (метод основан на сопоставлении стереопар), метода воздушного лазерного сканирования и т.д. [20–23].

011 Съемка использует метод радиолокационной интерферометрии и может проводиться в любых погодных условиях и в любое время суток. Также ее несомненным достоинством служит значительный охват территории, что позволяет ускорить процесс получения данных. Некоторым ограничением метода можно считать получение информации о характере поверхности, без учета объектов, расположенных над ней. Таким образом, в ЦМР SRTM входят, например высоты деревьев, фактически мы получаем цифровую модель поверхности (ЦМП). Для вычленения высоты именно наземной поверхности используют дополнительные методы [11].

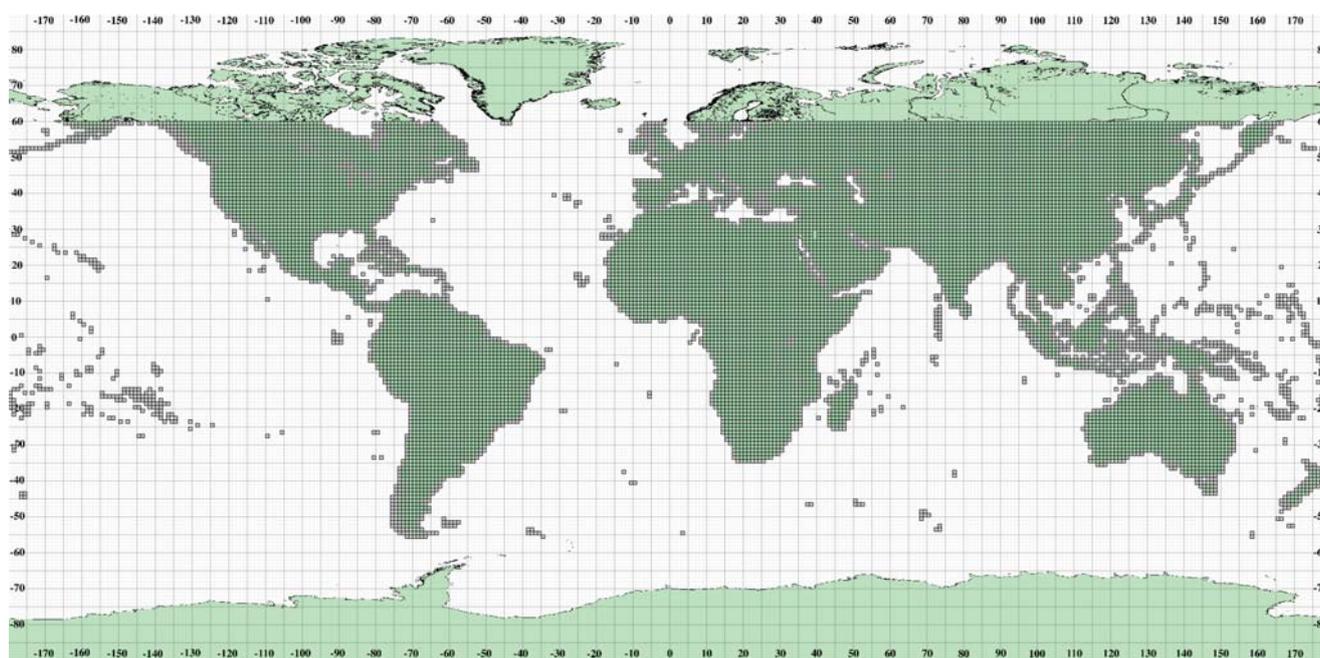


Рисунок 23. Покрытие территории Земли съемкой SRTM

Для проведения съемки на шаттле использовали два радиолокационных сенсора — SIR-C и X-SAR. Одна из антенн располагалась внутри шаттла, а другая — на выдвижной мачте длиной около 61 м (рис. 24).

С помощью шаттла «Индевор» были проведены исследования поверхности планеты для регионов севернее 60° с.ш. и южнее 56° ю.ш. В результате обработки полученных данных была составлена цифровая модель рельефа с размером пикселя около 30 м (1 угловая секунда долготы).

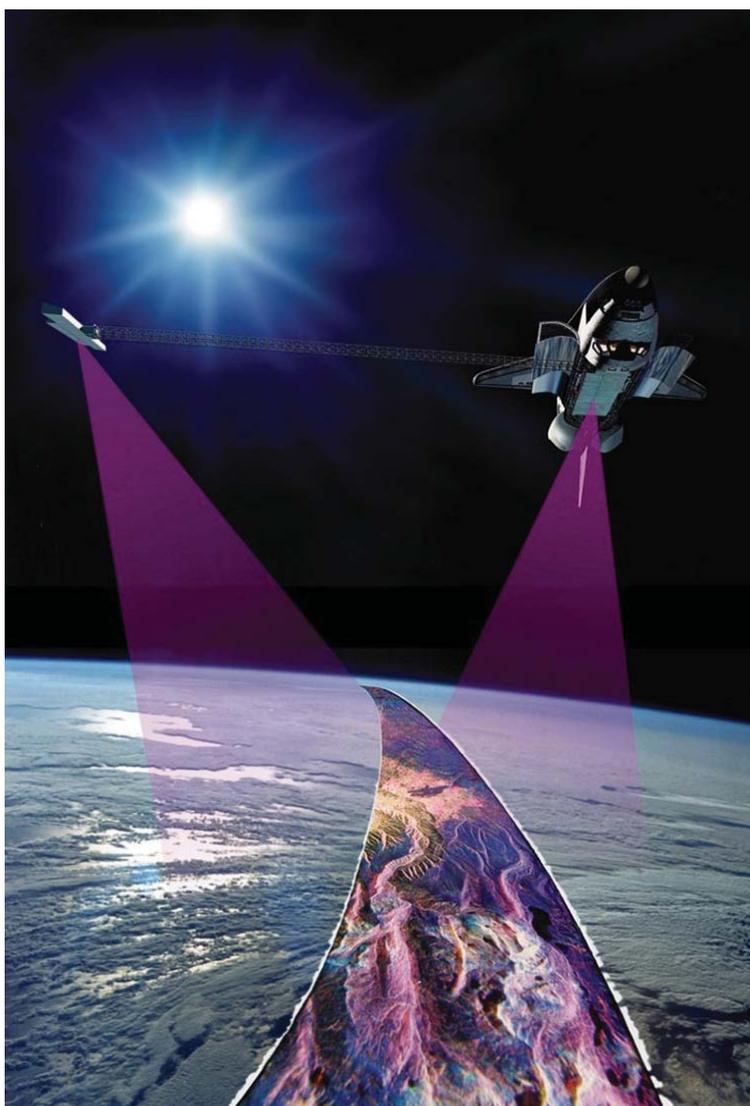


Рисунок 24. Схема работы шаттла «Индевор» на орбите (высота около 230 км). Изображение взято с сайта commons.wikimedia.org ГИС

Растровые изображения SRTM разделены на квадраты (тайлы), каждый из которых охватывает один градус широты и один градус долготы. Названия файлов с ними соответствуют их юго-западным углам. Модели высот, полученные из данных SRTM, широко используются при создании тематических ГИС.

Различные варианты цифровых моделей рельефа особенно полезны в экологических исследованиях, где рельеф местности служит значимым фактором среды. С помощью ЦМР проводятся расчеты различных морфометрических показателей, таких как крутизна склонов и экспозиция, что позволяет идентифицировать эродированные и эрозионно опасные участки.

Данные SRTM распространяются бесплатно, и все желающие могут скачать их, например, на сайте Геологической службы США: earthexplorer.usgs.gov.

2.2. Получение снимков SRTM

Для загрузки снимков можно воспользоваться сервисом Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Прежде всего необходимо авторизоваться в сервисе (Login). После появится окно с настройками поиска снимков (Search Criteria) (рис. 25).

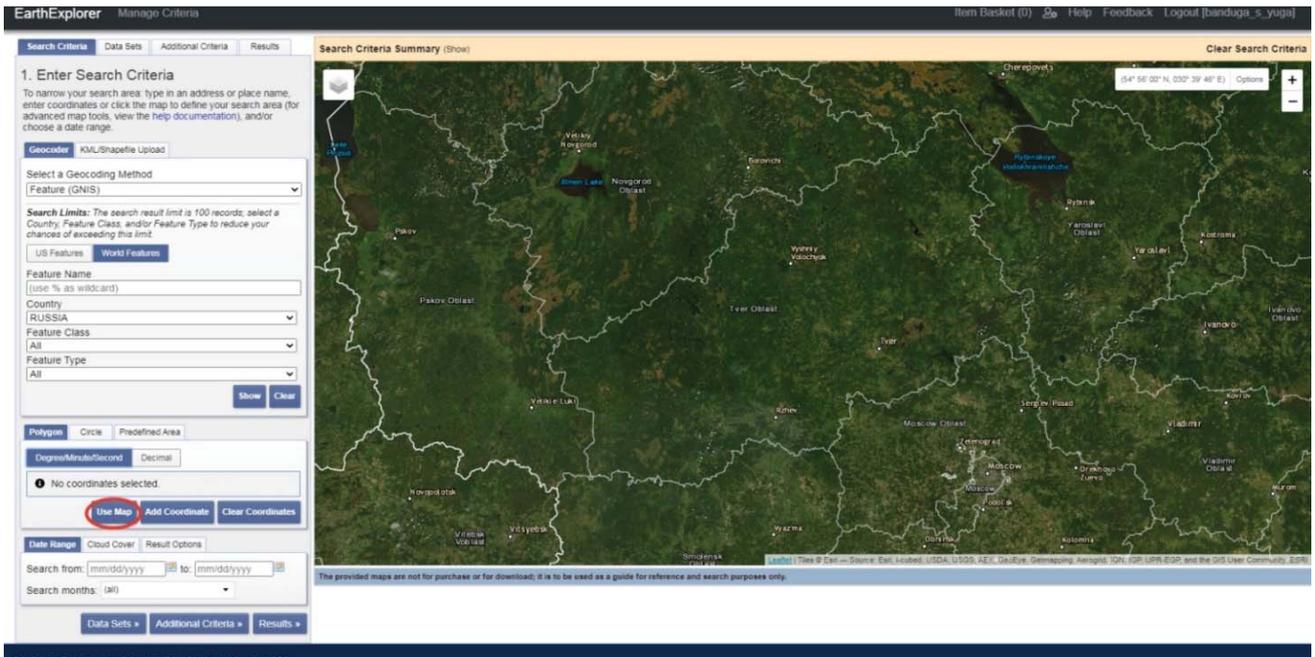


Рисунок 25. Интерфейс критериев поиска системы EarthExplorer

В меню критериев поиска следует переключиться на поиск по всей планете (World Features). Затем в выпадающем списке стран (Country) выбрать Россию (RUSSIA). После чего перейти к выбору площади для выгрузки. Для удобства можно воспользоваться пунктом выбора на карте (Use Map). Для удаления установленных отметок следует выбрать очистку координат (Clear Coordinates) или удалить каждую вручную нажатием красного креста, после чего расставить метки таким образом, чтобы была покрыта вся область выбранного субъекта (рис. 26). Установленные метки можно передвигать в произвольном порядке и добавлять новые нажатием в нужное место на карту левой клавишей мыши. Координаты также можно добавлять вручную при необходимости (Add Coordinate).

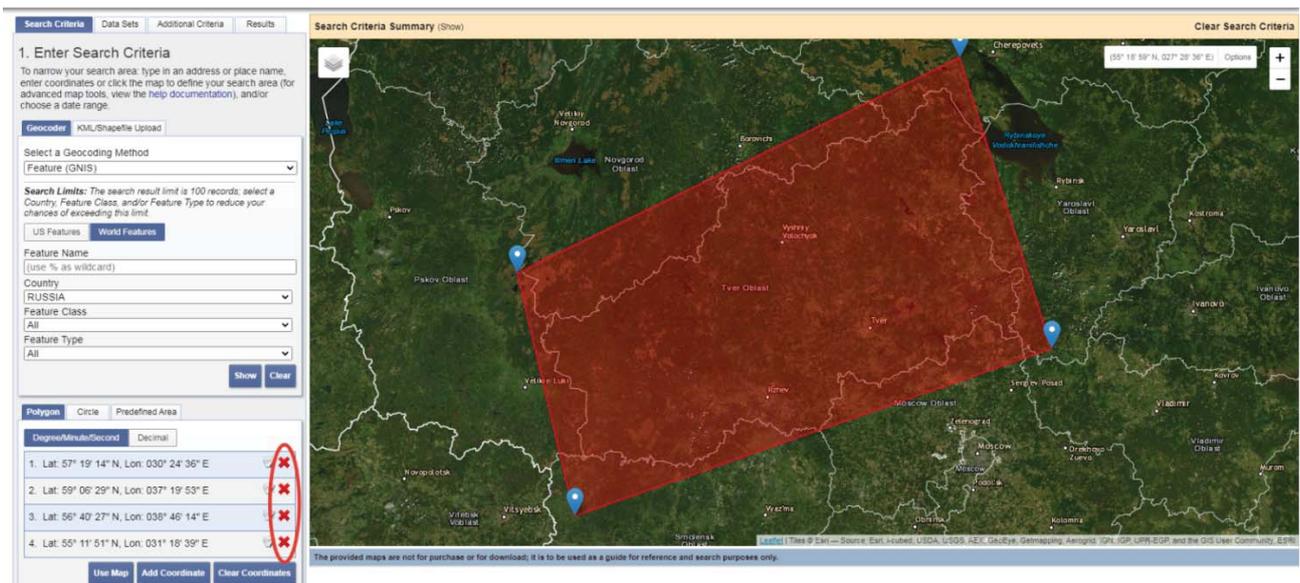


Рисунок 26. Параметры выбора участка

После установки настроек поиска переходим на вкладку выбора набора данных (2 Select your Data Set(s)) (рис. 27). Материалы ЦМР находятся в разделе цифровых высот (Digital Elevation), где в выпадающем окне необходимо выбрать SRTM и далее изображения с заполненными пустотами (Void Filled), данный вариант хорошо подходит и для участков со значительными перепадами высот.

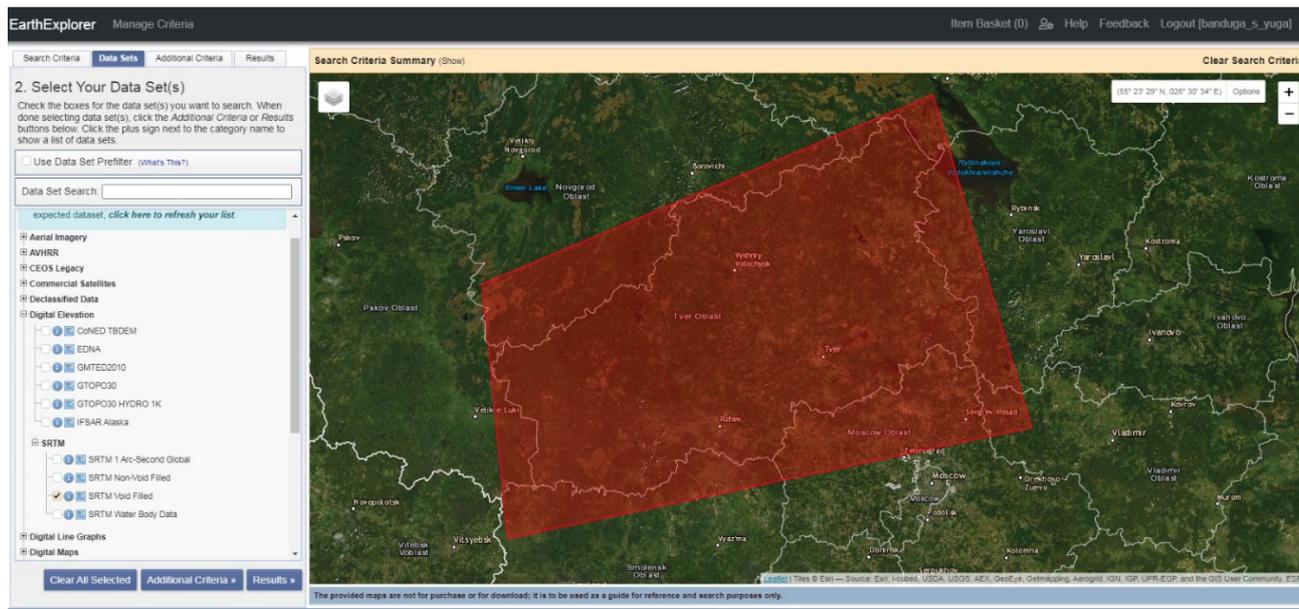


Рисунок 27. Параметры выбора базы данных

После выбора подходящего набора материалов необходимо перейти на вкладку с результатами (Results) (рис. 28). Сервис проведет поиск в соответствующей базе по заданным условиям и выведет перечень снимков подходящей территории (рис. 29).

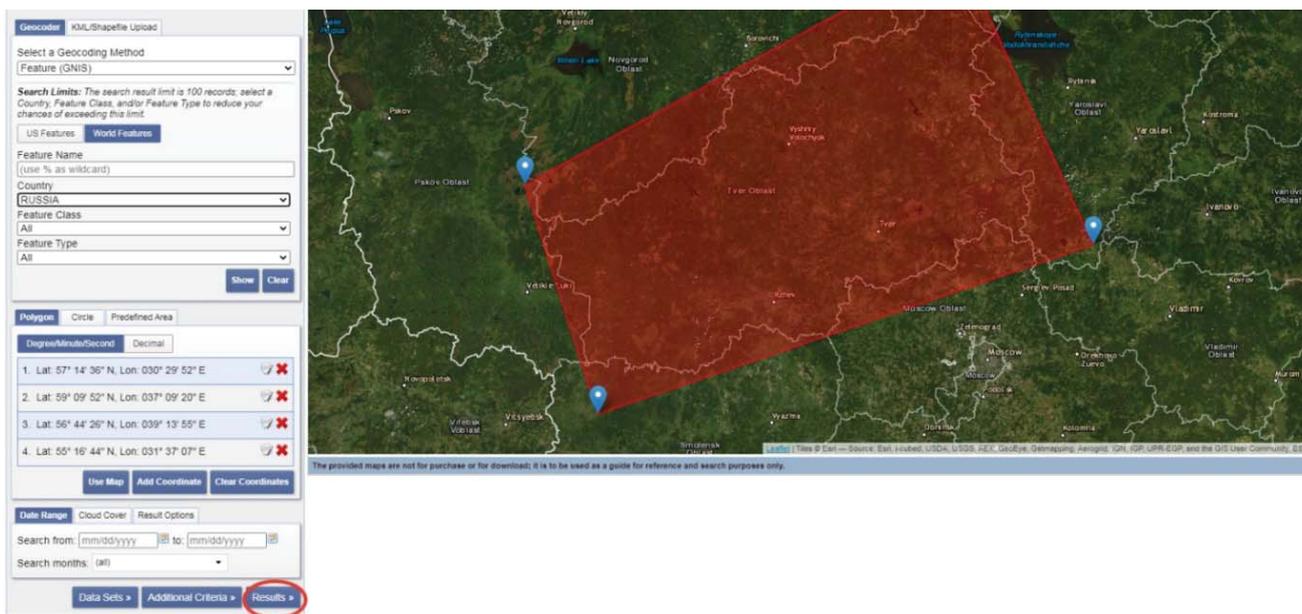


Рисунок 28. Запуск процедуры поиска изображений

Область могут покрывать несколько отдельных изображений (тайлов), в таком случае необходимо включить подсветку (иконка, похожая на ступню) и оценить степень покрытия; если снимок не попадает на территорию выбранного субъекта, его следует исключить из подборки. Оставшиеся в подборке снимки требуется загрузить в предварительно созданную подпапку «SRTM_Название региона» (Например, SRTM_Omsk). В названиях папок и файлов старайтесь использовать латиницу.

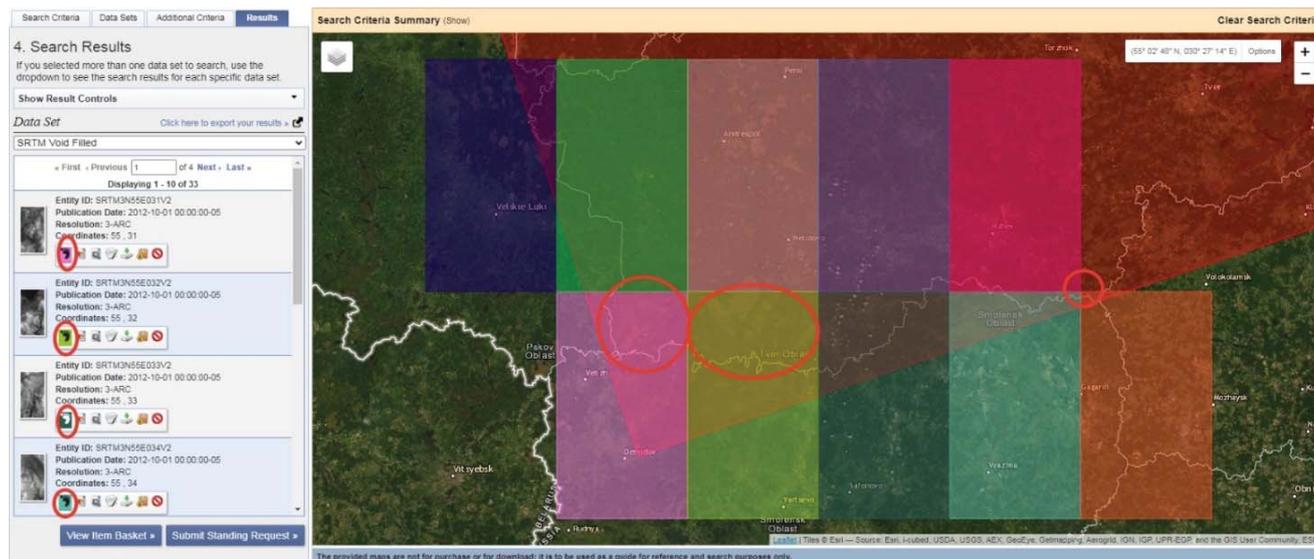


Рисунок 29. Проверка покрытия тайлами региона исследований

В случае, если список тайлов превышает 10 позиций, не рекомендуется переключаться на следующий набор. Проверить, какие из файлов уже загружены, можно в списке загрузок браузера (рис. 30). Переходить к следующей группе рекомендуется только после выгрузки всех изображений в предыдущей группе.

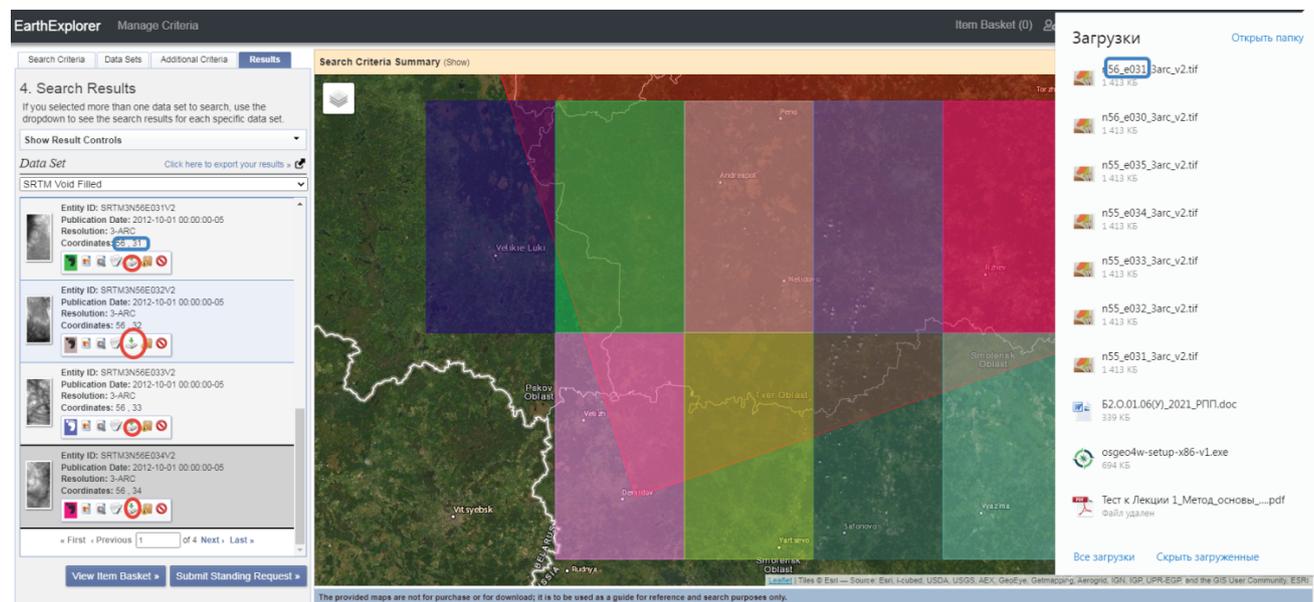


Рисунок 30. Проверка перечня загруженных файлов

Для дальнейшего импорта файлов в ГИС и работы с заданиями наиболее удобным форматом служит GeoTIFF, поэтому следует выбирать именно его при загрузке (рис. 31).

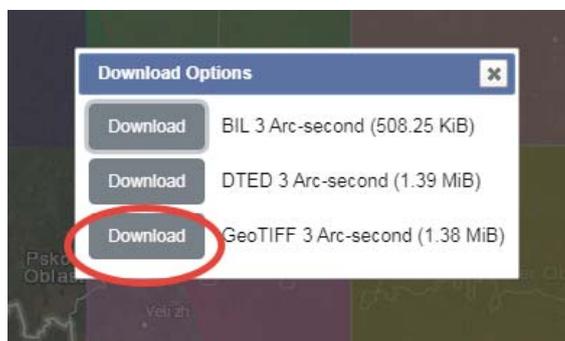


Рисунок 31. Выбор формата файла для сохранения и последующей работы

GeoTIFF является открытым форматом представления растровых данных, дополненных географической привязкой. В тегах формата могут быть заданы вид картографической проекции (система географических координат), параметры (датум) земного геоида, характерные параметры изображения и т.д.

2.3. Подключение модуля QMS

Дальнейшая работа с полученными изображениями будет реализована в программе QGIS. На начальном этапе необходимо запустить программу QGIS 3.xx и выбрать создание нового проекта (Создать пустой проект, система EPSG:4326 — WGS 84). Затем для загрузки топоосновы установить специализированный модуль Quick Map Services (QMS). Данный инструмент позволяет подгружать в проект растровые и векторные изображения из различных сервисов, таких как Яндекс.Карты, Google, ESRI и др.

Для установки модуля необходимо перейти в раздел «Модули» и выбрать «Управление модулями...» (рис. 32).

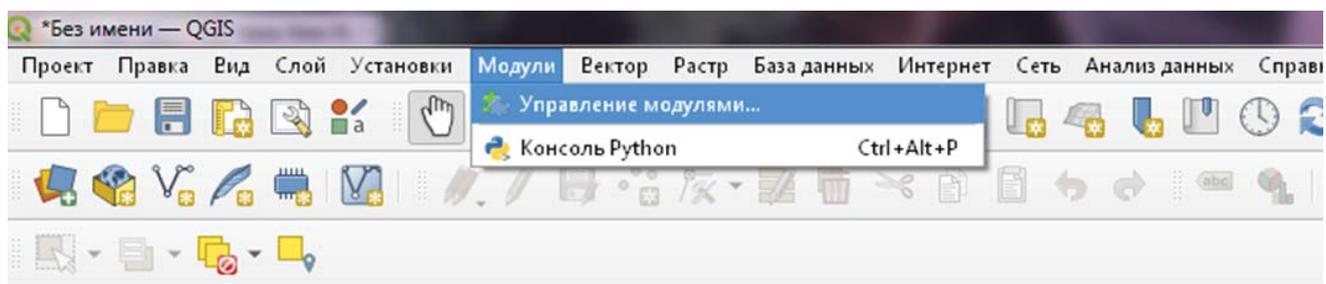


Рисунок 32. Процедура настройки модулей

Затем в строке поиска выбрать QMS и в найденном модуле нажать кнопку «Установить модуль» (рис. 33). В случае, если модуль уже имеется в программе, данный шаг можно пропустить. После установки на вкладке «Интернет» появится меню модуля QuickMapServices, где можно будет продолжить настройку.

QMS изначально содержит небольшой набор картографических сервисов, поэтому следует подключить остальную базу (рис. 34). Дополнительные картографические источники станут доступны после выбора следующих параметров: на вкладке «Интернет» выбираем QuickMapServices,

затем переходим в пункт «Настройки» и «Загрузить сервисы», нажимаем «Получить дополнительные источники данных». После получения уведомления об успешном подключении дополнительных баз меню настроек модуля можно закрыть.

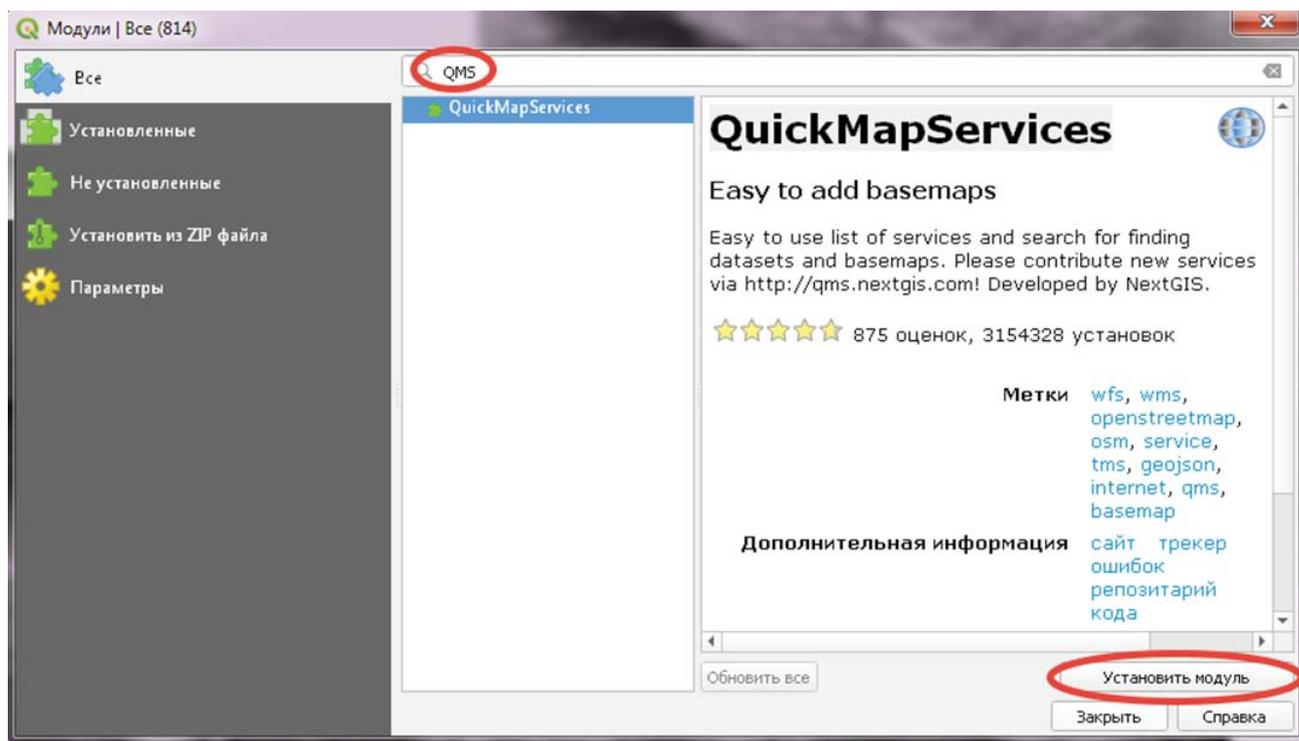


Рисунок 33. Установка модуля QMS

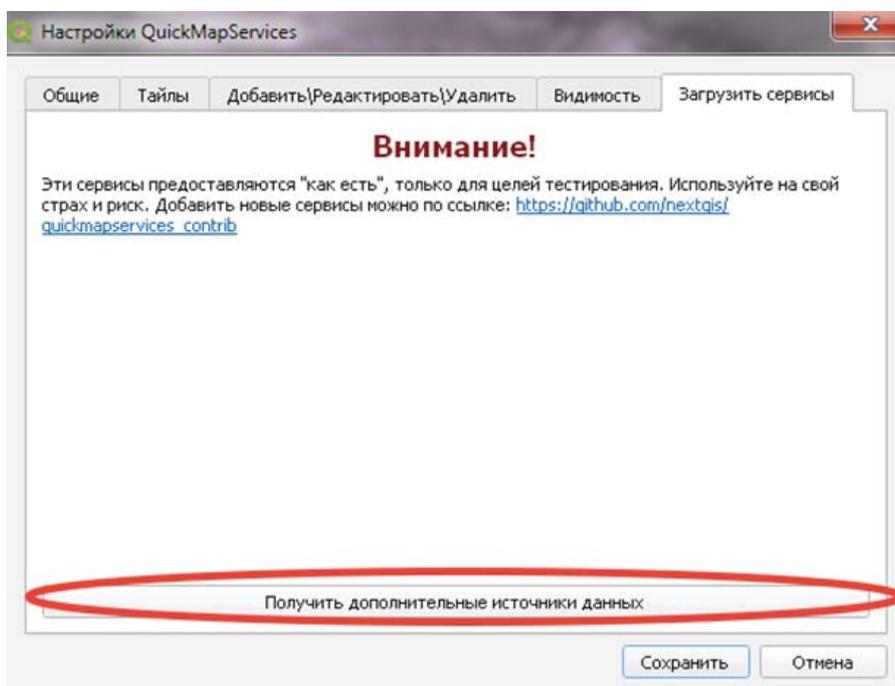


Рисунок 34. Настройка модуля QMS

После успешной установки и настройки QMS можно подключить слой с растровым снимком из сервисов Яндекс.Карты, для этого необходимо снова открыть меню «Интернет» и выбрать QuickMapServices, далее Yandex и Yandex Satellite. После чего на панели слоев отобразится соответствующий. Для сохранения проекта необходимо нажать: «Проект» — «Сохранить», добавить название и выбрать папку (старайтесь избегать кириллических символов в пути и названиях файлов).

2.4. Импорт растровых изображений SRTM в проект QGIS

Для добавления отдельных растровых изображений в проект QGIS необходимо выбрать пункты: «Слой» — «Добавить слой» — «Добавить растровый слой». В открывшемся окне необходимо выбрать папку, где загружены снимки (рис. 35).

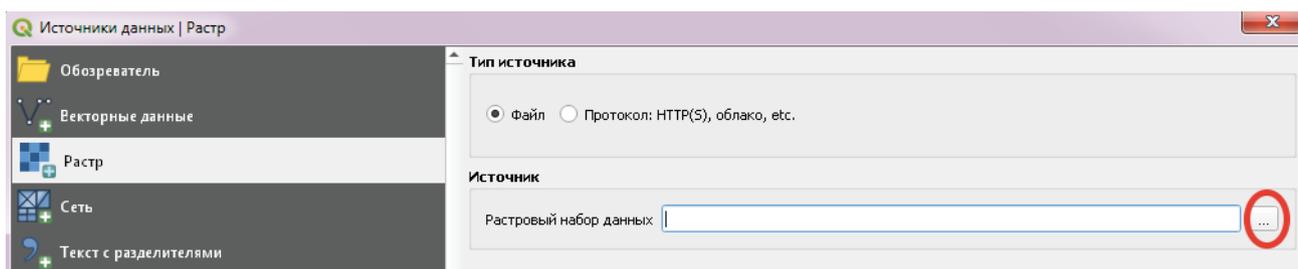


Рисунок 35. Добавление растра в проект QGIS

Программа перейдет в папку с загруженными файлами SRTM, которые необходимо выбрать, используя левую клавишу мыши и клавишу SHIFT клавиатуры. Далее выбираем пункт «Открыть» (рис. 36).

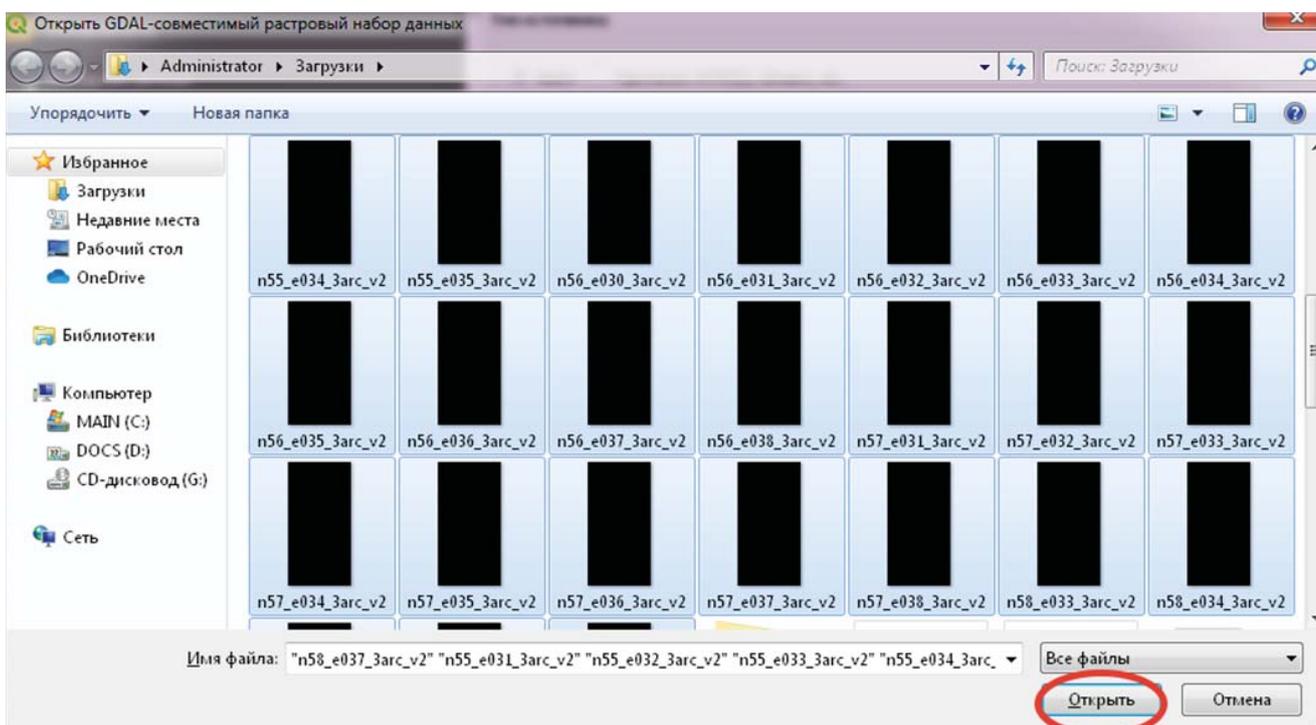


Рисунок 36. Окно выбора растров

Загруженные изображения появятся как отдельные слои на панели слева. Для удобства в дальнейшей работе их необходимо сгруппировать. Нажимаем «Добавить группу» на панели слоев и переименовываем следующим образом: «SRTM_Название региона» (рис. 37). Далее последовательно выбираем каждый из них и переносим в новую группу.

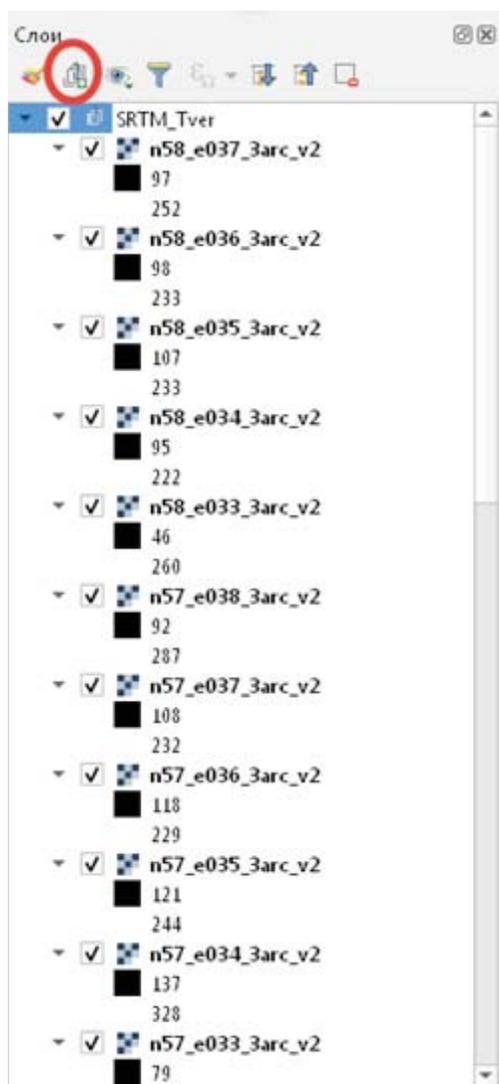


Рисунок 37. Группировка снимков SRTM

Альтернативным способом добавления растровых слоев в проект служит перемещение файлов зажатой левой клавишей мыши по принципу **Drag-and-drop** на панель слоев (слева). Аналогичным способом можно добавлять и слои, сохраненные в других форматах.

ЗАНЯТИЕ 3. ПОДГОТОВКА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Объединение тайлов

Для проведения дальнейшей работы по изучению ряда морфометрических показателей ландшафта необходимо объединить фрагменты снимков исследуемой территории в единое растровое изображение. Возможность данной операции в программе QGIS находится в разделе операций с растром (рис. 38). Для этого необходимо войти в меню и выбрать следующие пункты: «РАСТР — ПРОЧЕЕ — ОБЪЕДИНЕНИЕ РАСТРОВ» (результат объединения в некоторых версиях программы).

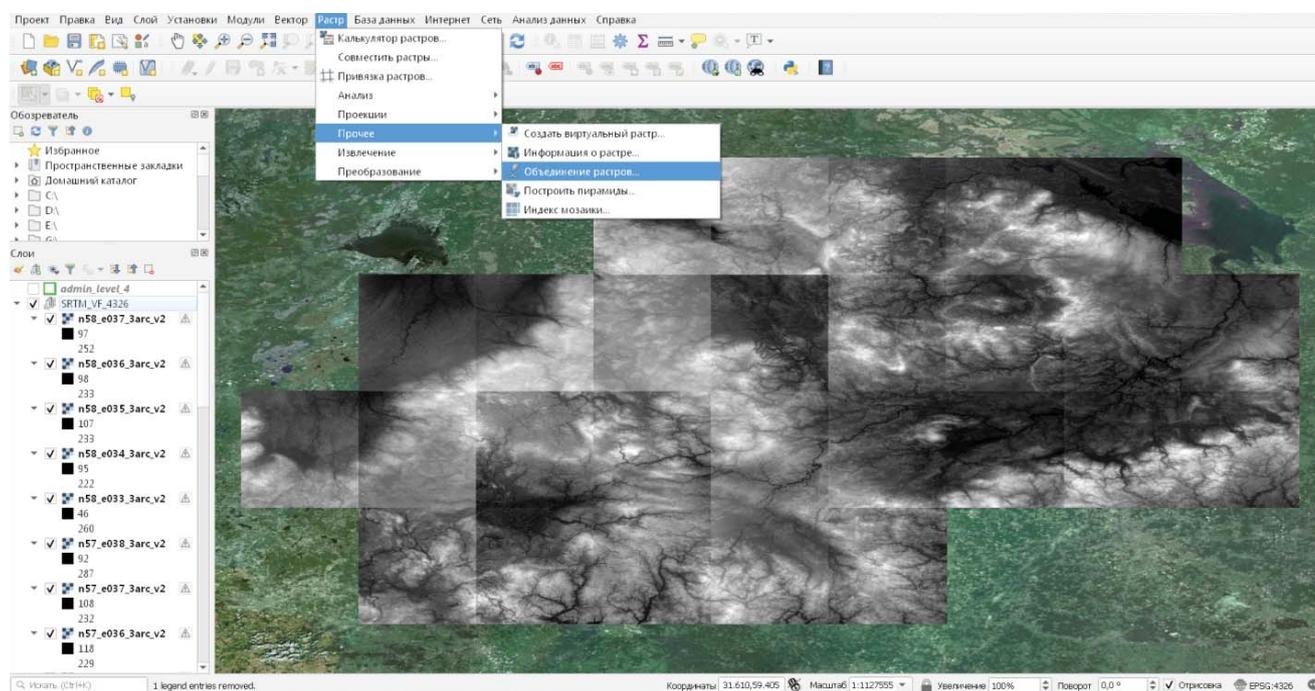


Рисунок 38. Объединение фрагментов SRTM в программе QGIS

В появившемся окне (рис. 39а) необходимо выбрать параметры настройки объединения, а именно исходные слои и место сохранения. По умолчанию результат с объединенным снимком будет сохранен во временный слой. Позднее его нужно будет сохранить в папку на диск с измененной системой координат. Для выбора слоев, которые необходимо объединить, требуется выбрать троеточие в верхнем правом углу окна. В качестве исходных слоев следует выбрать ранее загруженные растровые слои из группы SRTM_регион (рис. 39б). Обратите внимание, что включать слой подложки Yandex Satellite нельзя, так как он выходит далеко за пределы нужного субъекта и не несет информации о рельефе местности. После выбора всех нужных фрагментов нажимаем кнопку «ВЫПОЛНИТЬ» и ждем завершения операции. Полученный объединенный растр отобразится на панели слоев.

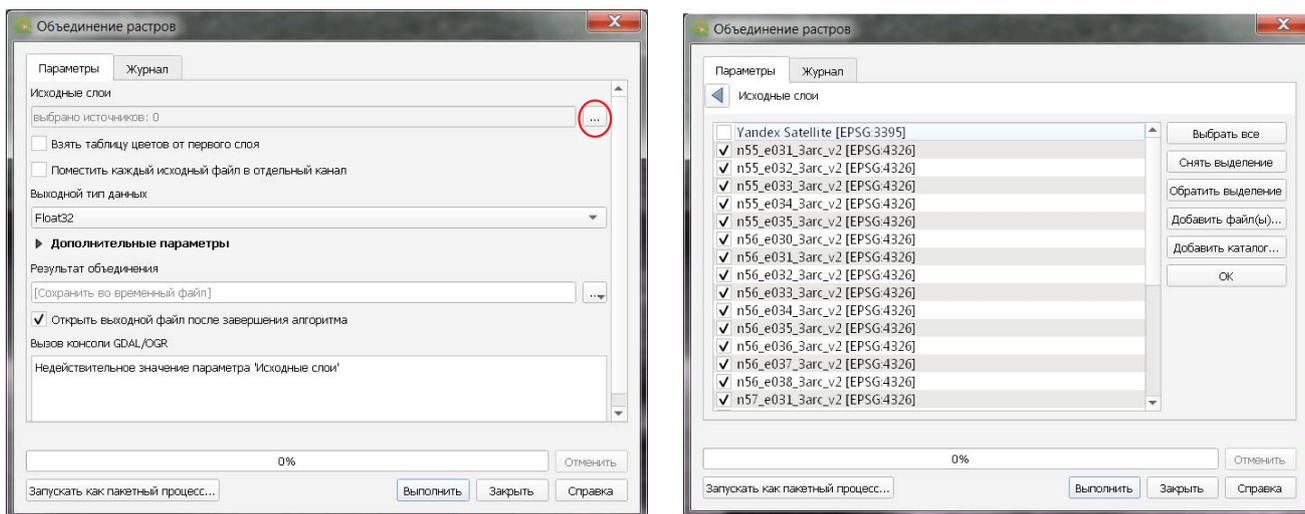


Рисунок 39. Настройка параметров объединения растра
(слева — общий вид; справа — окно выбора исходных слоев)

В случае, если он будет включен в группу с разделенными фрагментами, его необходимо будет исключить (рис. 40) нажатием правой клавиши мыши на обозначении слоя («РЕЗУЛЬТАТ ОБЪЕДИНЕНИЯ») и далее выбрать «Исключить из группы». После этого отображение групп растровых фрагментов можно отключить на панели слоев. Обратите внимание: последовательность расположения слоев на панели определяет порядок их отображения на экране и то, какой будет поверх остальных.

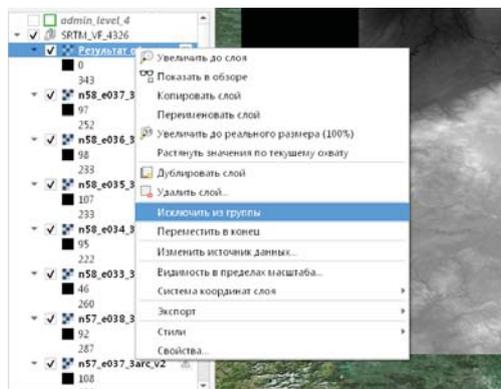


Рисунок 40. Порядок исключения слоя из группы

3.2. Корректировка системы координат и картографической проекции

По умолчанию проект создается в мировой геодезической системе координат WGS 84 (EPSG:4326). Данная проекция описывает территорию всей планеты и имеет относительно невысокую погрешность. Другими распространенными проекциями, широко используемыми в различных задачах, служат, например проекция Меркатора на эллипсоид (EPSG: 3395) и на сферу (EPSG: 3857). Первая встречается в сервисах Яндекс.Карты, «Космоснимки» и др., вторая используется сервисами Google, Bing, OpenStreetMap, Yahoo и проч. Для наших задач более удобными будут прямоугольная система координат и универсальная поперечная проекция Меркатора (рис. 41). Данная проекция подразумевает деление поверхности Земли на 60 вытянутых в направлении меридиан зон шириной по 6° . Каждая из этих зон проецируется по отдельности в поперечной проекции Меркатора.

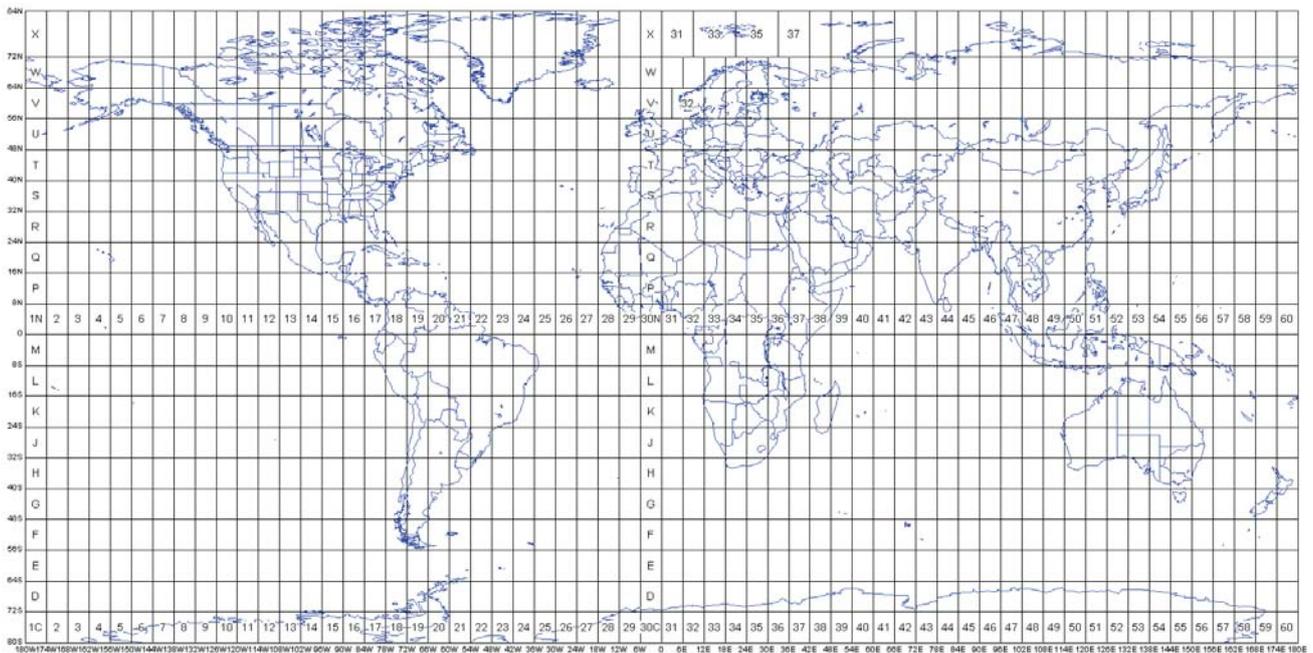


Рисунок 41. Сетка зонирования для универсальной системы Меркатора
(Взято с ресурса: <https://www.dmap.co.uk/utmworld.htm>)

Определить зону расположения субъекта из задания и подходящую проекцию можно с помощью различных сервисов. В нашем случае возможно использование бесплатного варианта <https://www.geoplaner.com/> (рис. 42). Сайт предлагает карту с удобным форматом поиска и возможностью определять прямоугольные координаты непосредственно для каждой метки. Для осуществления поиска необходимо запустить браузер, перейти по ссылке и ввести название центра (областного, краевого, столицы республики и т.д.) изучаемого субъекта в строку поиска (Postal address) и нажать Ok. В верхнем левом углу на зеленом фоне отобразится номер зоны и координаты.

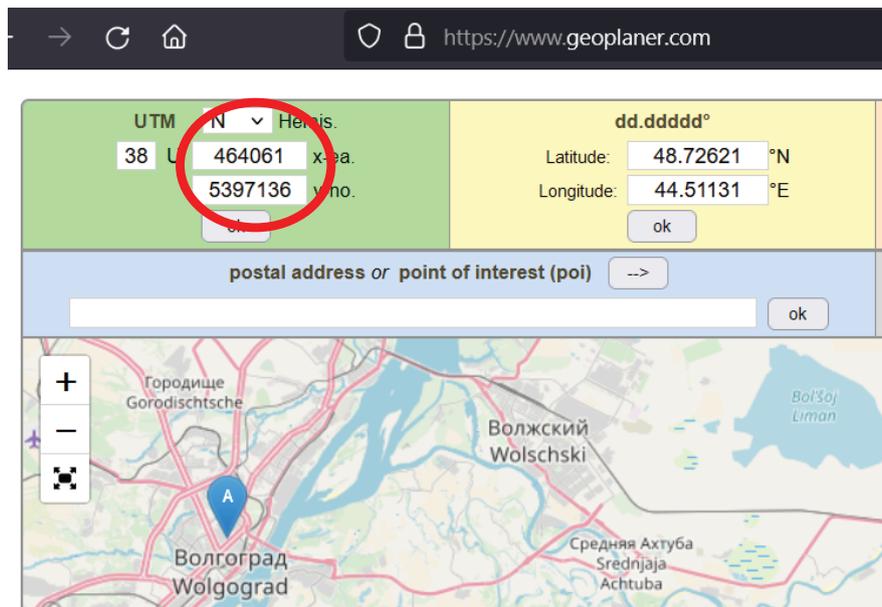


Рисунок 42. Уточнение зоны расположения участка исследования

После определения зоны нам нужно изменить проекцию всего проекта. Для этого нужно выбрать левой клавишей мыши в нижнем левом углу обозначение текущей проекции (рис. 43).

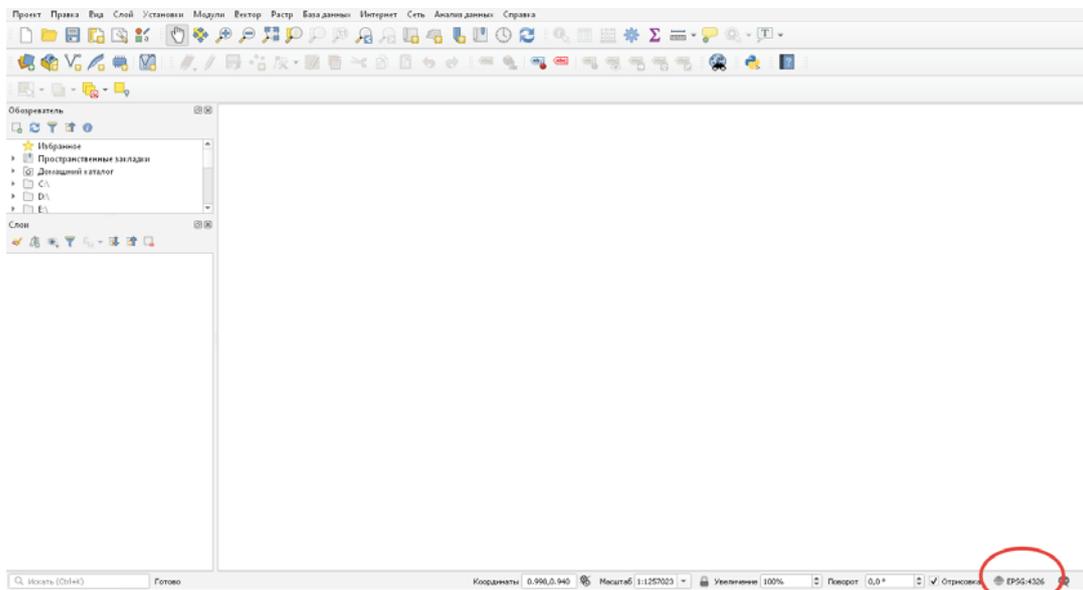


Рисунок 43. Расположение элемента управления проекциями проекта

Данный инструмент открывает окно настройки картографической проекции всего проекта (рис. 44). Программа QGIS позволяет работать с большим количеством проекций в зависимости от характера задач исследований и имеет удобно реализованную систему поиска. Вносим в строку поиска запрос в формате: WGS 84 UTM zone XX (где XX — зона расположения вашего района) и выбираем подходящую систему. Обратите внимание: буквой N обозначается Северное полушарие, S — Южное.

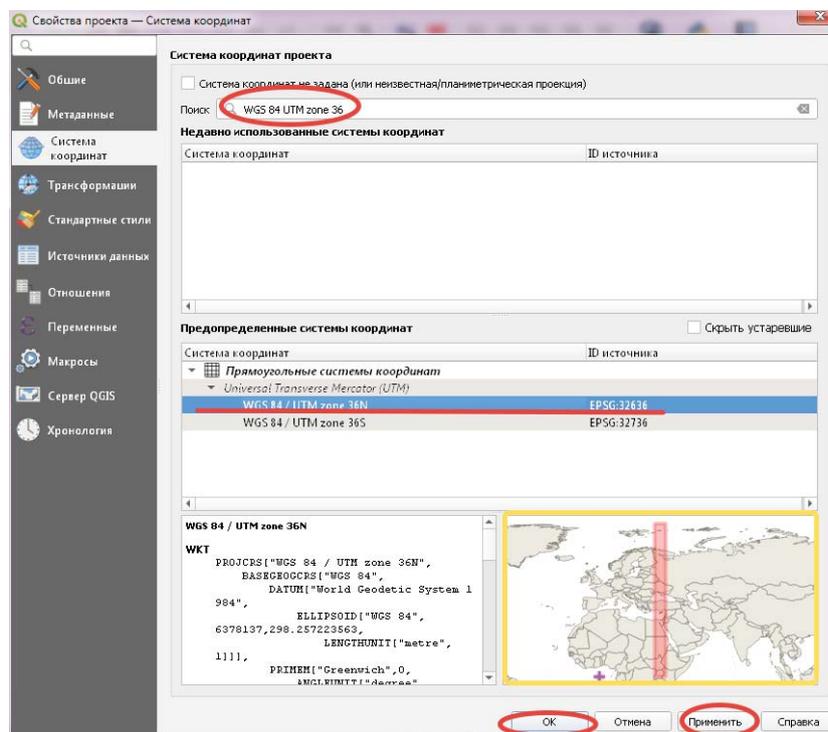


Рисунок 44. Окно настроек системы координат проекта

После выбора подходящей системы необходимо нажать «ПРИМЕНИТЬ» и «ОК». Отображение участка на экране также должно измениться в соответствии с выбранной проекцией.

3.3. Обрезка растра по границам субъекта

Дальнейшая работа заключается в удалении лишних областей после объединения с помощью маски слоя. Для обрезки растра по границам субъекта нужно сперва импортировать векторный слой с административно-территориальным делением (рис. 45). Слой можно найти в открытых источниках, например здесь: <https://clck.ru/3ЕК2uj>). Для импорта необходимо воспользоваться вкладкой слой («СЛОЙ — ДОБАВИТЬ СЛОЙ — ДОБАВИТЬ ВЕКТОРНЫЙ СЛОЙ»). В открывшемся окне следует выбрать источник аналогично растровому (троеточие в правом верхнем углу). Выбираем каталог (папку) с загруженным и распакованным архивом и нажимаем «ДОБАВИТЬ». Векторный слой отобразится на панели слоев и поверх растра.

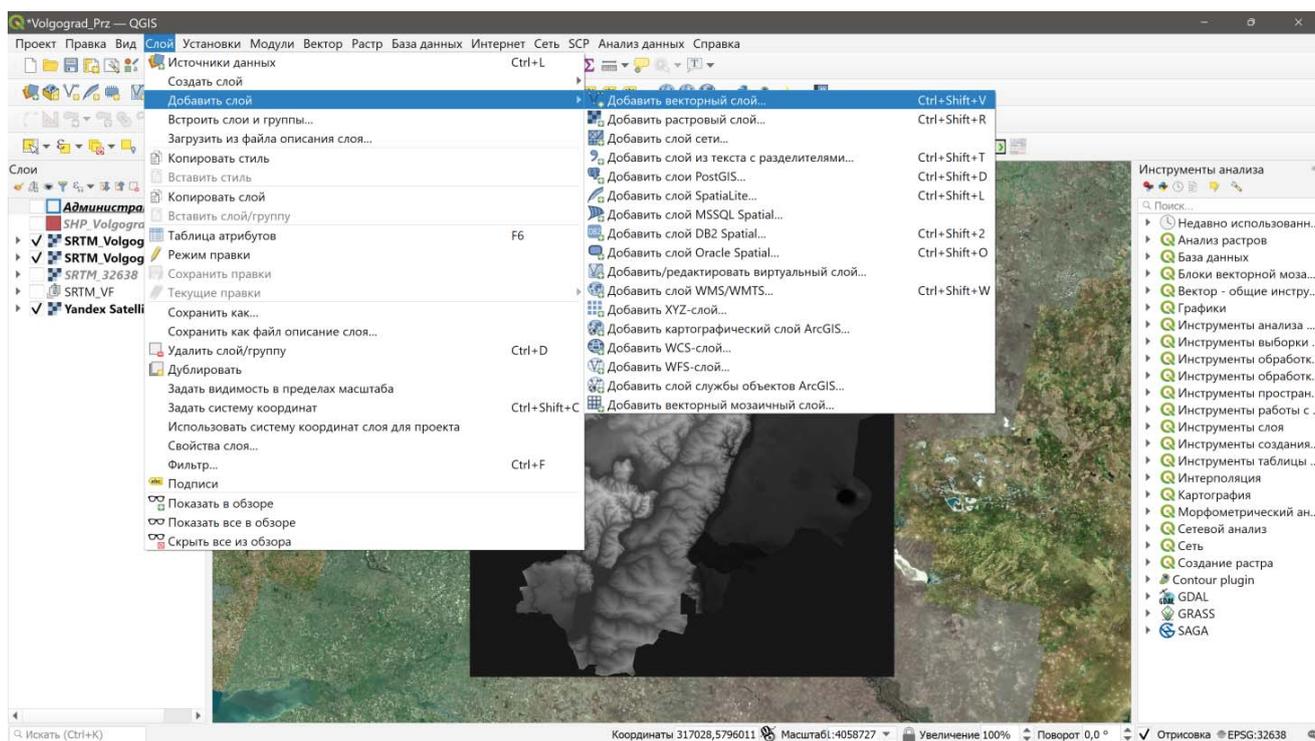


Рисунок 45. Добавление векторного слоя с административным делением

Добавленный слой содержит полигоны с границами различных субъектов Российской Федерации. Для выбора нужного следует подсветить названия и убрать заливку. Выбираем слой на панели и нажимаем правую клавишу мыши, затем выбираем раздел «СВОЙСТВА — СТИЛЬ» и один из вариантов границ без заливки, например OUTLINE BLUE. Далее переходим в подменю «ПОДПИСИ» в левой части окна. Меняем значение «БЕЗ ПОДПИСЕЙ» на «ОБЫЧНЫЕ ПОДПИСИ» и в значениях выбираем NAME_RU. Далее нажимаем «ПРИМЕНИТЬ» и «ОК». После чего нам потребуется найти нужный полигон и его выбрать с помощью инструмента в виде стрелки «ВЫБОР» (). Обратите внимание, как только полигон выбирается, его граница окрашивается желтым цветом. Затем проводим извлечение отдельного полигона с помощью инструмента обрезки (рис. 46). Выбираем «ВЕКТОР — ГЕООБРАБОТКА — ОБРЕЗАТЬ» (в некоторых версиях «Отсечь»).

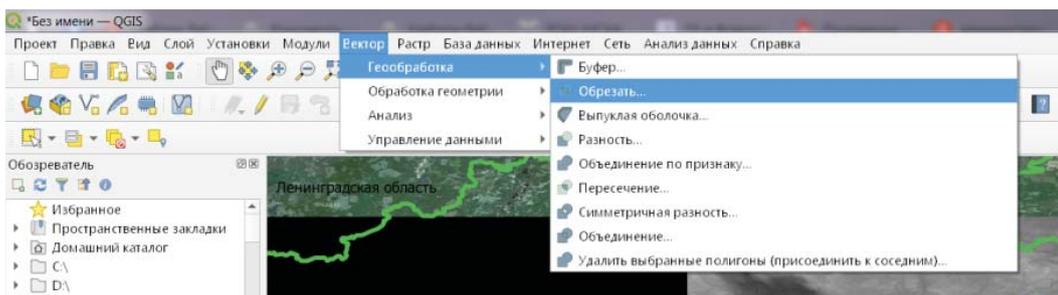


Рисунок 46. Обрезка векторного слоя для создания маски

В появившемся окне (рис. 47) ставим галочку напротив пункта «ТОЛЬКО ВЫДЕЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ», затем выбираем область сохранения, результат обрезки (Персональная папка с заданием, имя файла в формате РЕГИОН_SHP) и нажимаем «ВЫПОЛНИТЬ». По итогу операции новый слой отобразится в списке на панели.

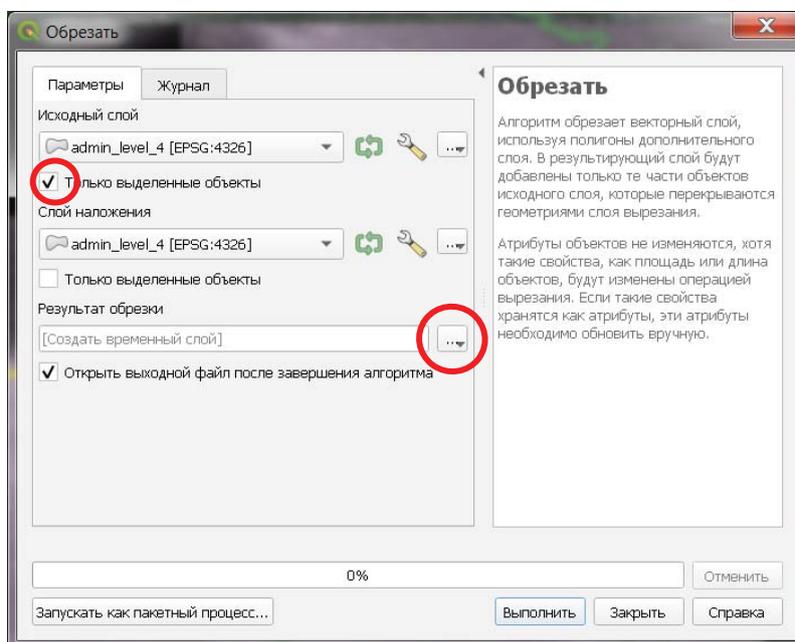


Рисунок 47. Окно настройки обрезки

Перед обрезкой растра по маске необходимо проверить разброс значений пикселей объединенного SRTM. Напомним, что цифровая модель рельефа местности SRTM представляет собой 16-битные растровые файлы, значения пикселей в которых соответствует модели местности над поверхностью геоида EGM96 в метрах¹. Также модель учитывает высоты объектов на поверхности, таких как деревья, высотные здания и т.д., что обуславливает возможность получения отрицательных значений высот. Отрицательные высотные отметки можно скомпенсировать путем пересчета значений пикселей с помощью калькулятора растров. Фиксированное значение высот (например, модульное значение отрицательной величины высот) следует прибавить к каждому пикселю. В выходном файле мы получим скомпенсированные значения, которые позволят производить в дальнейшем все необходимые геоморфологические расчеты. Чтобы проверить

¹ Огоньков И.В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения // Геоматика. 2011. № 3. С. 40–46.

диапазон значений на наличие отрицательных, в панели со слоями посмотрите на разброс значений у слоя с объединенными снимками (рис. 48). Если значения начинаются от нуля, то их компенсировать не нужно.

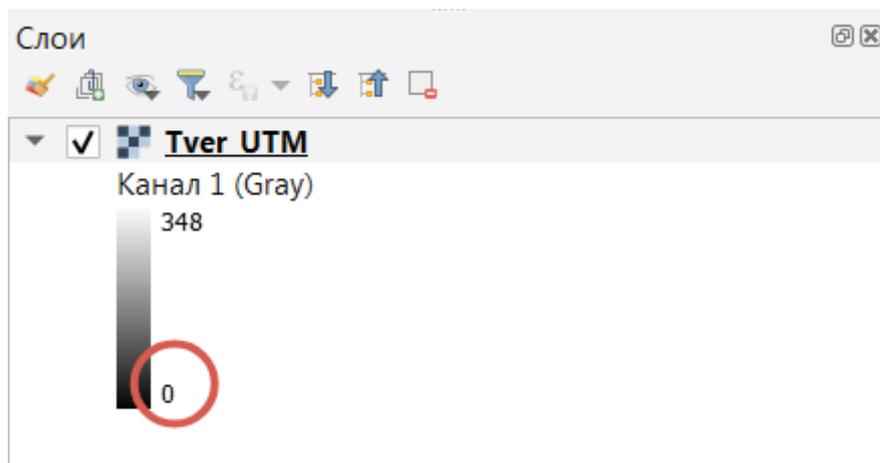


Рисунок 48. Диапазон значений объединенного растра

Калькулятор растров находится на вкладке «РАСТР — КАЛЬКУЛЯТОР РАСТРА». Затем потребуется выбрать нужный канал и прописать математическое выражение сложения.

Как только будут подготовлены маска и объединенный растр, можно приступить к обрезке. Данную операцию можно производить либо по охвату (тогда будет извлечена область охвата экрана), либо по маске (в этом случае обрезка будет выполняться по контуру подготовленного векторного слоя). Выбираем второй вариант (рис. 49). Во вкладке «РАСТР → ИЗВЛЕЧЕНИЕ» выбираем «КАДРИРОВАТЬ РАСТР ПО МАСКЕ».

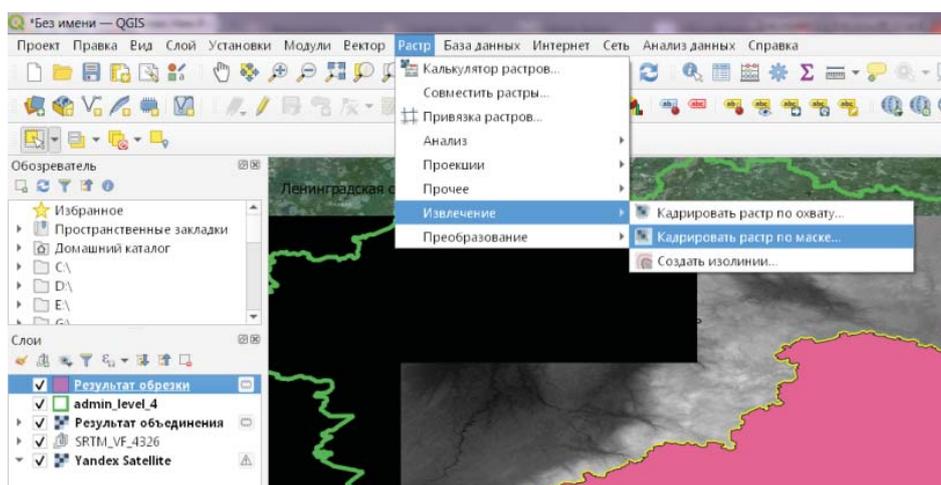


Рисунок 49. Расположение инструмента обрезки

В появившемся окне (рис. 50) «ИСХОДНЫЙ СЛОЙ» из выпадающего списка выбираем полученный ранее слой объединенного растра, в качестве слоя маски выбираем созданный ранее векторный слой в .shp формате. Важно указать в поле NODATA (пустые пиксели) значение -9999 для корректных расчетов в будущем. Если не указать данный параметр, пиксели, находящиеся за пределами маски, но в пределах слоя обрезки, будут учитываться и отображаться на слое с нулевым значением:

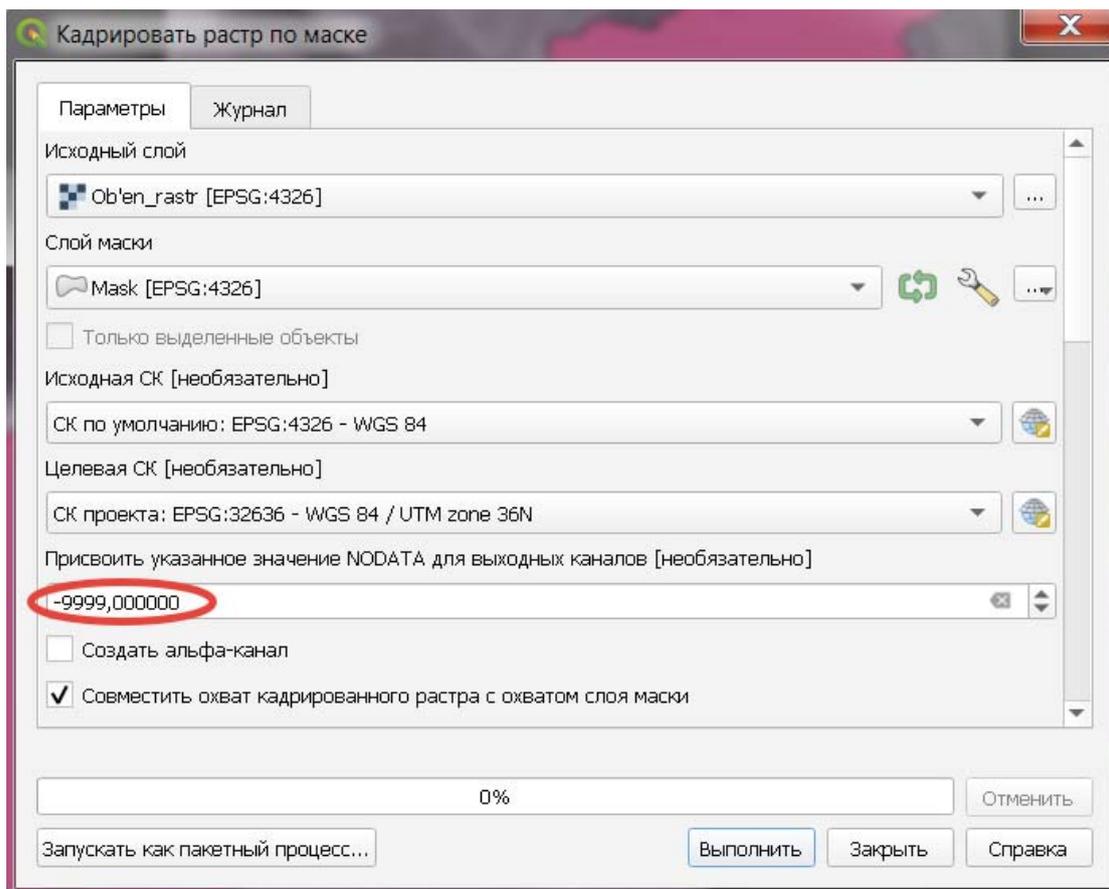


Рисунок 50. Настройка инструмента кадрирования

Ниже в дополнительных параметрах выбираем путь сохранения объекта (рис. 51) (Персональную папку с проектом, подпапку со слоями), файл следует назвать [Название региона]_EPSG

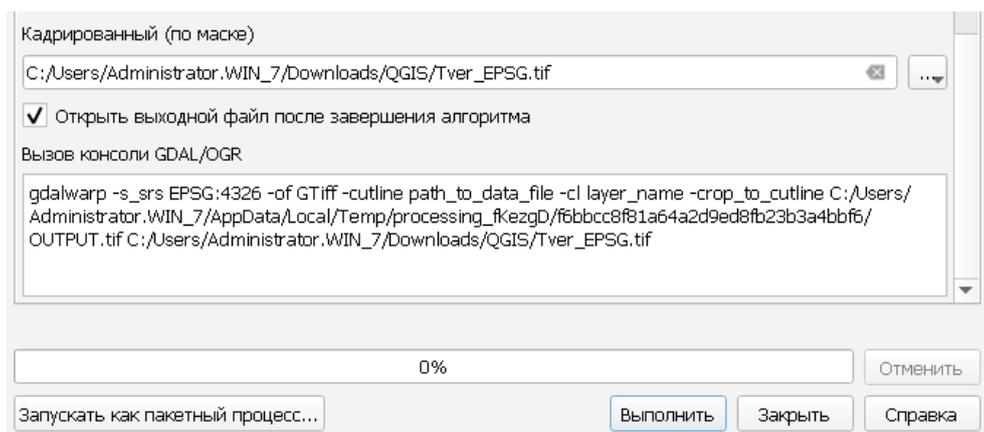


Рисунок 51. Настройка параметров сохранения слоя

После выполнения команды слой отобразится на карте и на панели.

3.4. Настройка отображения и скрытие пустых областей

Если на предыдущем этапе при кадрировании слоя по маске значения в поле NODATA заданы не были, то пустые области будут отмечены черным цветом (с присвоенными значениями яркости пикселей 0). Их отображение следует отключить для удобства дальнейшей работы с изображением. Провести данную процедуру можно в настройках прозрачности слоя (рис. 52). Для этого переходим в «СВОЙСТВА СЛОЯ» (двойным щелчком левой клавиши мыши по соответствующему слою на панели слоев). Далее выбираем раздел «ПРОЗРАЧНОСТЬ» и устанавливаем в разделе «ЗНАЧЕНИЕ. НЕТ ДАННЫХ» дополнительное значение «0», нажимаем «ПРИМЕНИТЬ» и «ОК». Черные области на обрезанном слое растра должны будут исчезнуть.

Таким же образом мы можем задавать любые значения как пустые области, что в ряде случаев может быть необходимо.

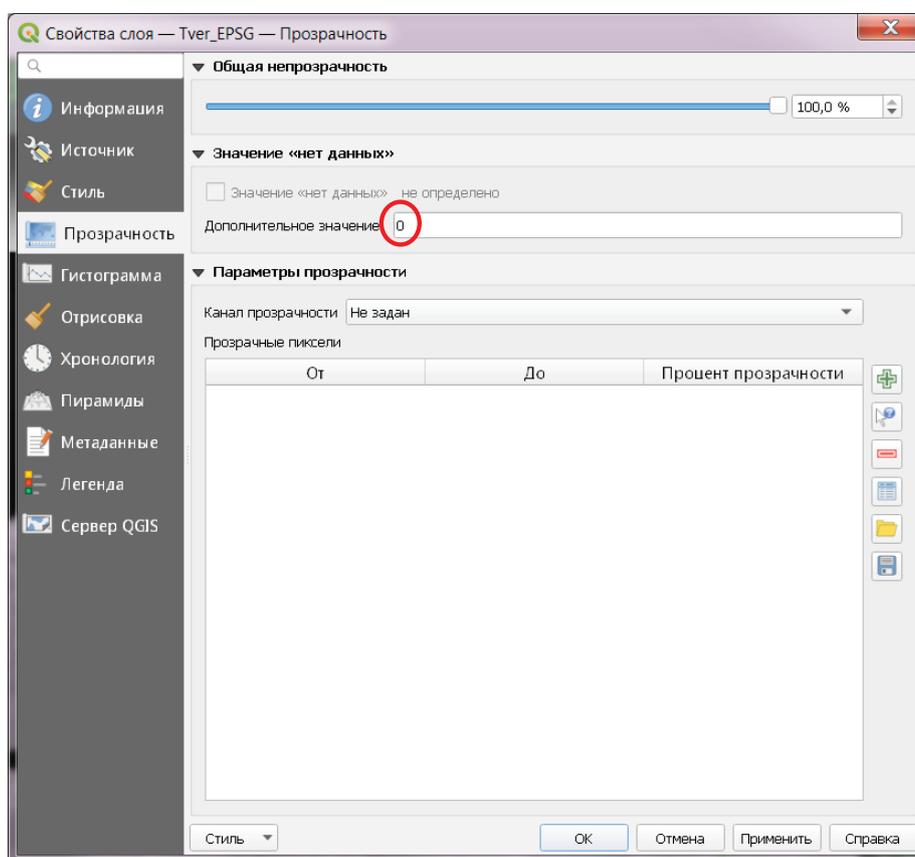


Рисунок 52. Настройка отображения пустых областей

После совершения всех операций следует проверить и показать преподавателю полученный результат (рис. 53). Итоговый проект должен содержать обрезанный растровый слой в прямоугольной системе координат, векторный слой с границами выбранного субъекта (должен быть скрыт), объединенный растровый файл (должен быть скрыт), группу отдельных тайлов (должна быть скрыта) и слой Яндекс Satellite.

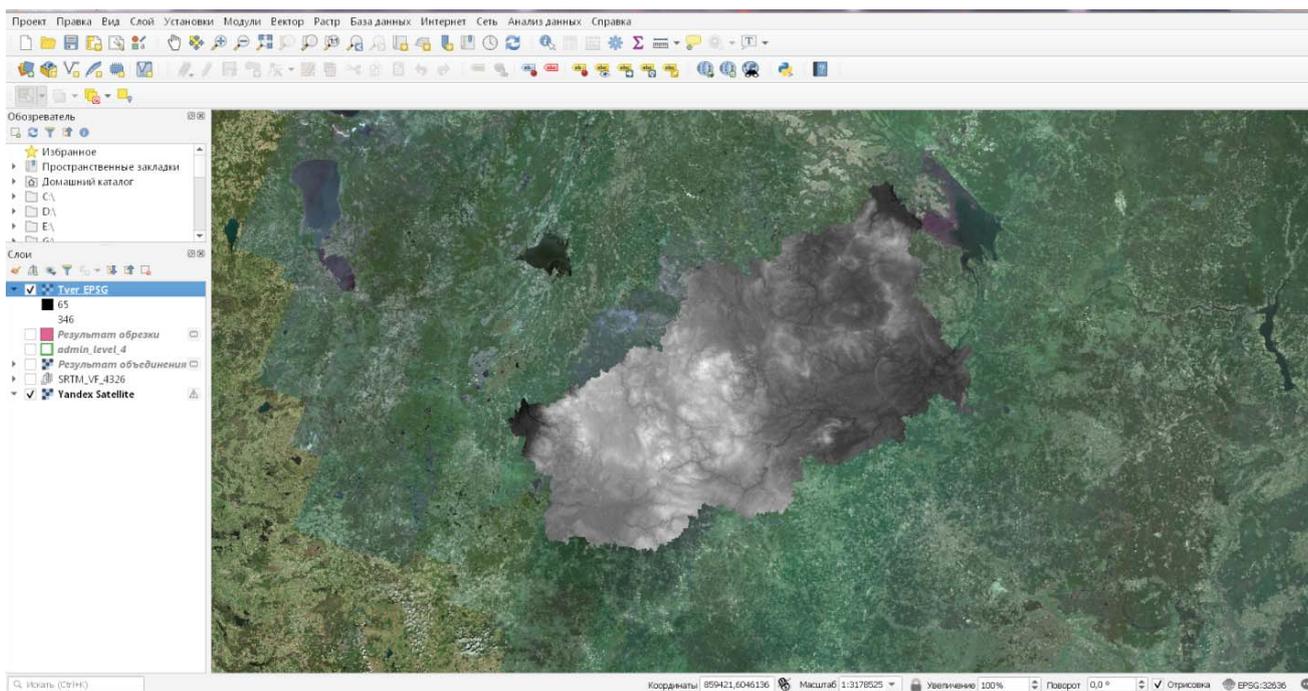


Рисунок 53. Вид обрезанного растра SRTM по границам региона в прямоугольной системе координат

ЗАНЯТИЕ 4. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Построение карты рельефа

Построение карты рельефа служит важнейшей задачей первичных экологических и агроэкологических исследований. Данные о рельефе местности позволяют выявлять эрозионно опасные участки, потенциальную обеспеченность ФАР и ряд других параметров. В качестве основы для построения карты рельефа в нашей работе будет использоваться цифровая модель рельефа на основе SRTM (наш обрезанный растр с регионом в метрической системе), подготовленная на предыдущих занятиях. Конечное изображение рельефа будет включать картосхему в виде теневое рельефа с наложением цветного изображения, а также изолинии высот.

Для начала необходимо продублировать слой с ЦМР (Выбрать нужный слой и на вкладке «СЛОЙ», нажать «ДУБЛИРОВАТЬ СЛОЙ»). Обозначим новый слой как «Регион_TR» (теневой рельеф). Затем нам потребуется отобразить структуру поверхности с помощью настроек СТИЛЯ в свойствах слоя (рис. 54). Выбираем в разделе «ИЗОБРАЖЕНИЕ» — «ТЕНЕВОЙ РЕЛЬЕФ».

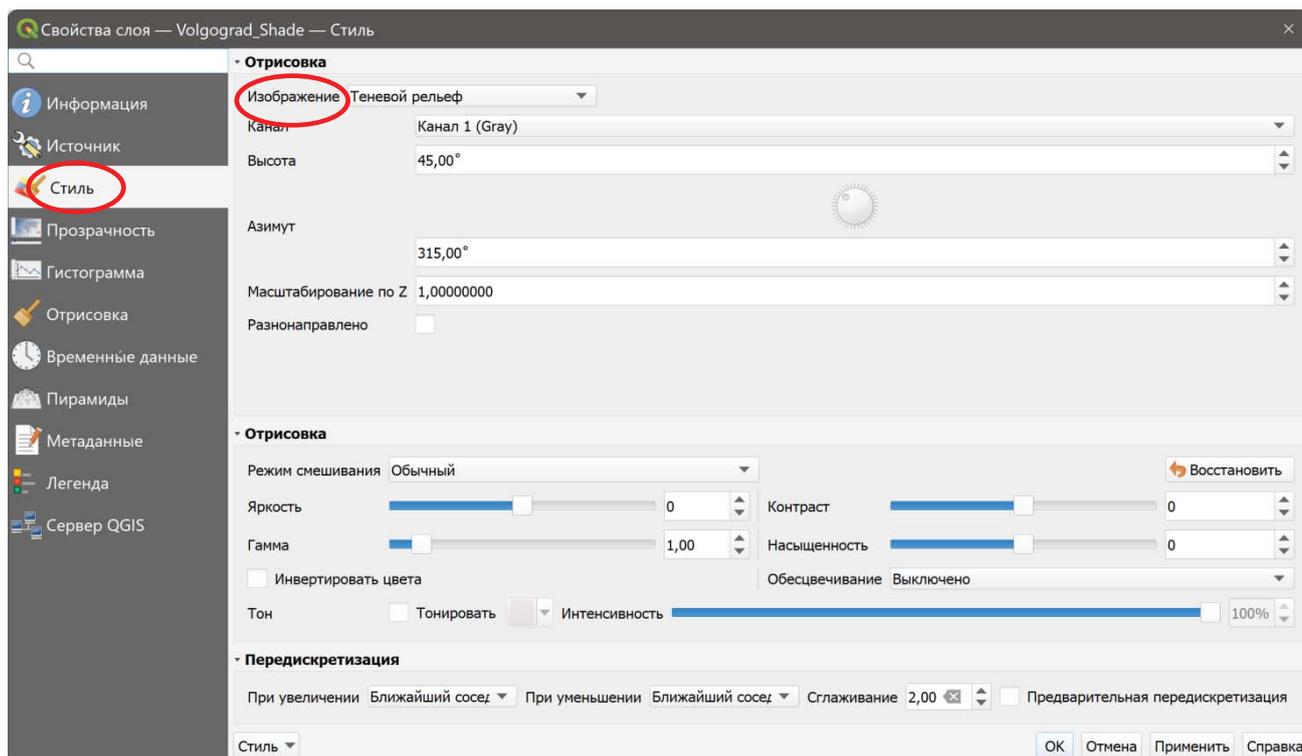


Рисунок 54. Меню настроек отображения теневое рельефа

Обратите внимание, пункт «ВЫСОТА» обозначает угол падения солнечных лучей, по умолчанию задано стандартное значение в 45° . Параметр «АЗИМУТ» позволяет корректировать положение солнца, то есть с какой стороны падает свет. Также можно увеличить значение масштабирования по оси Z для получения большей разницы между точками с большой и малой высотой. Попробуйте использовать разные вариации значений указанных параметров для достижения четкой, хорошо читаемой картинке.

Изображения с ЦМР и теневым рельефом необходимо объединить в группу на панели слоев (Название группы «РЕЛЬЕФ»). Обратите внимание, слой с ЦМР должен отображаться выше, чем слой с теневым рельефом. Следующий шаг — настройка цветовой палитры для слоя с ЦМР. В программе QGIS имеется широкий набор различных цветовых схем для набора типовых задач, а также возможно использование созданных пользователями цветовых параметров. Для настройки цвета выбираем «НАСТРОЙКИ» — «УПРАВЛЕНИЕ СТИЛЯМИ...» (рис. 55).

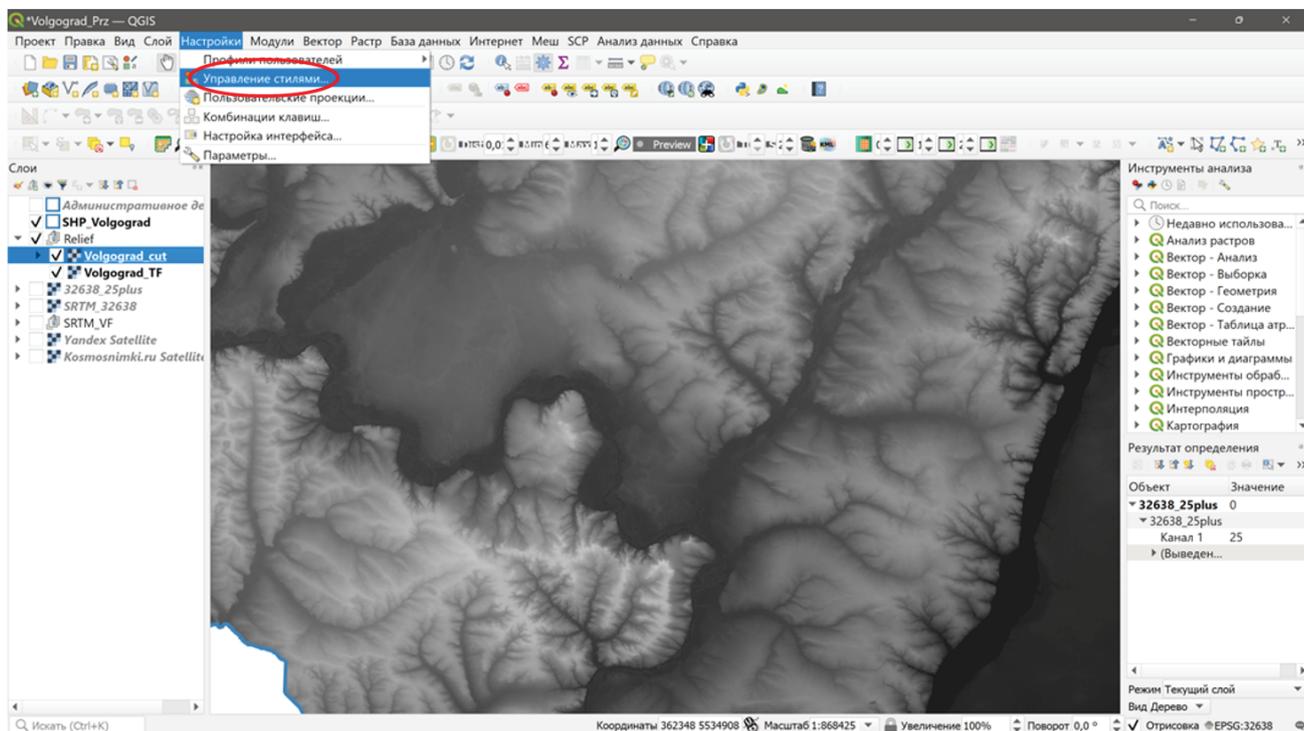


Рисунок 55. Расположение меню управления стилями

Дополнительные схемы можно найти в каталоге (рис. 56). Для перехода в каталог необходимо выбрать символ «ПЛЮС» в нижнем левом углу окна и нажать «Каталог: cpt-city...». В открывшемся диалоговом окне находятся пользовательские стили, собранные в определенные тематические группы. В работе предпочтительнее выбирать стили, подходящие для оформления рельефа. Они сгруппированы в разделе TOPOGRAPHY. Далее нужно взять наиболее подходящий, на ваш взгляд, цвет и сохранить его как отдельный градиент с подходящим названием (например: relief).

Обратите внимание, при сохранении есть возможность добавить его в избранное — для упрощенного поиска в дальнейшем.

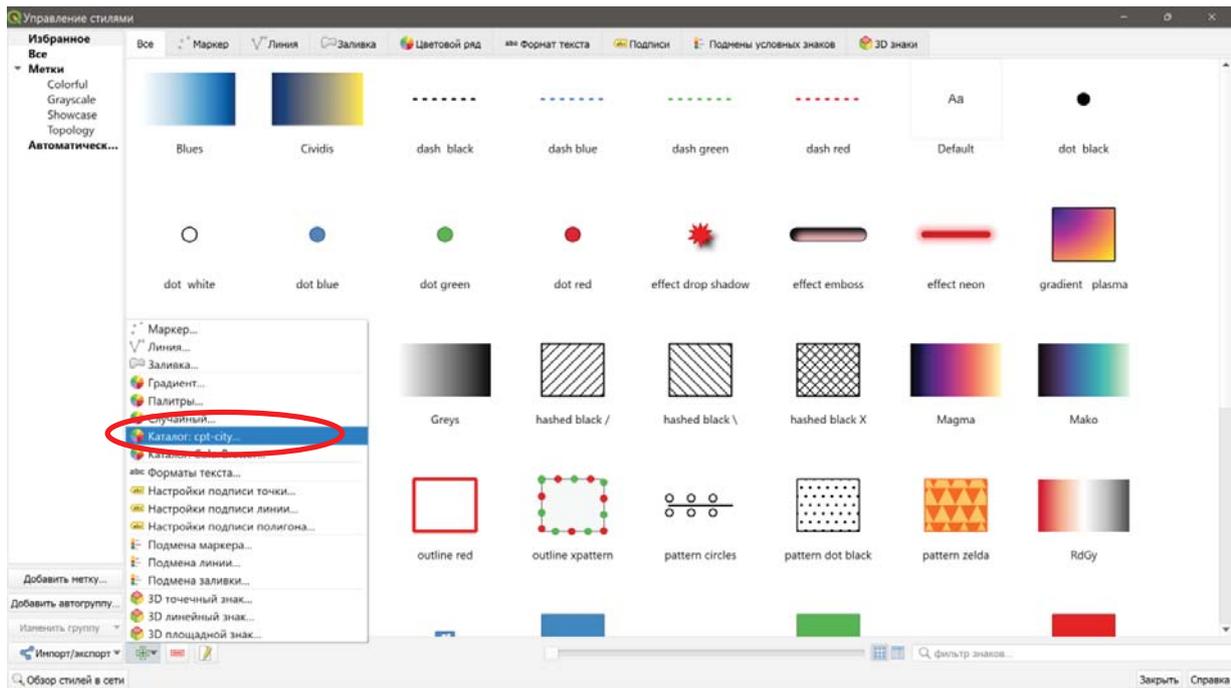


Рисунок 56. Настройки каталога цветовых градиентов

На следующем этапе необходимо окрасить в подготовленную палитру слой с ЦМР и изменить режим смешивания. Для этого выбираем его свойства и переходим к параметру «СТИЛЬ» (рис. 57). Данный слой содержит только один канал и по умолчанию раскрашен в градации серого. Необходимо изменить цветовую схему.

Важно отметить, что настройки стиля слоя можно копировать и применять к другим слоям через меню «СТИЛИ» — «КОПИРОВАТЬ СТИЛЬ» — «ВСЕ КАТЕГОРИИ» (либо только нужные элементы стиля). Вставка выполняется аналогичным образом через меню «ВСТАВИТЬ СТИЛЬ».

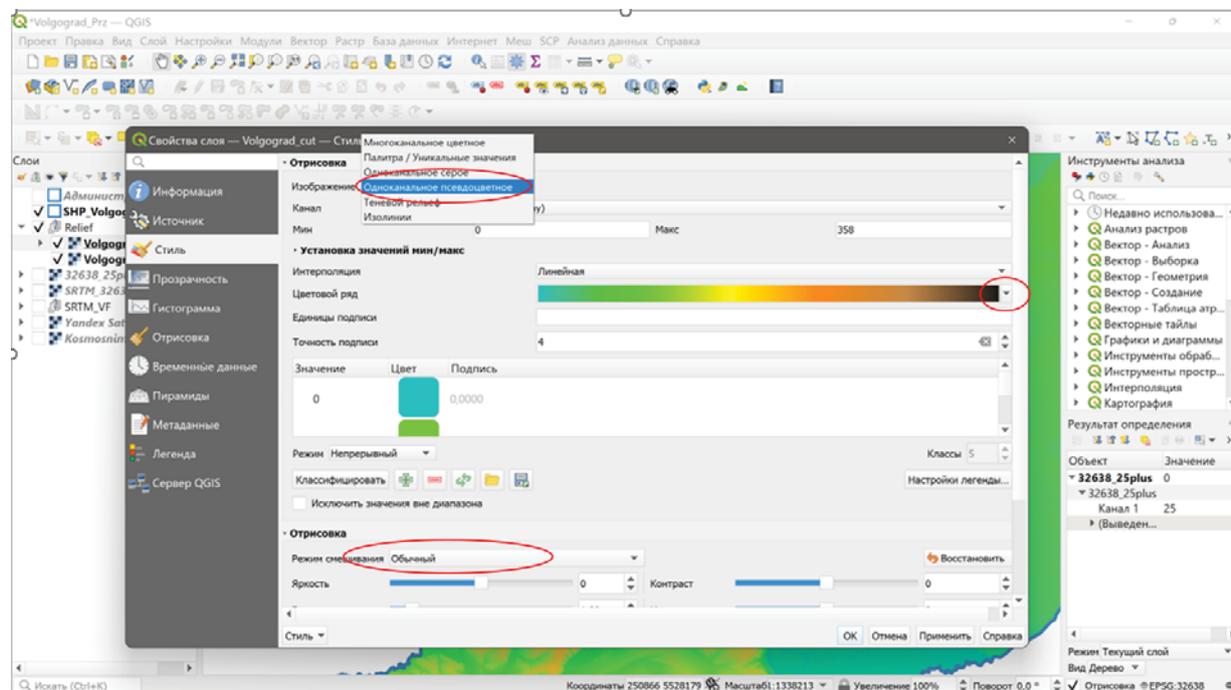


Рисунок 57. Настройки цветовых параметров ЦМР

Одноканальное псевдоцветное отображение позволяет использовать разные цвета для визуальной передачи информации в одном канале, поэтому выбираем этот пункт настройки. Обратите внимание, если выбрать вариант с дискретной интерполяцией, переходы между цветами будут резкими в соответствии с выбранной шкалой. Оставляем линейный вариант интерполяции и переходим к настройкам ЦВЕТОВОГО РЯДА. В выпадающем окне выбираем заготовленную схему и переходим к параметру «ОТРИСОВКА». Режим смешивания «УМНОЖЕНИЕ» позволит использовать расположенный под слоем ЦМР слой с теневым рельефом для придания некоторого объема карте.

Оцениваем полученный результат. Если наблюдается низкая яркость, можно повысить одноименный параметр в настройках в разделе «СТИЛЬ» параметров слоя с теневым рельефом (рис. 58). Чрезмерная четкость и сглаживание деталей можно настроить уменьшением параметра «КОНТРАСТ» в тех же параметрах. Постарайтесь добиться наилучшего соотношения между выбранными параметрами, чтобы получить хорошо читаемую картосхему рельефа местности для территории исследуемого субъекта.

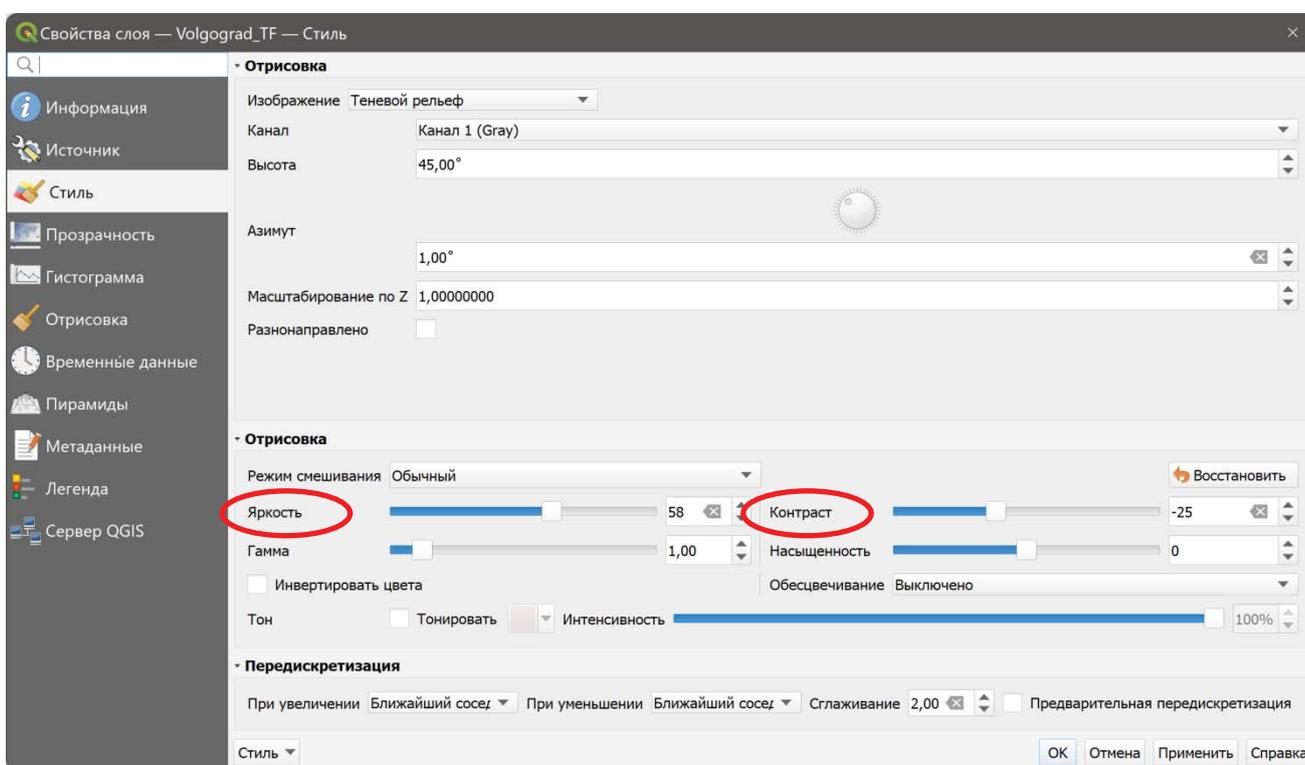


Рисунок 58. Настройки отображения теневого рельефа

На заключительном этапе необходимо построить изолинии высот. Изолинии позволяют сделать картосхему значительно более информативной и упрощают ее анализ. В программе QGIS реализовано несколько способов получения изолиний. Наиболее простой и удобный — с использованием штатных инструментов пакета. Для подготовки изолиний необходимо перейти на вкладку «РАСТР» — «ИЗВЛЕЧЕНИЕ» — «СОЗДАТЬ ИЗОЛИНИИ» (рис. 59). В окне настройки изолиний среди основных параметров следует выбрать слой с ЦМР, шаг и место сохранения.

Выгрузка изолиний доступна также и с использованием отдельных модулей, например Copout. Данный модуль позволяет извлекать изолинии из векторных слоев, например с точками, и проводить некоторые более гибкие настройки отображения. Полученные изолинии при необходимости также можно трансформировать в отдельные полигональные объекты.

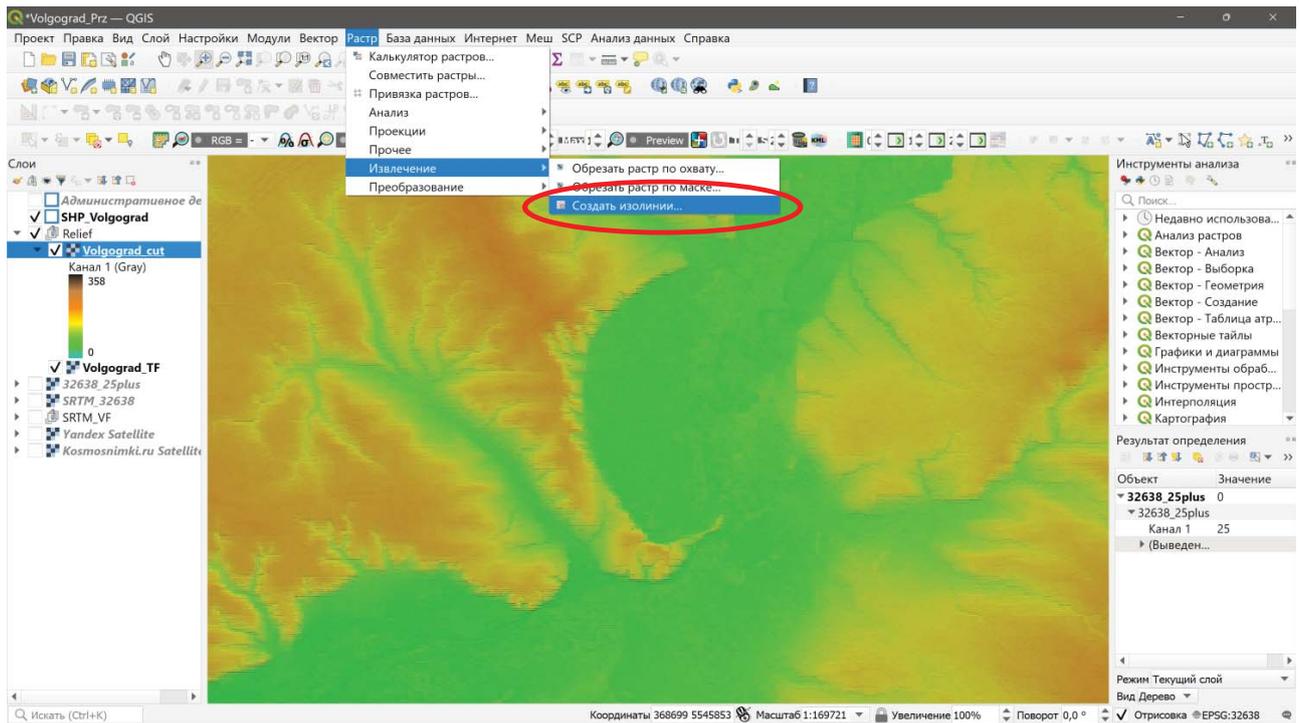


Рисунок 59. Подготовка изолиний для картосхемы рельефа

Обратите внимание, чем меньший шаг мы выбираем, тем большее количество изолиний алгоритм построит. Оптимально выбрать не более 5–7 классов в зависимости от перепада высот. После выгрузки изолиний необходимо настроить их отображение (рис. 60).

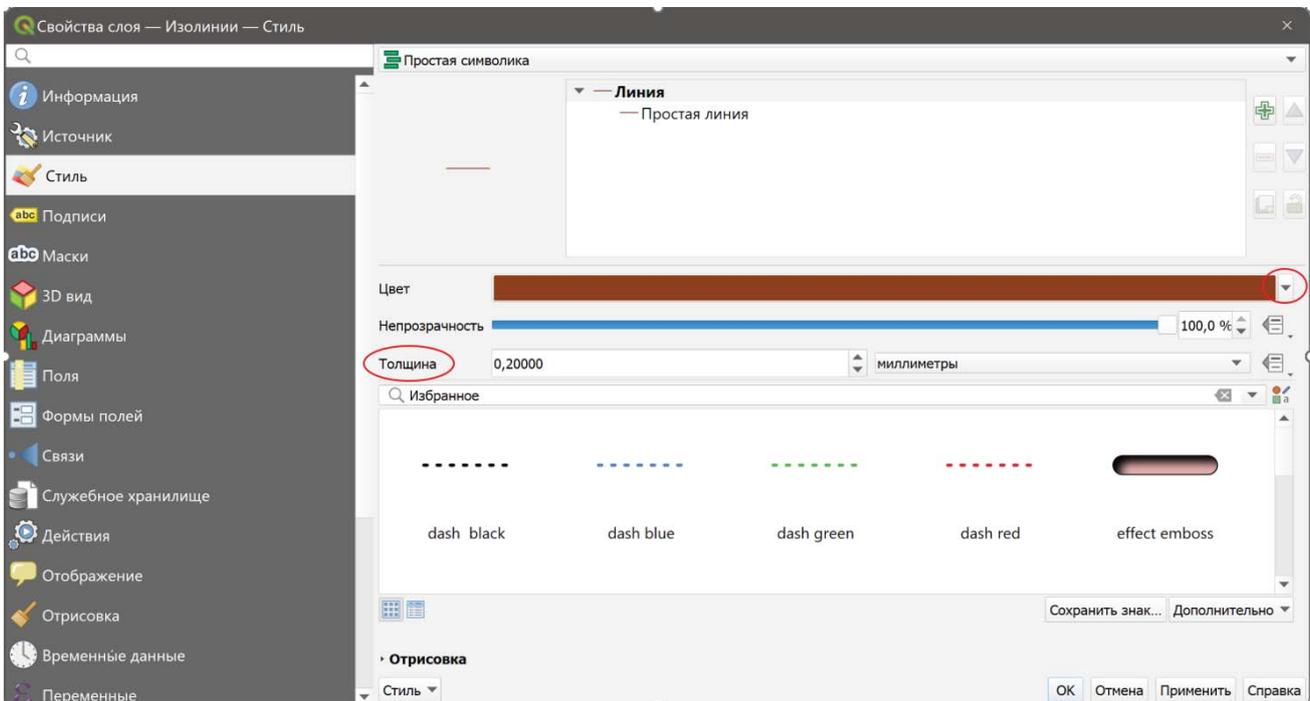


Рисунок 60. Меню настройки изолиний

Переходим в свойства слоя с изолиниями (аналогично полигональным и растровым слоям), затем во вкладке «СТИЛЬ» выбираем цвет (для горизонталей общепринятым является коричневый) и задаем толщину линий (изолинии должны подчеркивать рельеф и не фокусировать взгляд на себя, поэтому выбираем не более 0,2 мм). Отображение подписей высотных отметок можно включить в разделе «ПОДПИСИ», сами значения находятся в графе ELEV таблицы атрибутов. Для улучшения читабельности высот подписи можно буферизовать. В рамках задания включение подписей изолиний не является обязательными и выполняется студентом по желанию. Затем ПРИМЕНЯЕМ изменения и нажимаем «ОК».

4.2. Построение карты и анализ экспозиции склонов

Особенности распределения солнечной радиации во многом зависят от экспозиции склонов. Так, сумма температур и приход ФАР на склонах северной экспозиции заметно уступают аналогичным на южных. Некоторые культуры особенно чувствительны к экспозиционным особенностям расположения, могут снижать свою урожайность или некоторые показатели качества продукции, поэтому оценка экспозиции служит важнейшей задачей прежде всего агрономов-экологов. Построение карты экспозиции проводят на основе имеющейся цифровой модели рельефа с помощью инструмента «ЭКСПОЗИЦИЯ» на панели «ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА» (рис. 61).

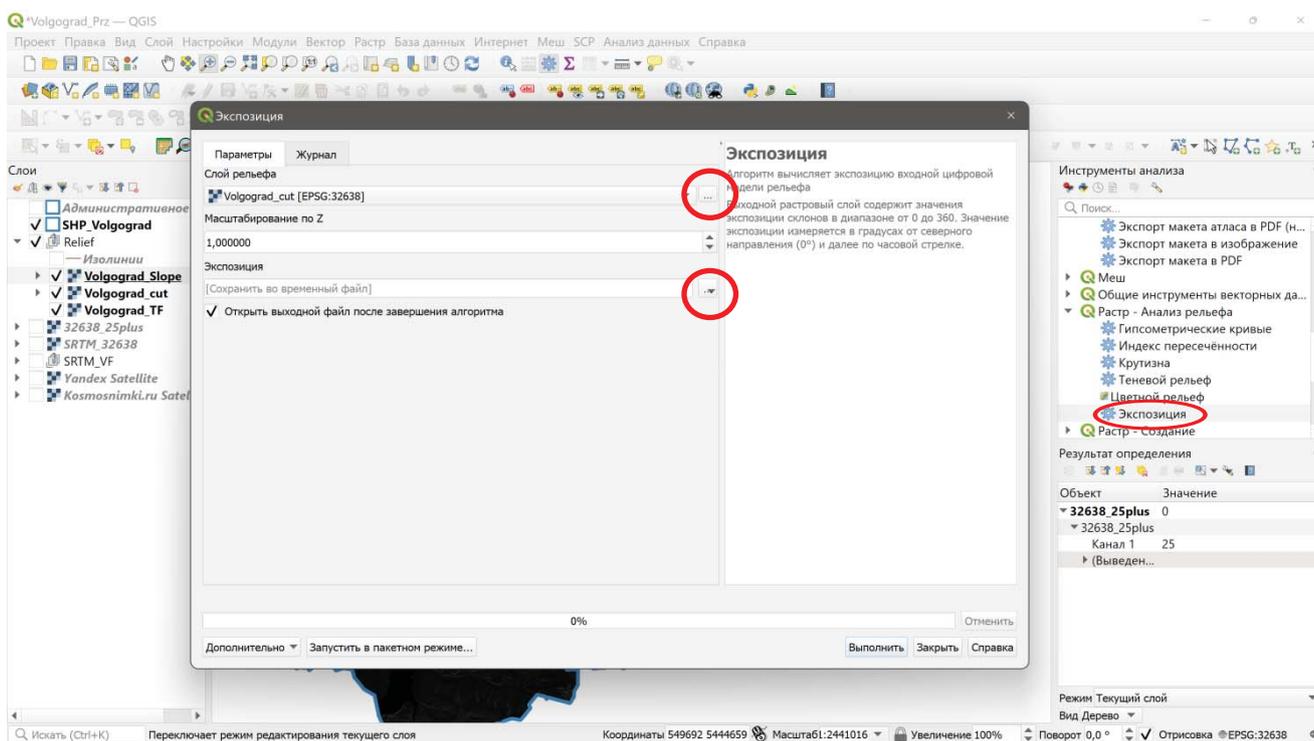


Рисунок 61. Настройка параметров алгоритма расчета экспозиции

В открывшемся диалоговом окне обязательно проверьте исходный слой с рельефом (ЦМР) и его проекцию. Расчетные операции с высотами возможно выполнять только в метрических системах координат, поэтому проекция выбранного слоя должна быть UTM. Параметр масштабирования оставляем в соответствии с исходным значением. Далее выбираем настройки сохранения выходного слоя. Полученный слой необходимо сохранить и подписать в формате «Регион_EXR». Нажимаем «ВЫПОЛНИТЬ» и по завершении операции закрываем диалоговое окно.

Полученную картосхему экспозиции склонов необходимо раскрасить в соответствии со сторонами света. Напомним, что значения раstra на карте экспозиции изменяются от 0° до 360° (рис. 62). Так, пиксели со значениями от 0° до 45° и от 315° до 360° будут соответствовать расположению северной экспозиции, от 45° до 135° — восточной и т.д.

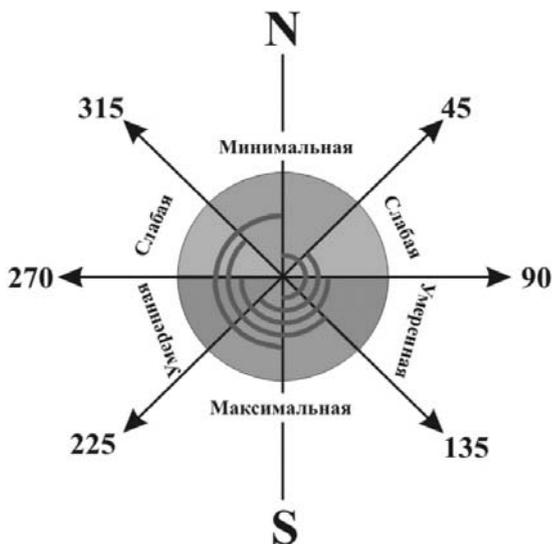


Рисунок 62. Значения экспозиции

Обратите внимание, для настройки отображения цветов необходимо вместо линейной выбрать ДИСКРЕТНУЮ систему интерполяции и классов соответственно. Цветовую схему предпочтительно настроить самостоятельно, склоны северной экспозиции лучше подсвечивать холодными оттенками: синим, голубым и т.д., южной — красным, оранжевым и т.д. Градации значений раstra задаются двойным щелчком по соответствующему значению переменной (рис. 63).

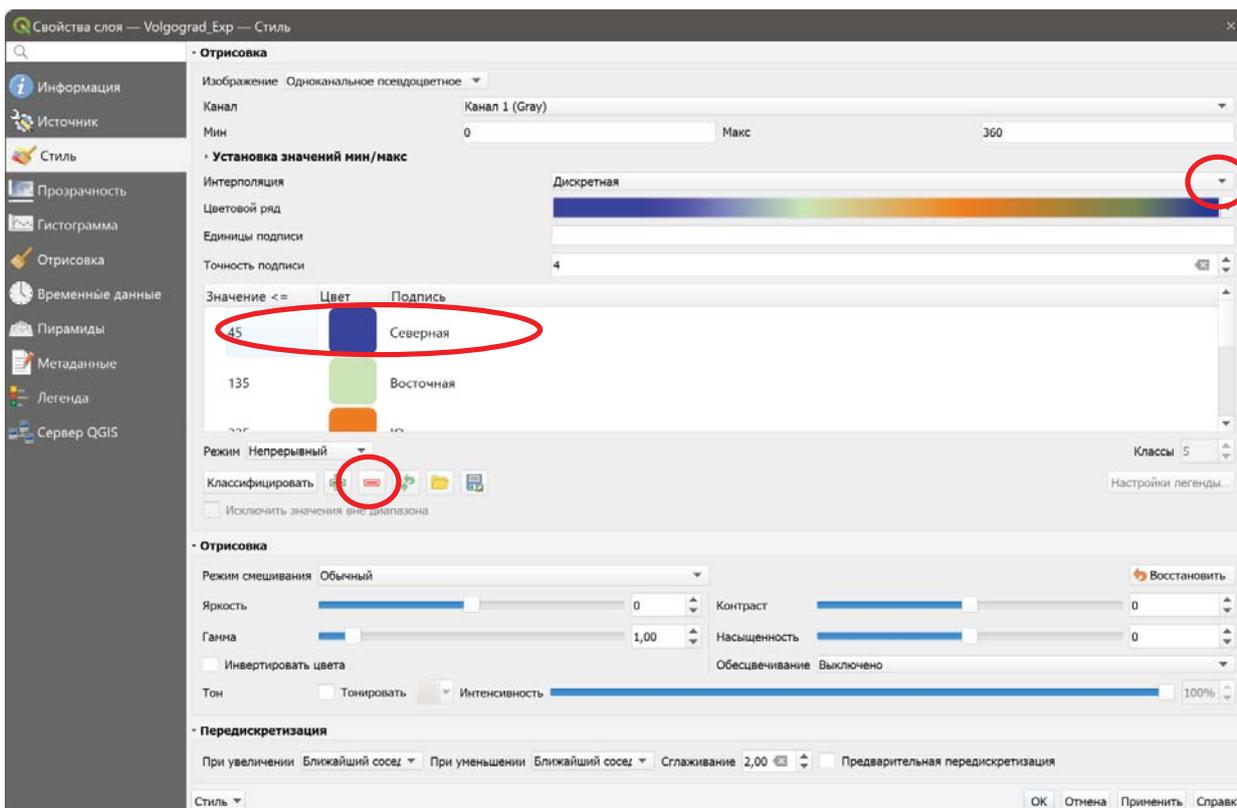


Рисунок 63. Параметры настройки отображения экспозиции склонов

Цвета и подписи значений задаются аналогично — двойным кликом левой клавиши мыши. Полученную таким образом карту крутизны можно наложить на карту рельефа и оценить доминирующие формы рельефа и ориентацию по сторонам света. Черные области на карте указывают на плоские поверхности, не ориентированные по сторонам света. Напоминаем, что данные SRTM имеют достаточно низкое разрешение и позволяют проводить оценки в мелком масштабе карт на значительные территории.

4.3. Построение карты и анализ крутизны склонов

Для построения карты крутизны склонов необходимо воспользоваться одноименным инструментом на панели анализа (рис. 64). Выбираем пункт «КРУТИЗНА» и переходим к настройкам алгоритма. Выставляем параметры, аналогичные расчетам экспозиции, и нажимаем «ВЫПОЛНИТЬ».

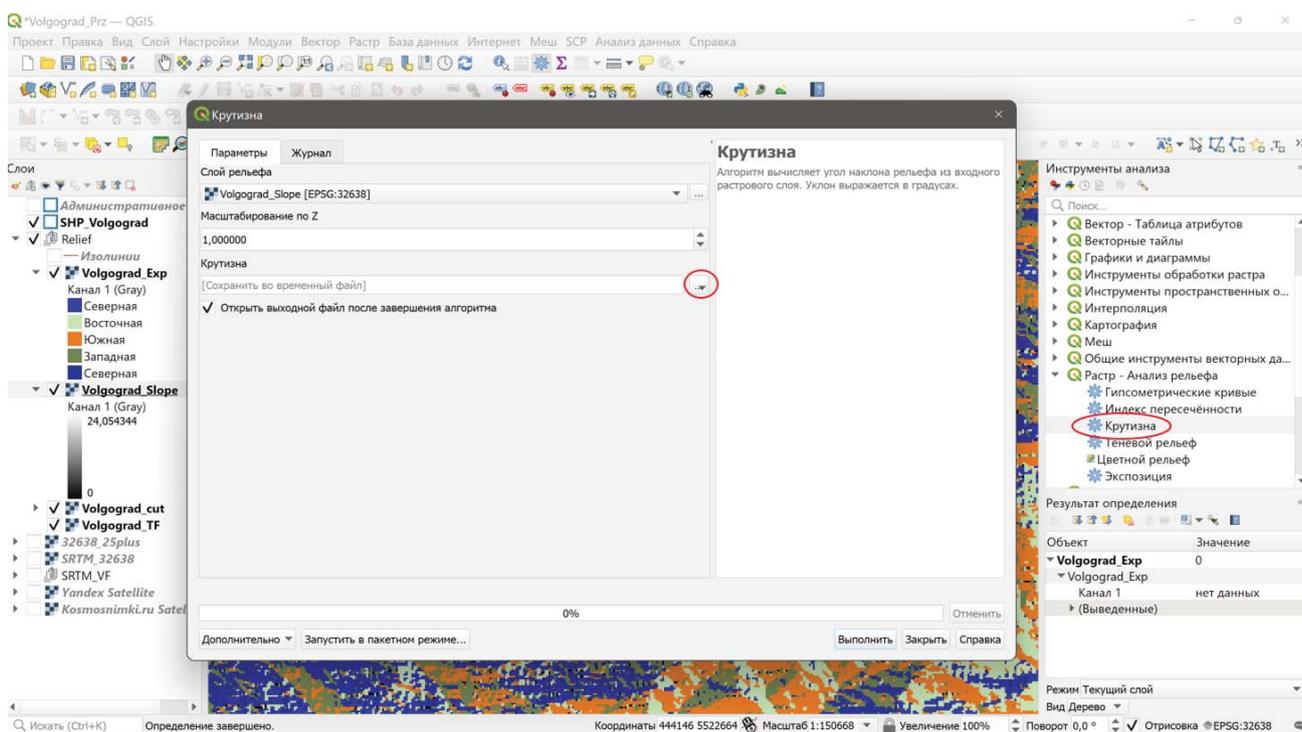


Рисунок 64. Настройка алгоритма расчета крутизны склонов

В полученном слое необходимо скорректировать название, добавив обозначение Slope. После чего переходим к установкам цветовых параметров. Окрашивать склоны требуется в соответствии с эрозионной опасностью (табл. 1). Чем выше крутизна склона, тем выше опасность развития эрозионных процессов и тем больше налагается ограничений на возделывание культур в таких условиях. Земли на склонах с высокой крутизной требуют проведения почвозащитных мероприятий, подбора специфических культур, либо вовсе выводятся из сельскохозяйственного производства. Обычно выделяют крутизну до 40°. Очень пологие склоны (крутизной до 1°) следует обозначать зеленым цветом, 1–3° — более светлым и т.д., при увеличении крутизны переходим к красным тонам. Предпочтительно использовать инвертированную схему RdYIGn.

Таблица 1. Градация склонов по крутизне и эрозионной опасности при распашке (по Н.М. Заславскому)

Склоны	Крутизна	Эрозионная опасность и меры борьбы с ней
Слабополгие	До 3°	Безопасны
Полгие Слабопокатые	3–5° 5–7°	Опасны, нуждаются в почвозащитных зональных системах земледелия
Покатые Сильнопокатые	7–10° 10–15°	Очень опасны, нуждаются в специальных почвозащитных системах земледелия
Крутые Очень крутые	15–20° 20–40°	Земледелие возможно только при искусственном террасировании склонов
Обрывистые	Более 40°	Земледелие, как правило, невозможно

Градации покатых и сильнопокатых склонов на легенде можно объединить, крутые и очень крутые — также. Таким образом, необходимо выделить до семи классов (рис. 65) в зависимости от разброса по крутизне и затем применить схему.

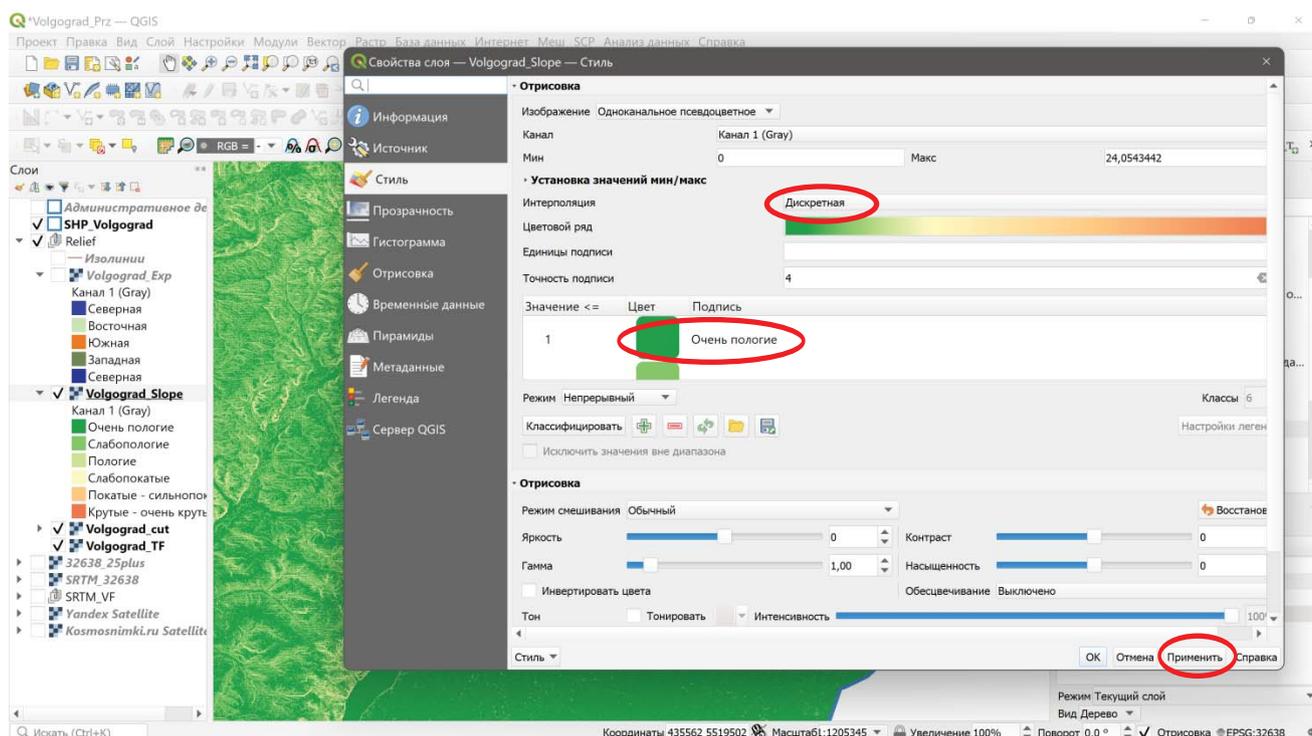


Рисунок 65. Настройка цветовой схемы карты крутизны склонов

После выполнения всех расчетов полученный рабочий набор необходимо предоставить на проверку преподавателю. На момент завершения занятия необходимо иметь группу слоев с отдельными тайлами SRTM, слой с объединенными тайлами SRTM, векторные слои с административным делением и границами региона, растровый слой с регионом (вырезанный) в проекции UTM, а также вновь созданные слои: с рельефом, теневым рельефом и изолиниями (в группе), с крутизной и экспозицией склонов.

ЗАНЯТИЕ 5. ВЫДЕЛЕНИЕ ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ, ТРЕБУЮЩИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ИЛИ НЕПРИГОДНЫХ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Эрозионно опасными участками считаются склоны, крутизна которых превышает 3° . Ведение сельскохозяйственного производства для таких территорий возможно только при реализации мероприятий по борьбе с эрозией. Участки, крутизна которых превышает 40° , из сельскохозяйственного производства полностью исключают.

5.1. Построение растровой карты эрозионно опасных участков

Для выделения данных участков на панели слоев выбираем слой с крутизной и переходим во вкладку «Растр». Выбираем «Калькулятор растров» (рис. 66).

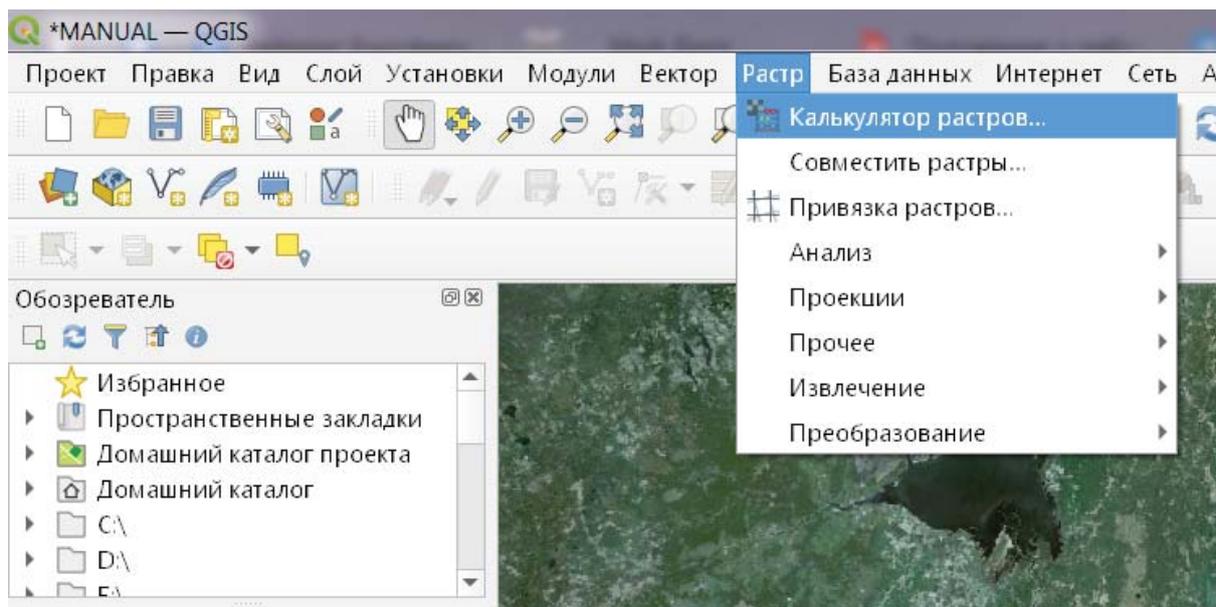


Рисунок 66. Выбор компонента «Калькулятор растров...»

Сохраняем файл в формате tif с названием: [Название региона]_s3–40 (рис. 67). Двойным щелчком выбираем слой с крутизной склонов, чтобы внести его в командную строку (поле «Выражение»), далее кликаем курсором по командной строке после названия слоя и задаем диапазон значений, соответствующий требуемой крутизне (от 3° до 40°). Таким образом будут выделены участки с крутизной более 3° и менее 40° .

Обратите внимание, оператор AND соответствует логическому «И» и объединяет параметры запроса. После нажатия «ОК» появится нужный слой. Белые пиксели на полученном растровом слое показывают участки, требующие проведения специальных мероприятий по защите почв от эрозии для ведения сельскохозяйственного производства.

Аналогичным образом подготовьте слой с участками, крутизна которых превышает 40° (пункт можно пропустить, если таковые отсутствуют в исследуемом регионе).

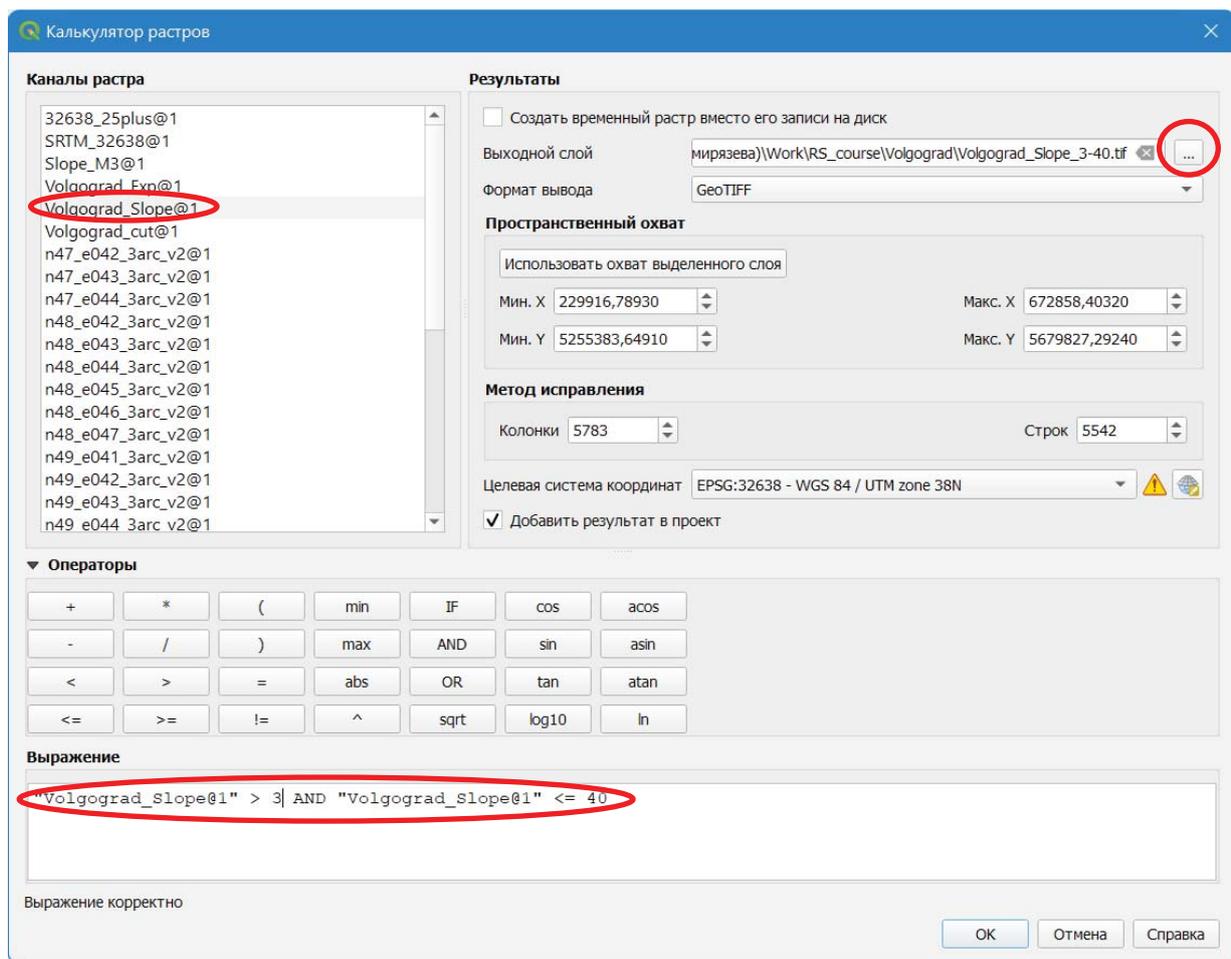


Рисунок 67. Окно настройки калькулятора растров

5.2. Построение векторной карты эрозионно опасных участков

Для дальнейшей работы потребуется трансформация растрового изображения в векторное. Для этого во вкладке «Растр» нужно выбрать пункты «Преобразование» — «Создание полигонов (растр в вектор)» (рис. 68).

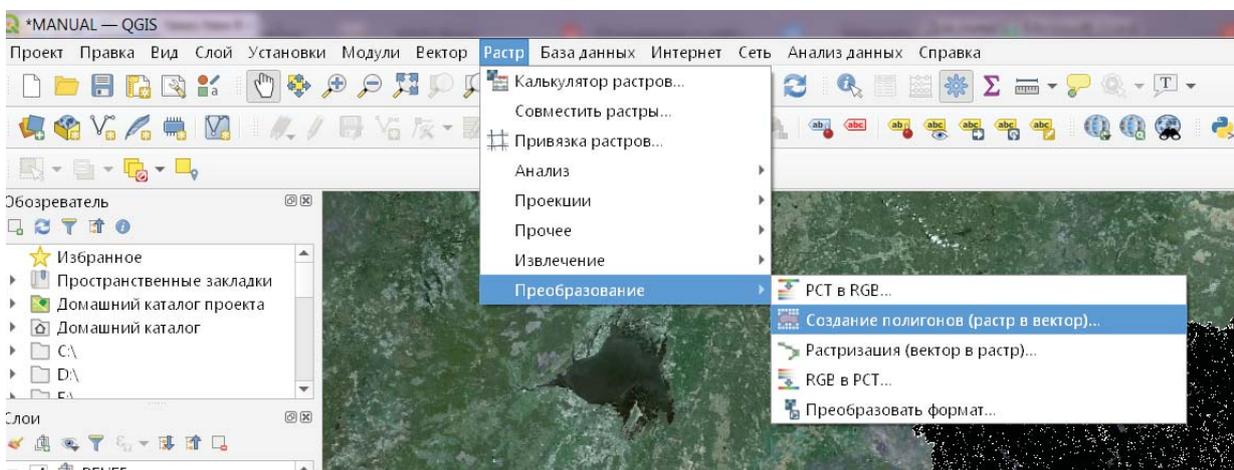


Рисунок 68. Преобразование растров в полигоны

В появившемся окне в качестве исходного слоя выбирается подготовленный на предыдущем этапе. Файл сохраняем в вашу папку как [Название региона]_s3-40_POL (рис. 69) с расширением .shp.

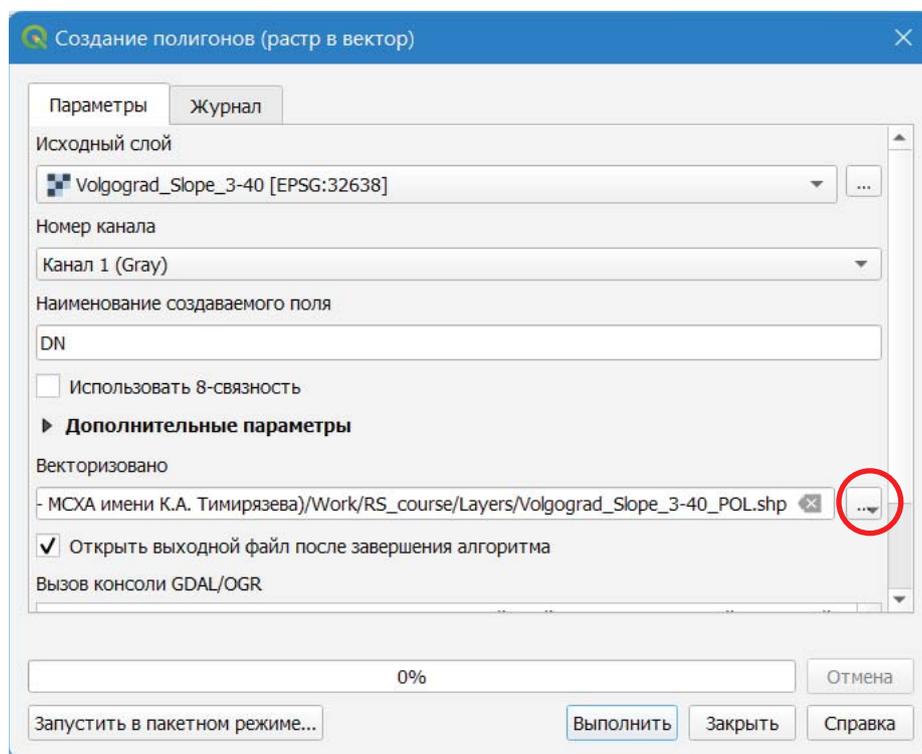


Рисунок 69. Окно настройки трансформации растрового слоя

Полученный векторный слой содержит полигоны с территорией, не подходящей по нашим условиям, и их необходимо убрать из слоя. Они содержат нулевые значения в таблице атрибутов (поле DN). Для удаления ненужных полигонов требуется активировать возможность редактирования содержимого слоя: выбираем на панели слоев нужный, нажимаем правую клавишу и выбираем пункт «РЕЖИМ ПРАВКИ» (значок карандаша). На следующем этапе требуется активировать меню выбора полигонов по значению (клавишей F3, либо значком на панели инструментов ).

Вводим значение 0 в строку DN и нажимаем «ВЫБРАТЬ ОБЪЕКТЫ», затем «ЗАКРЫТЬ» и нажимаем клавишу Delete или значок корзины для удаления выбранных пустых полигонов. Отменяем режим редактирования и сохраняем изменения.

5.3. Расчет площади эрозионно опасных участков

На этом этапе необходимо провести расчет площадей, полученных в ходе предыдущего шага, полигонов. Для этого воспользуемся таблицей атрибутов и калькулятором полей. Выбираем нужный слой с полигонами на панели и нажимаем правую клавишу, выбираем «ОТКРЫТЬ ТАБЛИЦУ АТРИБУТОВ».

В открывшемся окне находим «КАЛЬКУЛЯТОР ПОЛЕЙ» ().
Переходим к настройке калькулятора полей (рис. 70).

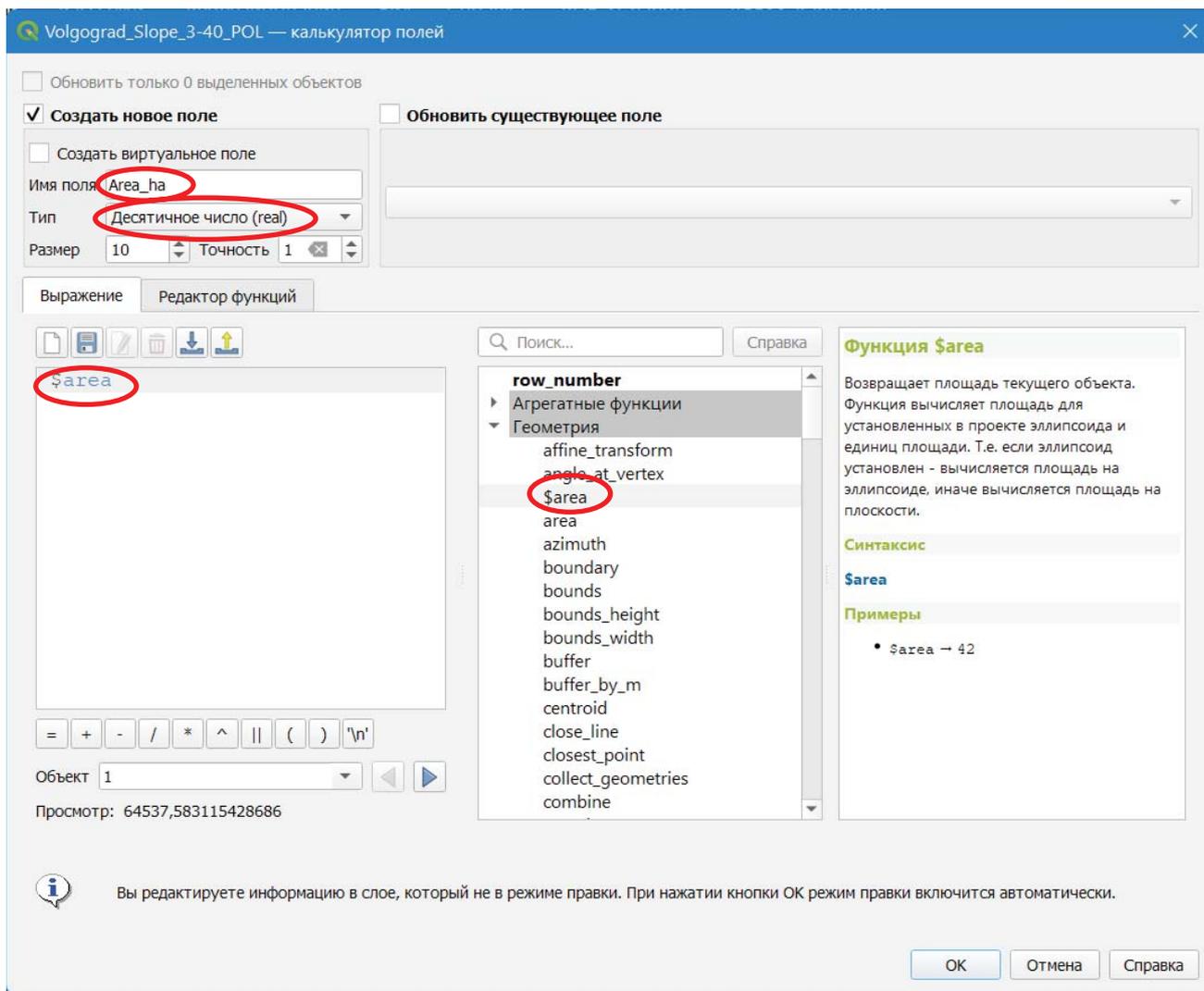


Рисунок 70. Окно настройки калькулятора полей

Данный инструмент позволяет проводить расчеты с использованием значений, расположенных в таблице атрибутов слоя. Для пересчета площадей создаем новое поле и называем его Area_ha. В поле функций выбираем раздел «ГЕОМЕТРИЯ» и функцию \$area. Она рассчитывает площади каждого полигона. Обратите внимание, формат числа должен быть десятичным и иметь один знак после запятой. Расчетные значения записываются в м². Учитываем, что один гектар составляет десять тысяч м² и для перевода значений необходимо выполнить деление на 10 000. Нажимаем на «ОК» и закрываем таблицу.

Значения площадей каждого полигона требуется сложить для определения общей площади эрозионно опасных территорий, для чего нужно экспортировать в таблицу атрибутов, в редактор, например MS Excel. Для сохранения выбираем пункт «ЭКСПОРТ» — «СОХРАНИТЬ ОБЪЕКТ КАК...» (рис. 71).

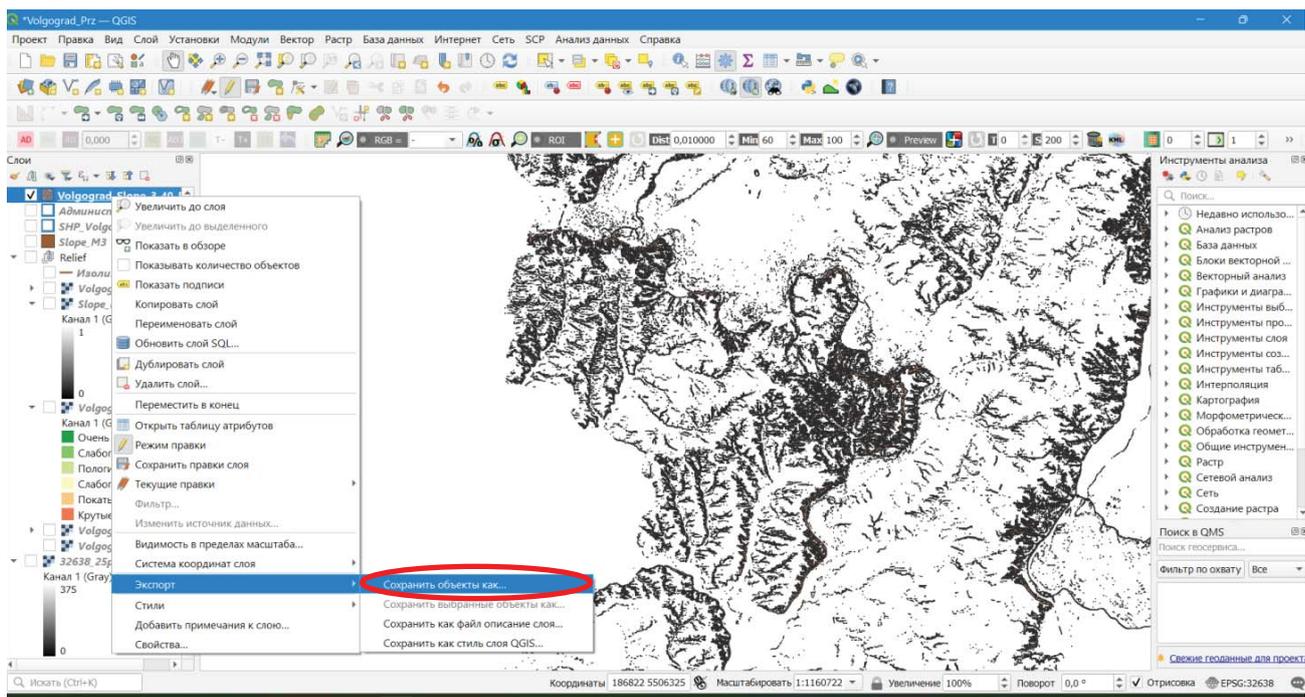


Рисунок 71. Экспорт таблицы атрибутов

Затем в настройках параметров экспорта выбираем параметры сохранения (рис. 72). Формат сохранения — значения, разделенные запятой (CSV). И убираем галочку в пункте «ДОБАВИТЬ СОХРАНЕННЫЙ СЛОЙ НА КАРТУ». Обратите внимание, система координат должна быть метрической (аналогичной системе координат проекта).

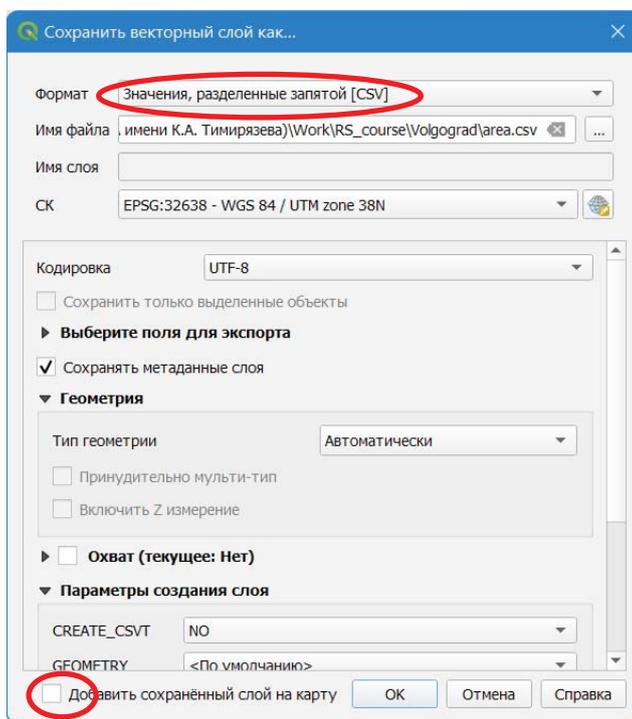


Рисунок 72. Окно параметров настройки экспорта таблицы атрибутов

Полученный файл со значениями площадей полигонов в формате .csv необходимо открыть с помощью табличного процессора и провести импорт. В случае программы MS Excel для импорта необходимо использовать мастер импорта («ДАННЫЕ» — «ТЕКСТ ПО СТОЛБЦАМ») (рис. 73).

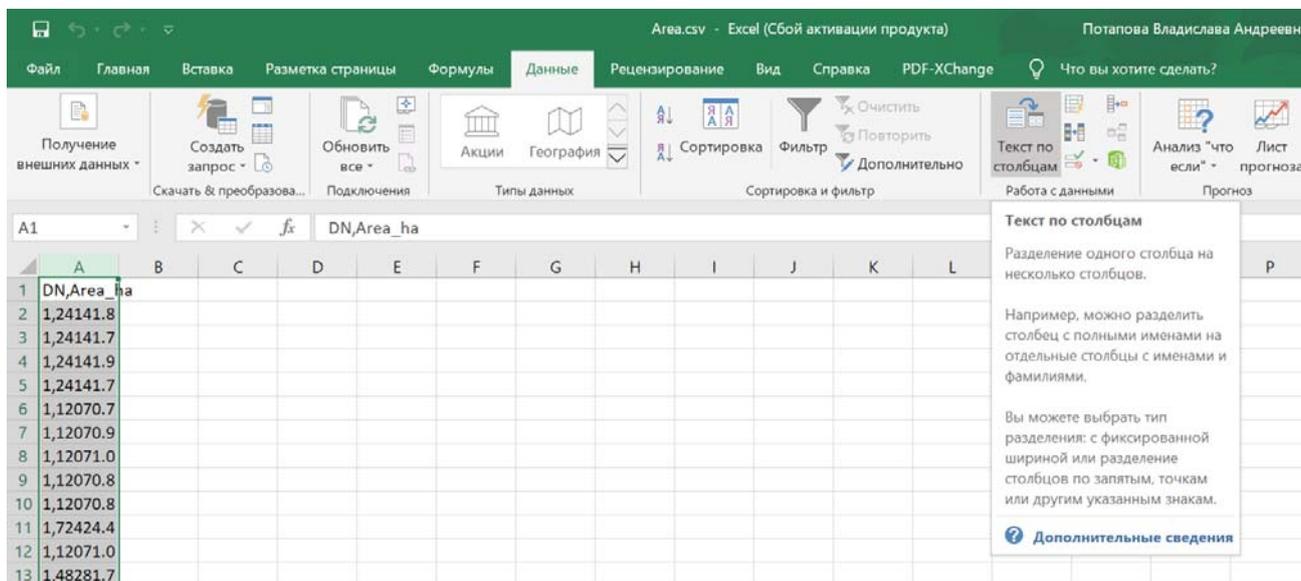


Рисунок 73. Импорт данных в Excel

Выбираем пункт «с разделителями», разделитель — запятая. Далее нажимаем на «Готово». В Excel десятичный разделитель — запятая, поэтому необходимо сделать замену точки в качестве десятичного разделителя на запятую. Для этого во вкладке «Найти и выделить» выбираем «Заменить...» или нажимаем на сочетание клавиш Ctrl + H (рис. 74).

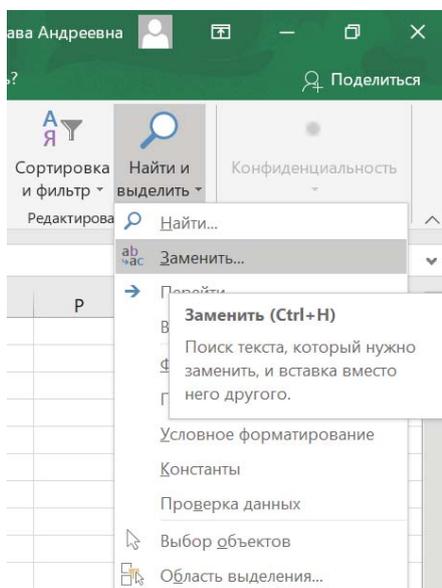


Рисунок 74. Замена десятичного разделителя

В графе «Найти» ставим точку, в графе «Заменить на» — запятую. Далее нажимаем на «Заменить все» (рис. 75).

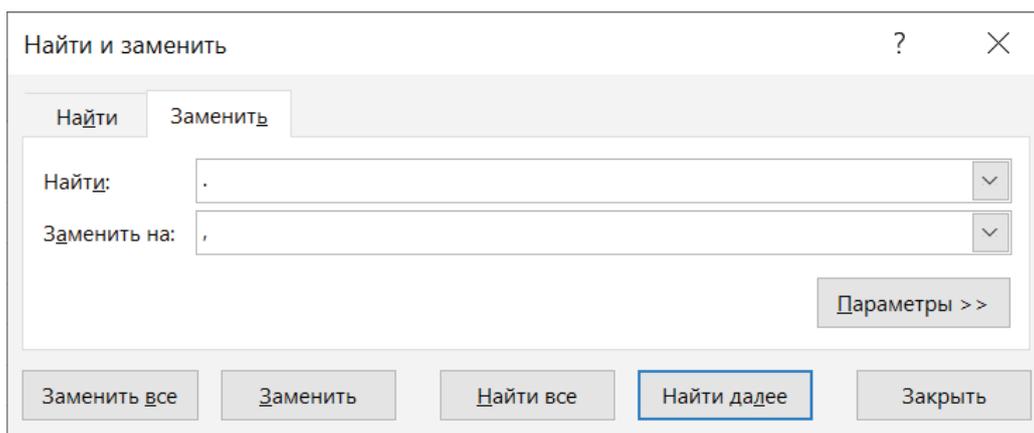


Рисунок 75. Замена точки на запятую

Чтобы просуммировать площади, пролистываем значения в конец массива, выбираем ячейку под массивом и либо прописываем функцию = СУММ ([Выделить массив]), либо нажимаем на сочетание клавиш Alt + =, а затем нажимаем на ENTER.

Аналогично рассчитываются площади территорий, выведенных из оборота, на которых крутизна склонов более 40°.

Самостоятельно необходимо вычислить долю площадей эрозионно опасных земель от общей площади региона.

ЗАНЯТИЕ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА РЕКИ

Для решения задачи оценки водосборной площади необходимо будет помимо программы QGIS использовать SAGA GIS. Отдельные инструменты анализа SAGA GIS интегрированы в QGIS, но в ряде случаев могут некорректно выполнять алгоритмы.

6.1. Избавление от замкнутых понижений в ЦМР

На первом этапе необходимо получить слой SRTM снимка в границах выбранного региона со значением -9999 для пустых пикселей (NODATA) (если эта операция уже выполнена на занятии 3, ее можно пропустить). Для этого потребуется повторно провести обрезку объединенного растра снимков по ранее подготовленной маске и указать данный параметр, а также исходную (EPSG:4326 — WGS84) и целевую (с зоной UTM) системы координат (рис. 76). Данная процедура выполняется в программе QGIS.

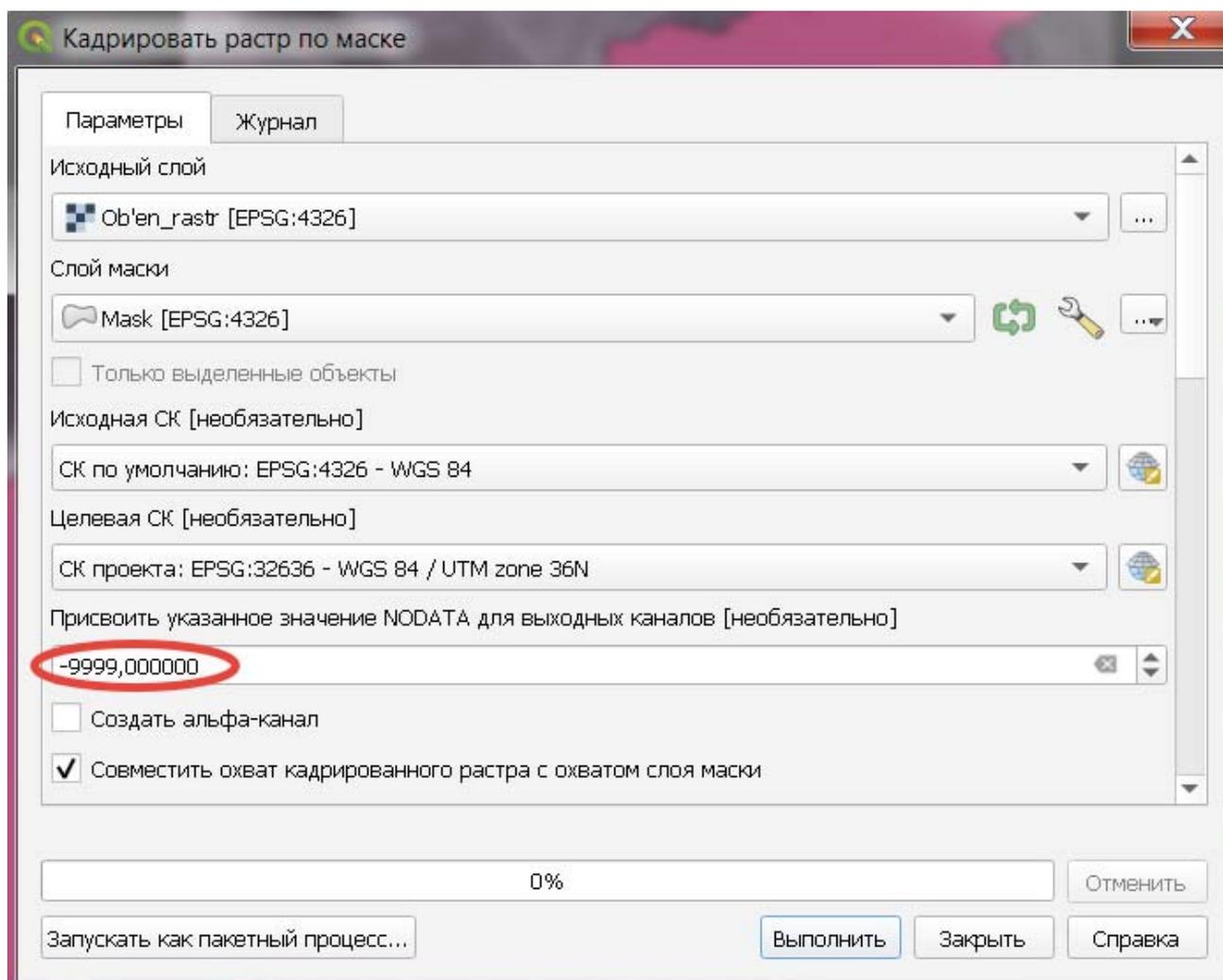


Рисунок 76. Кадрование растра по маске с указанием значения NODATA

Теперь в стиле слоя не нужно указывать дополнительные значения прозрачности, а дальнейшие расчеты будут проведены корректно.

Открываем программу SAGA GIS и переносим полученный после обрезки слой из директории (из проводника drag-and-drop) в формате .tif на панель Data, перетащив файл (рис. 77). Либо через меню FILE — OPEN...

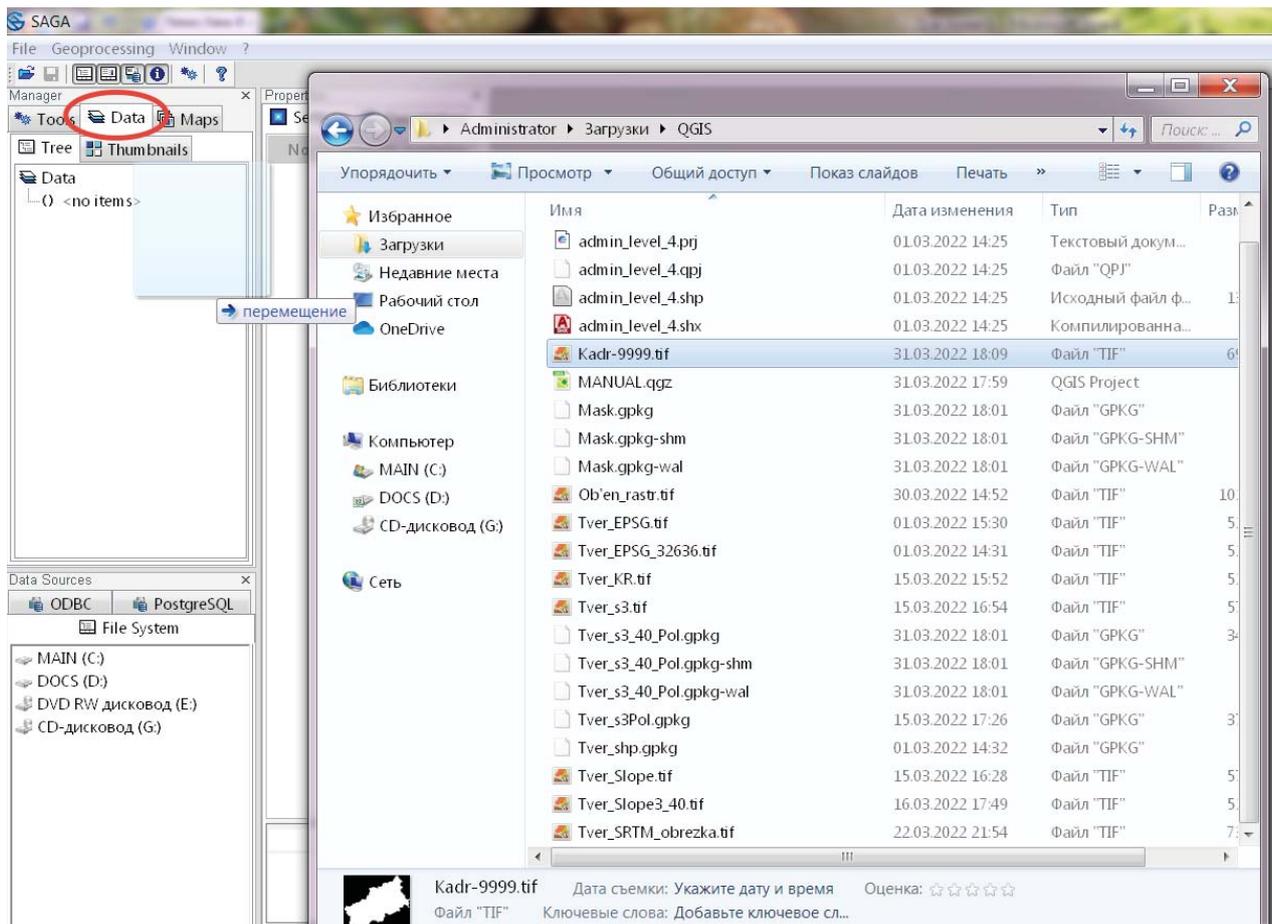


Рисунок 77. Перенос слоя SRTM в SAGA GIS

Двойным щелчком по слою в SAGA GIS можно отобразить данный слой (либо нажимаем правой клавишей мыши на название появившегося растрового слоя и выбираем ADD TO MAP [«Добавить на карту»] и NEW [«Новый»]). Программа отобразит в виде псевдоцветного изображения требуемый растровый слой.

Для нахождения водотоков необходимо избавиться от замкнутых понижений на ЦМР. Инструмент Fill Sinks XXL (Wang & Liu) преобразует ЦМР таким образом, что на месте замкнутых понижений формируется наклонная поверхность, а сам угол наклона задается пользователем. Откройте данный инструмент во вкладке Geoprocessing → Terrain Analysis → Preprocessing (рис. 78).

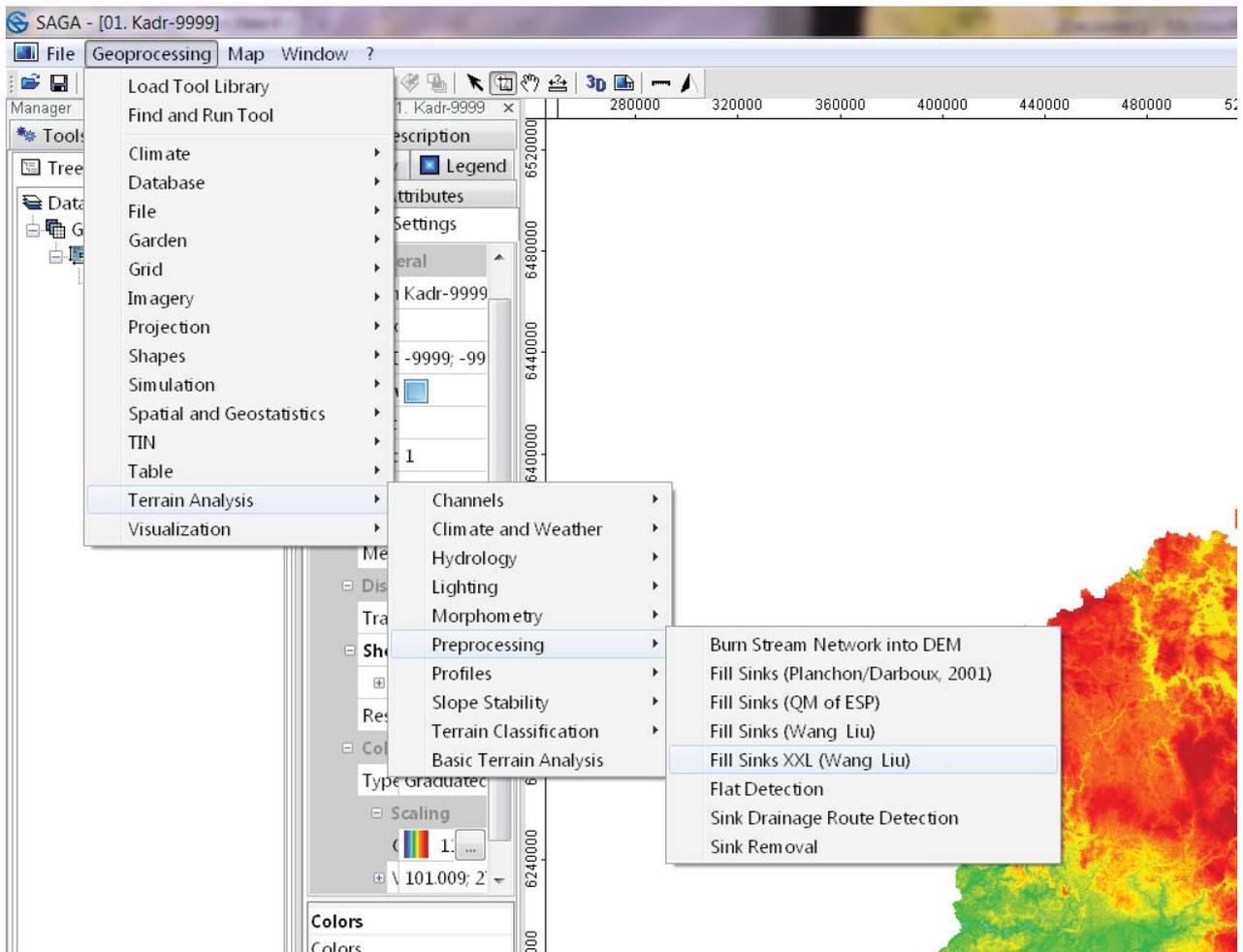


Рисунок 78. Инструмент анализа Fill Sinks XXL (Wang & Liu)

В строке Grid выберите предлагаемую систему, в строке DEM — слой SRTM, а крутизну укажите 0.01 (рис. 79).

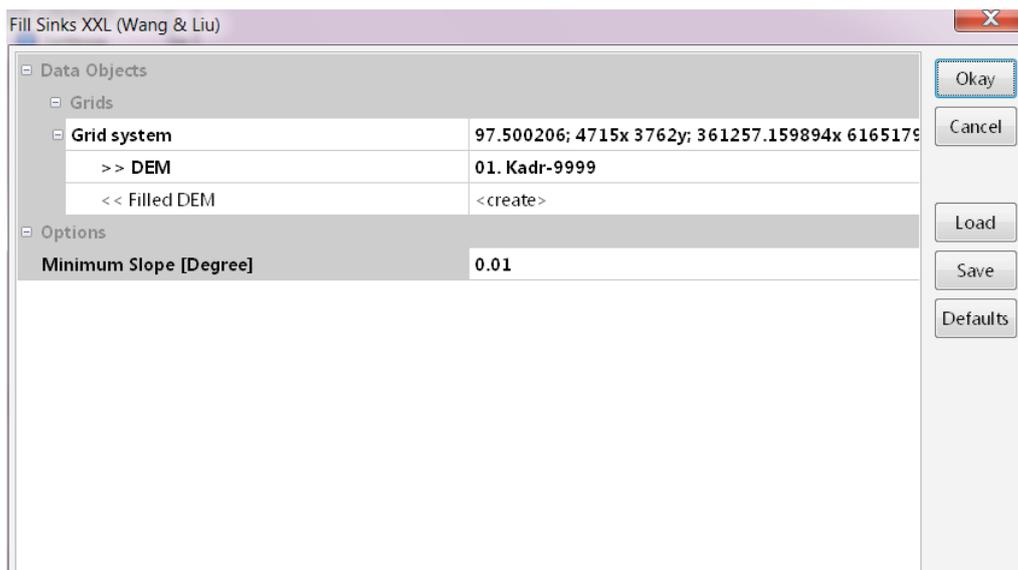


Рисунок 79. Параметры для изменения геометрии замкнутых понижений

После окончания расчета можно посмотреть полученный слой (двойным щелчком) и переименовать его во вкладке Settings (строка Name). Назовите данный слой Fill_DEM. Для сохранения изменений нужно нажать Enter и затем Apply. Затем выбрать слой правой клавишей мыши и пункт SAVE AS... (формат изменяем на TIF).

6.2. Создание растра водотоков

Определить водотоки можно с помощью инструмента Flow Accumulation (Top-Down), который находится во вкладке Geoprocessing → Terrain Analysis → Hydrology → Flow Accumulation (рис. 80).

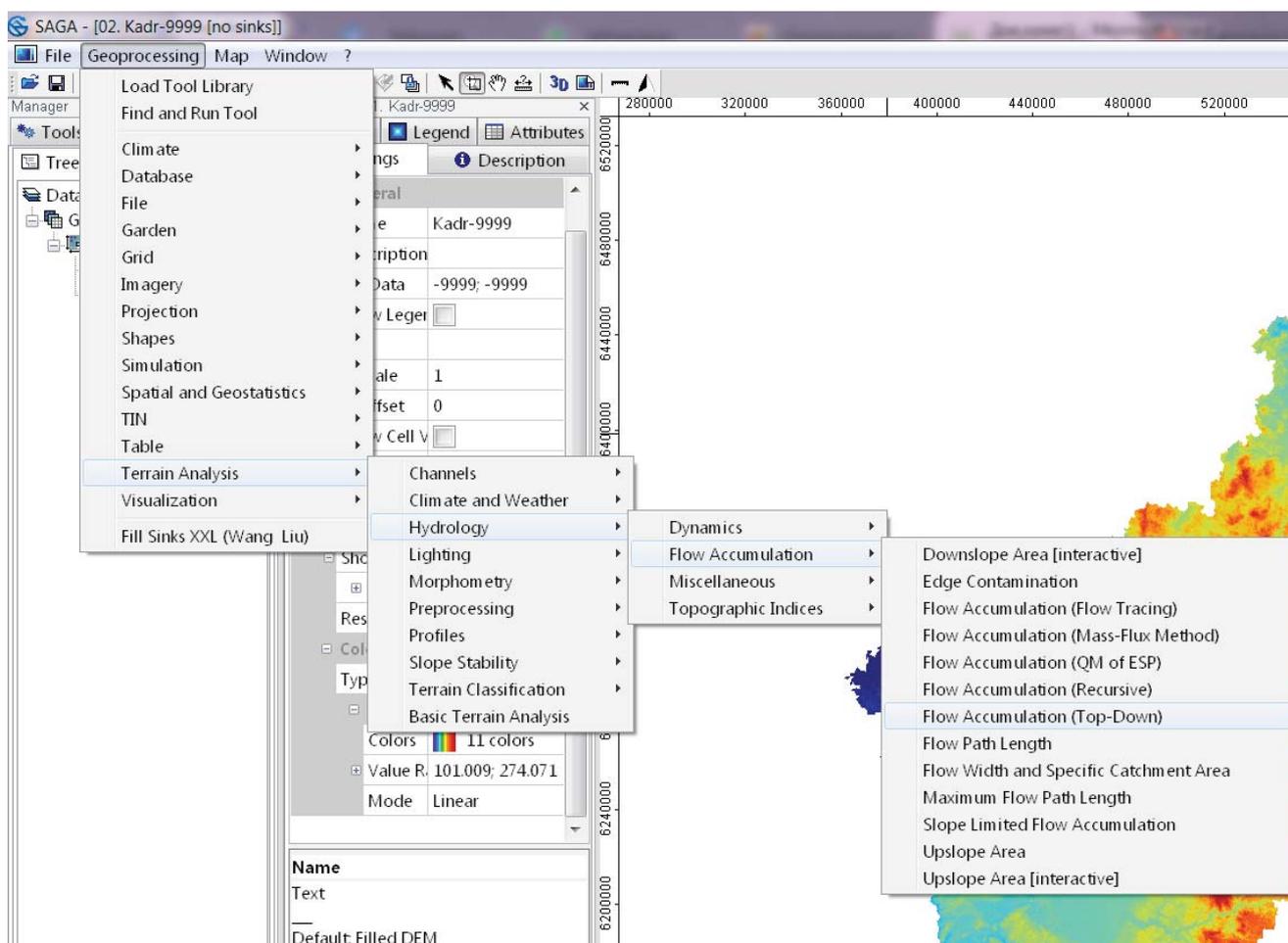


Рисунок 80. Функция Flow Accumulation (Top-Down)

В исходный слой (строка Elevation) выбираем слой Fill_DEM, а метод анализа — Deterministic 8 (рис. 81). Таким образом, получается слой с водотоками, где чем темнее синий, тем большее количество воды проходит через водоток. Данный слой необходимо сохранить в формате .tif и перенести в QGIS тем же способом, что и ранее.

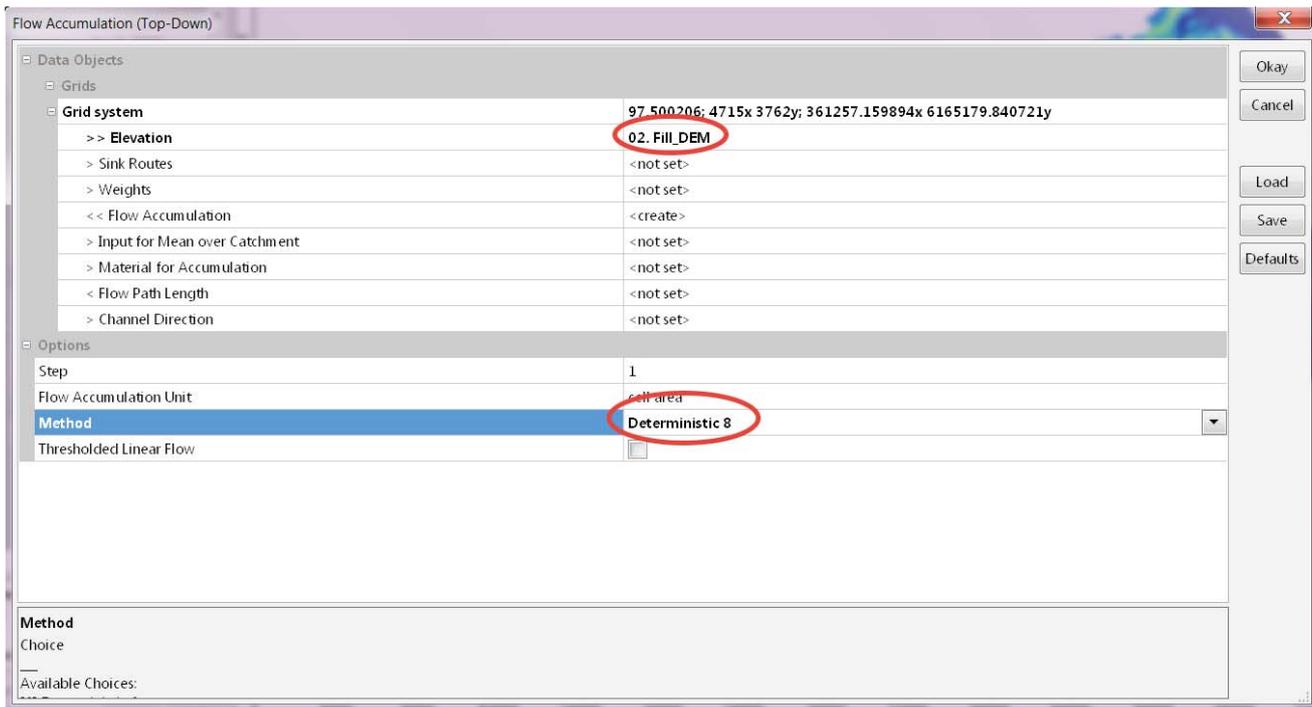


Рисунок 81. Параметры функции Flow Accumulation (Top-Down)

В программе QGIS двойным нажатием на слой открываем свойства стиля. Для отображения водотоков, так же, как и в SAGA GIS, необходимо выбрать в графе «ИЗОБРАЖЕНИЕ» «Одноканальное псевдоцветное», установить максимальное значение $1e + 07$, выбрать цветовую шкалу Blues и нажать на «ПРИМЕНИТЬ» (рис. 82).

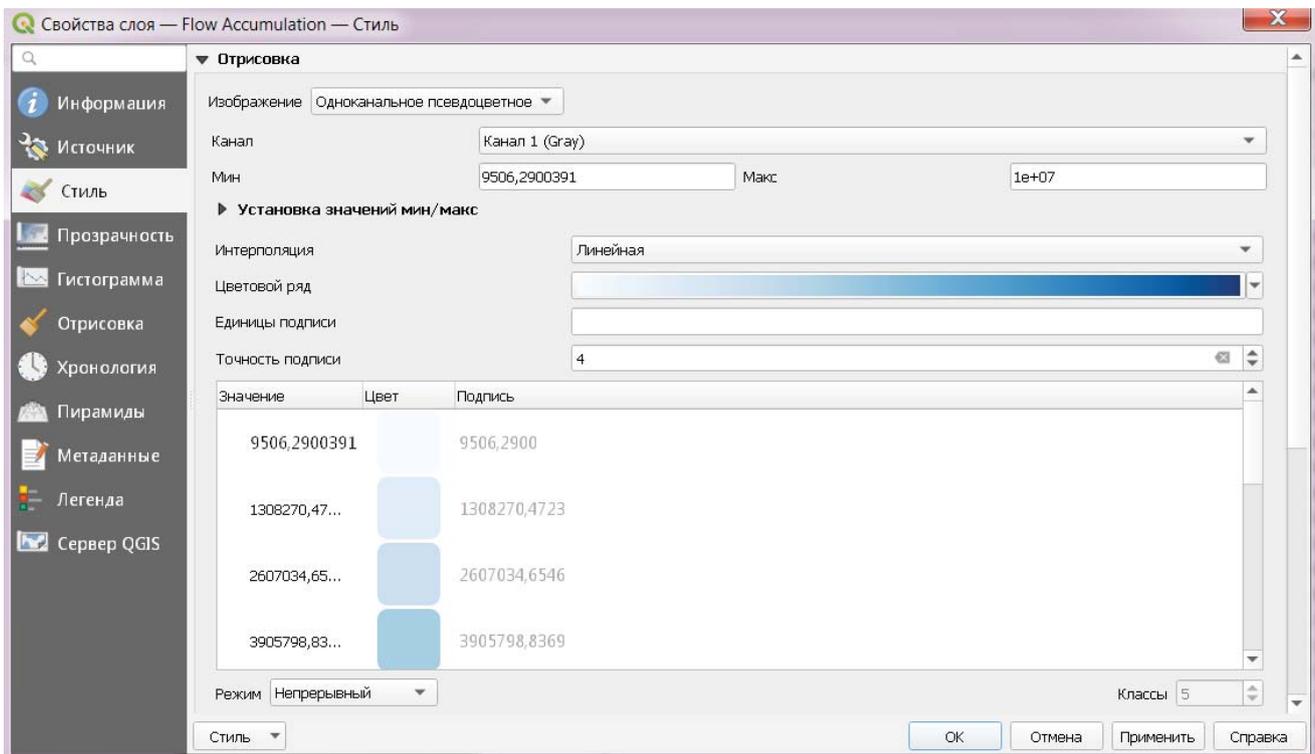


Рисунок 82. Параметры стиля слоя Flow Accumulation

Далее переходим на вкладку «ПИРАМИДЫ», чтобы построить пирамидальные слои всех разрешений. Выберите все доступные разрешения и метод интерполяции Гаусса. Нажмите на «ПОСТОИТЬ ПИРАМИДЫ» и «ПРИМЕНИТЬ» (рис. 83). Теперь все водотоки масштабируются.

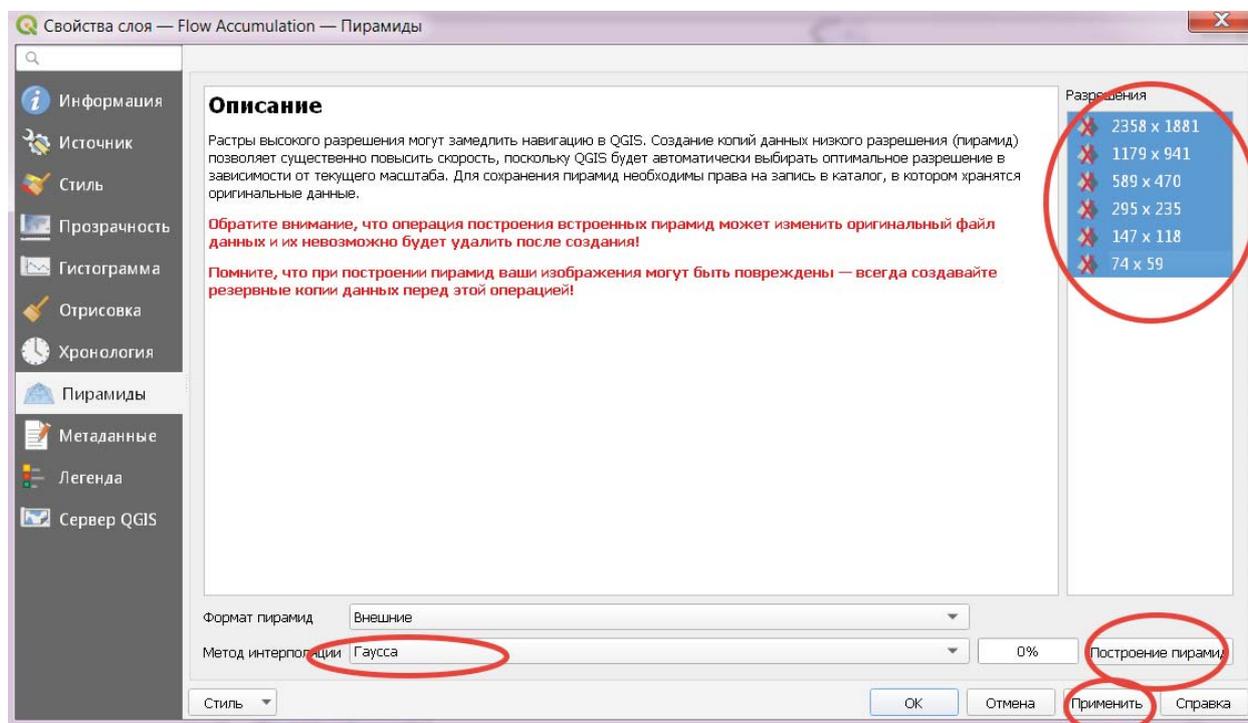


Рисунок 83. Построение пирамидальных слоев

Для создания растра сети водотоков водосборных площадей используется инструмент анализа «Переклассифицировать по таблице». В качестве растрового слоя выбирается слой Flow Accumulation. Границы интервала $\min \leq \text{value} < \max$. Далее переходим к параметрам Таблицы реклассификации. Добавляем ряд и интервалу от 0 до 1 000 000 м² (1 км²) присваиваем значение -9999, а интервалу от 1 000 000 м² до бесконечности (inf) присваиваем значение 1 (рис. 84). Нажимаем «ОК» и сохраняем файл с названием streams. Сеть водотоков можно перекрасить в темно-синий, проверив наличие других значений кроме 1, нажав на «КЛАССИФИЦИРОВАТЬ» в свойствах стиля слоя, выбрав тип изображения «ПАЛИТРА / УНИКАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ» (в некоторых версиях QGIS — «ИНДЕКСИРОВАННОЕ»). Если есть другие значения, их необходимо удалить.

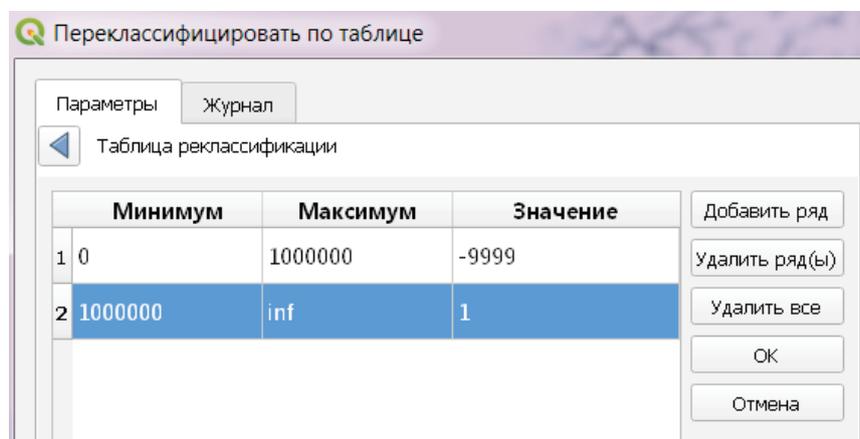


Рисунок 84. Параметры реклассификации растра

6.3. Расчет водосборной площади реки (поймы)

В данной работе вы будете рассчитывать площадь водосбора для одного из самых крупных водотоков. Включите отображение слоя SRTM или рельефа (слой streams, также остается видимым) и найдите крупный водоток. На нем нужно найти точку впадения реки в водоем либо самую низкую точку в водотоке (если место впадения реки находится за пределами региона). Далее с помощью инструмента «ОПРЕДЕЛИТЬ ОБЪЕКТЫ» нужно указать пиксель, который находится в выбранном вами месте и совпадает с одним из пикселей со слоя streams (рис. 85). В панели «Результат определения» появятся координаты точек X и Y.

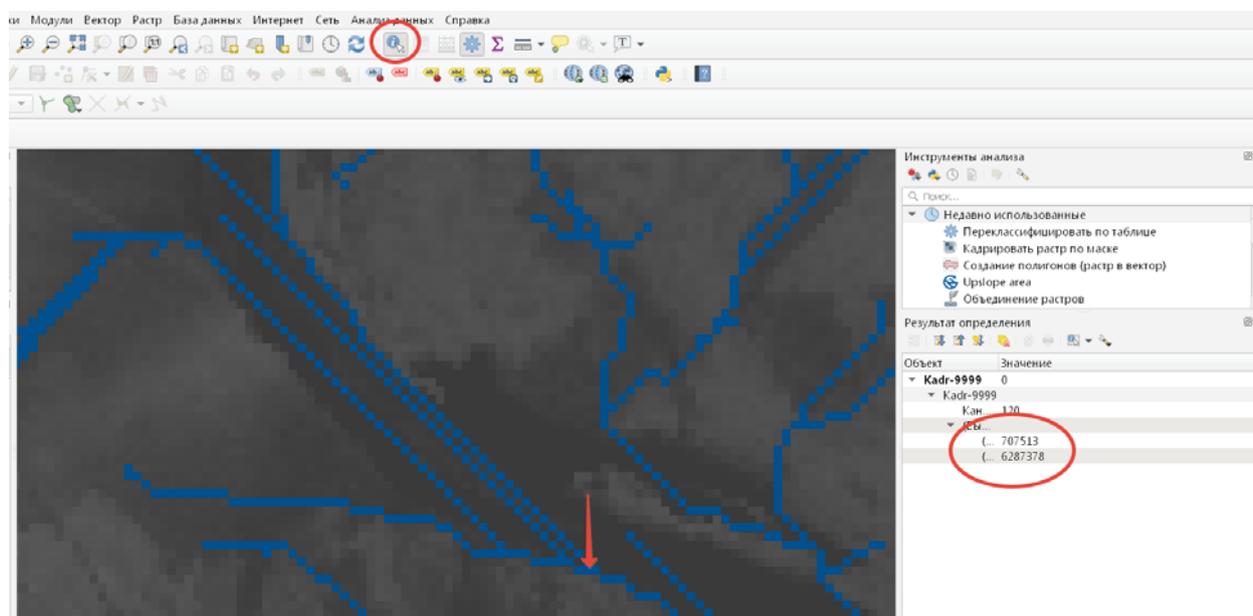


Рисунок 85. Определение координат точки аккумуляции воды в водотоке

После получения координат переходим в SAGA GIS и там же, где и инструмент Flow Accumulation, выбираем Upslope Area. В качестве слоя высот (Elevation) выбираем слой Fill_DEM, метод анализа D8, а в строки Target X coordinate и Target Y coordinate вбиваем координаты точки, полученные в QGIS (рис. 86). Нажатием правой кнопки мыши по координатам в QGIS можно выбрать копирование значения атрибута.

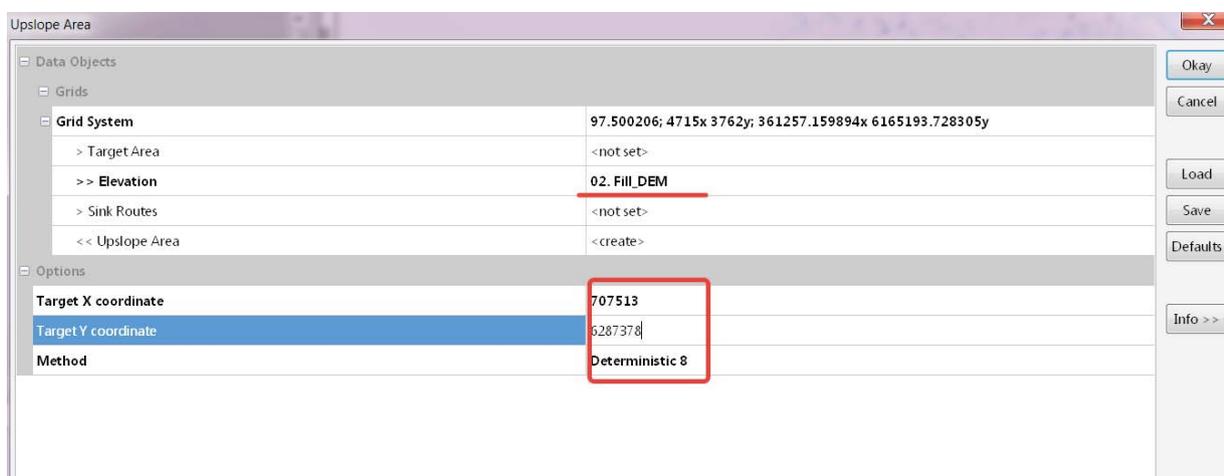


Рисунок 86. Параметры функции Upslope Area

В SAGA синим цветом будет выделена площадь водосбора. Если площадь водосбора не соответствует реально возможной, то нужно выбрать новую точку или другой водоток и повторить действия. В отдельных случаях требуется уточнять координаты точек в программе SAGA GIS, так как там разрядность выше. Чтобы удалить слой в SAGA GIS, нужно выбрать его и нажать на Delete. Если площадь водосбора похожа на реально возможную, то данный слой необходимо сохранить в формате .tif и перенести слой в QGIS. На полученном растре представлено всего два значения: 100 для ячеек, входящих в границы бассейна (белым), и 0 для всех остальных ячеек (черным). Данный растр нужно перевести в вектор, как вы делали это ранее (см. занятие 5). Выбираем полигон за пределами водосборной площади и удаляем его, в результате у вас получится примерно следующее изображение (рис. 87).

Самостоятельно рассчитайте площадь водосбора и его долю от площади региона (аналогично предыдущему заданию со склонами).

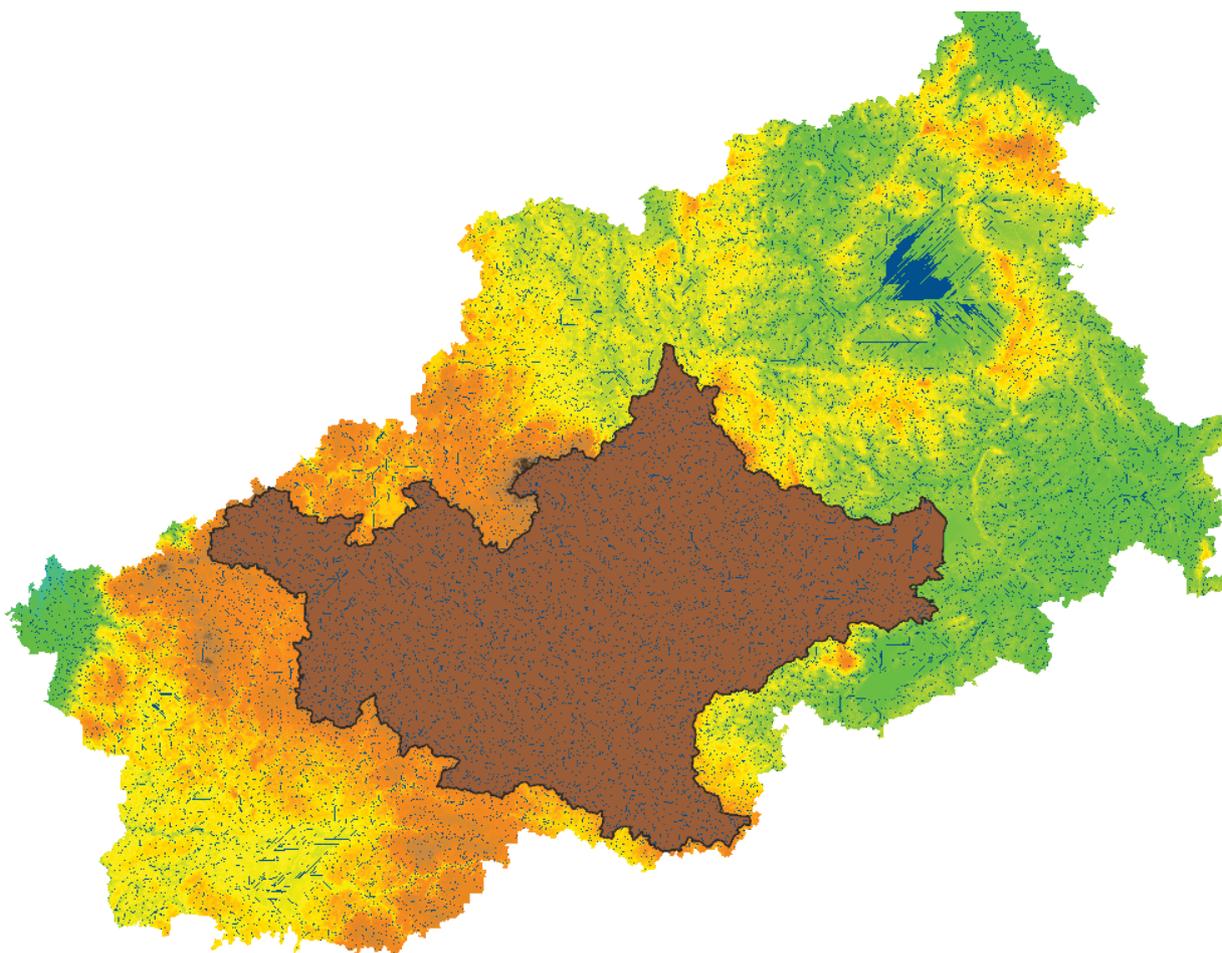


Рисунок 87. Результат выделения водосбора выбранной реки

6.4. Картографическое представление данных

В стиле получившегося векторного слоя поменяйте сплошную заливку на контур любого цвета (без заливки). Затем создайте новый векторный слой во вкладке «Слой → Создать слой → Создать слой Shapefile». Выберите тип геометрии «ТОЧКА» и правильную систему координат (рис. 88).

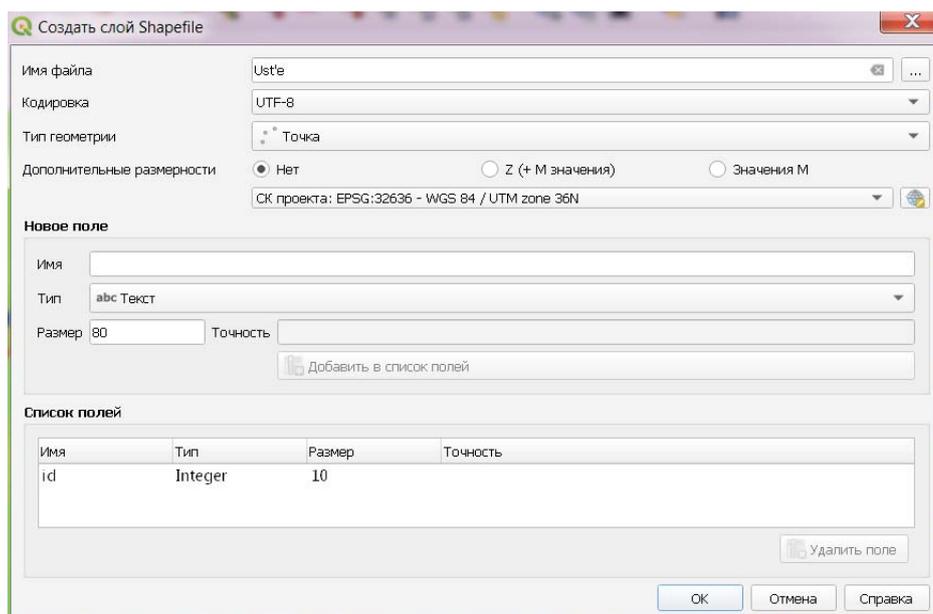


Рисунок 88. Создание векторного слоя

Выберите слой, включите режим правки и поставьте точку с помощью инструмента «Добавить точечный объект»  в устье выбранной вами реки (точка, координаты которой использовались в расчете водосборной площади). В стиле слоя выберите маркер точки и цвет на свое усмотрение.

Из SAGA GIS перенесите слой Fill_DEM в QGIS, сохранив его в формате *.tif. Оставьте видимыми добавленный слой, слой с границами бассейна реки (водосбор) и точку устья. Слой Fill_DEM должен находиться под другими слоями.

В стиле слоя с границей бассейна установите во вкладке «Отрисовка» значение непрозрачности 50%.

В стиле слоя Fill_DEM выберите изображение «Одноканальное псевдоцветное», интерполяцию дискретную, а цветовую шкалу wiki-knutux во вкладке «Создать новую палитру → Палитры crt-city → Topography». Режим классификации «Равные интервалы» — число классов можете изменить в зависимости от полученного изображения, рекомендуется 9–10 классов. Результат должен получиться примерно следующим (рис. 89).

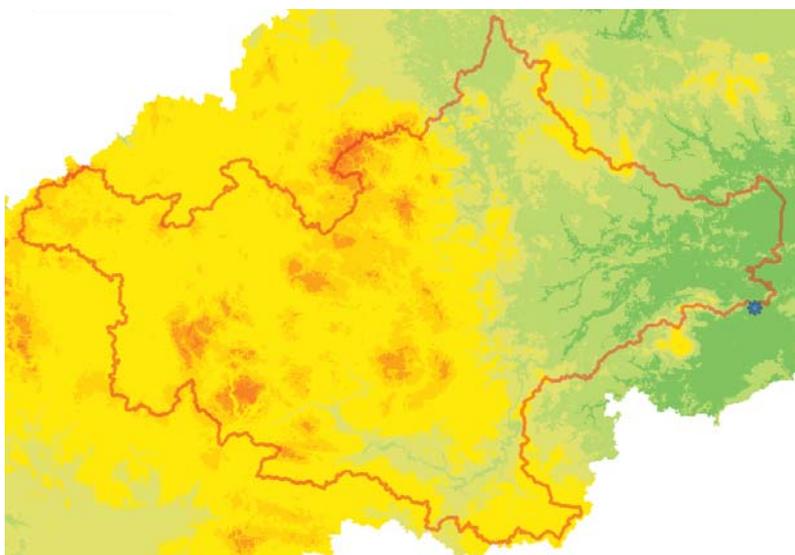


Рисунок 89. Результат 2D-визуализации водосборной территории

Установите модуль Qgis2threejs через вкладку «Управление модулями» (см. занятие 2). На панели инструментов появится иконка модуля . Данный модуль предназначен для создания трехмерной визуализации в QGIS на основе растровых и векторных пространственных данных. Запустите данный модуль и сделайте видимым слой Fill_DEM. Чтобы слой перестал быть плоским, нужно увеличить вертикальный масштаб. Для этого зайдите в настройки сцены (Scene — Scene settings...) и установите коэффициент вертикального масштабирования (Z exaggeration), равный 25–30 в зависимости от полученного изображения (рис. 90). Сохраните файл в формате .png в свою папку.

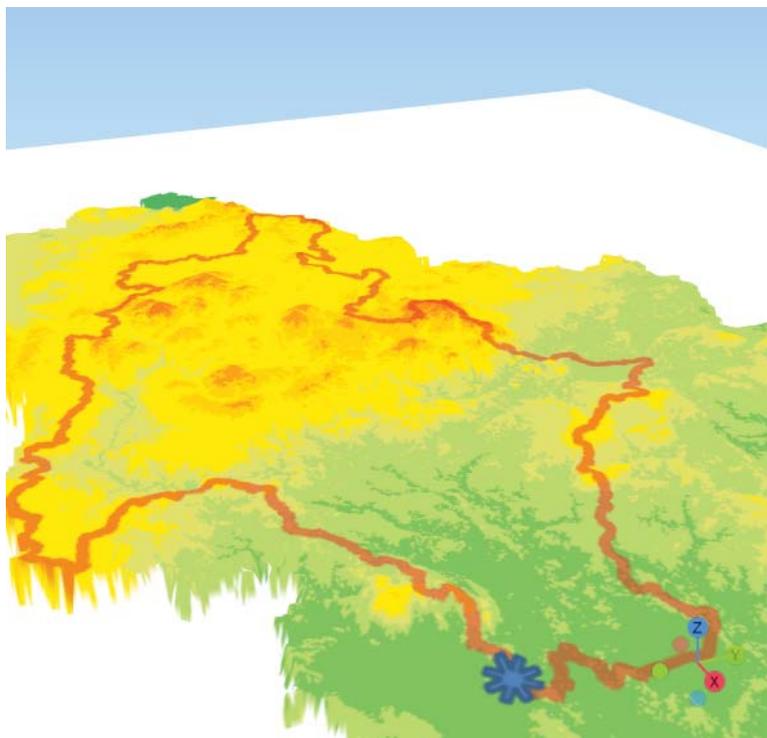


Рисунок 90. Результат трехмерной визуализации водосбора

Результаты проделанной работы покажите преподавателю.

ЗАНЯТИЕ 7. КОНТРАСТИРОВАНИЕ СНИМКОВ И РАСЧЕТ NDVI

7.1. Выгрузка снимков Landsat

Исходное качество космических снимков часто не позволяет использовать их для ряда важнейших задач, таких как дешифрирование и классификация, поэтому исследователи прибегают к различным способам обработки изображений. Одним из таких инструментов повышения качества и «читаемости» снимка служит контрастирование изображения. Контрастирование изображения выполняется путем преобразования его гистограммы, которая, в свою очередь, является визуальным представлением структуры градаций яркости пикселей, то есть на гистограмме по оси абсцисс откладываются уровни яркости (градации, например, от 0 до 255), а по оси ординат — частоты встречаемости (количество пикселей с соответствующей яркостью).

В данной работе будем рассматривать подобный прием на примере снимков спутника Landsat 5, выполнение контрастирования для других данных дистанционного зондирования будет выполняться аналогичным образом. Для работы со снимками в QGIS нужно установить модуль SCP через «Управление модулями». При установке зачастую возникает ошибка, связанная с устаревшей библиотекой Python Remotior Sensus. Чтобы исправить эту ошибку, требуется зайти в программу OSGeo4W Shell (она идет в одном пакете с QGIS и уже установлена), ввести в строку команду `pip3 install --upgrade remotior-sensus scikit-learn torch`, нажать enter и дождаться обновления библиотеки. После этого нужно перезапустить QGIS. В верхней строке вкладок появится данный модуль, в нем выбираем Download products (рис. 91)

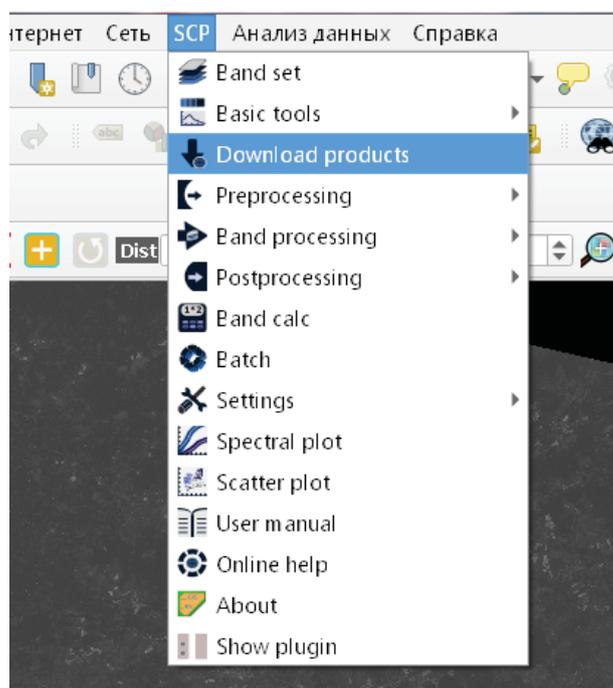


Рисунок 91. Модуль SCP

В открывшемся окне на вкладке Login data нужно ввести логины и пароли к сервисам, в которых вы регистрировались на занятии 1. В частности, нам пригодятся учетные данные сервиса NASA. На вкладке Search необходимо установить параметры поиска (рис. 92):

1) область, в которой будет производиться поиск снимков; для выбора области на карте в окне нажимаем кнопку «+», а далее левой кнопкой и правой кнопкой мыши последовательно в двух точках выбираемой области (область поиска прямоугольная, соответственно, кликаем в верхний левый угол и нижний правый); обратите внимание, что переход от окна модуля к карте не происходит автоматически, для этого потребуется использовать сочетание клавиш ALT + TAB;

2) в Products выбираем L4–5 TM, или Landsat HLS, Landsat MPC;

3) дату «от» и «до» выбираем в пределах 2009–2012 годов (последние годы работы Landsat 5), для Landsat MPC доступен весь архив снимков до сегодняшнего дня.

Нажимаем Find.

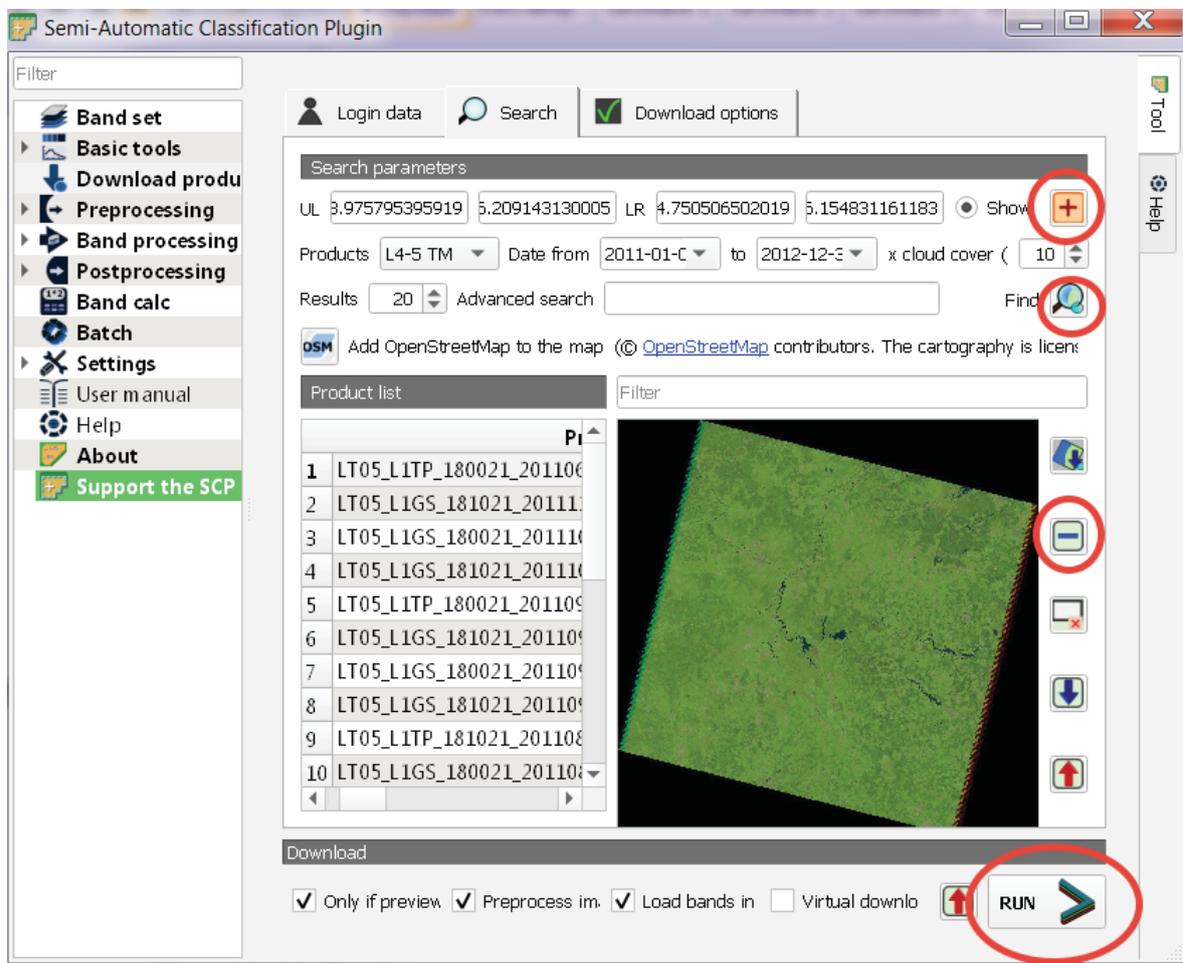


Рисунок 92. Параметры загрузки снимков

Из найденных снимков необходимо выбрать два снимка в разные временные периоды (либо разные года, либо разные сезоны), на которых бы поверхность не перекрывалась облаками. Все остальные снимки нужно удалить из списка. Для этого выбираем ненужные снимки и нажимаем кнопку «←». Предварительный просмотр позволяет наглядно увидеть отображение снимка перед загрузкой. Для загрузки снимков нажимаем кнопку Run и выбираем путь сохранения.

На панели слоев появятся сконвертированные снимки, их нужно удалить из набора. Чтобы добавить слои со снимками в проводнике в папке сохранения, переходим в папку без надписи _converted (рис. 93).

Landstat	08.04.2022 14:37
LT05_L1TP_180021_20110607_20161009_01_T1_2011-06-07	01.11.2022 11:52
LT05_L1TP_180021_20110607_20161009_01_T1_2011-06-07_converted	01.11.2022 11:50
TestIdss.vrt	04.04.2022 18:20

Рисунок 93. Выбор скаченных снимков

В папке будут находиться снимки в семи разных каналах, на конце их названия будут _B1, _B2 и т.д. Для удобства их можно переименовать только в «номер канала». Перетащите из папки снимки на панель слоев, начиная с канала 7. Объедините снимки в группу.

При некорректной работе модуля SCP можно выгрузить снимки с геологической службы США (см. занятие 2). <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Все семь файлов нужно объединить в один многоканальный растр. Для этого во вкладке «Растр» выбираем «Прочее» → «Объединение растров» («РЕЗУЛЬТАТ ОБЪЕДИНЕНИЯ»).

В открывшемся окне в «Исходных слоях» выбираем семь снимков с каналами. Обязательно отмечаем пункт «Поместить каждый исходный файл в отдельный канал» (рис. 94).

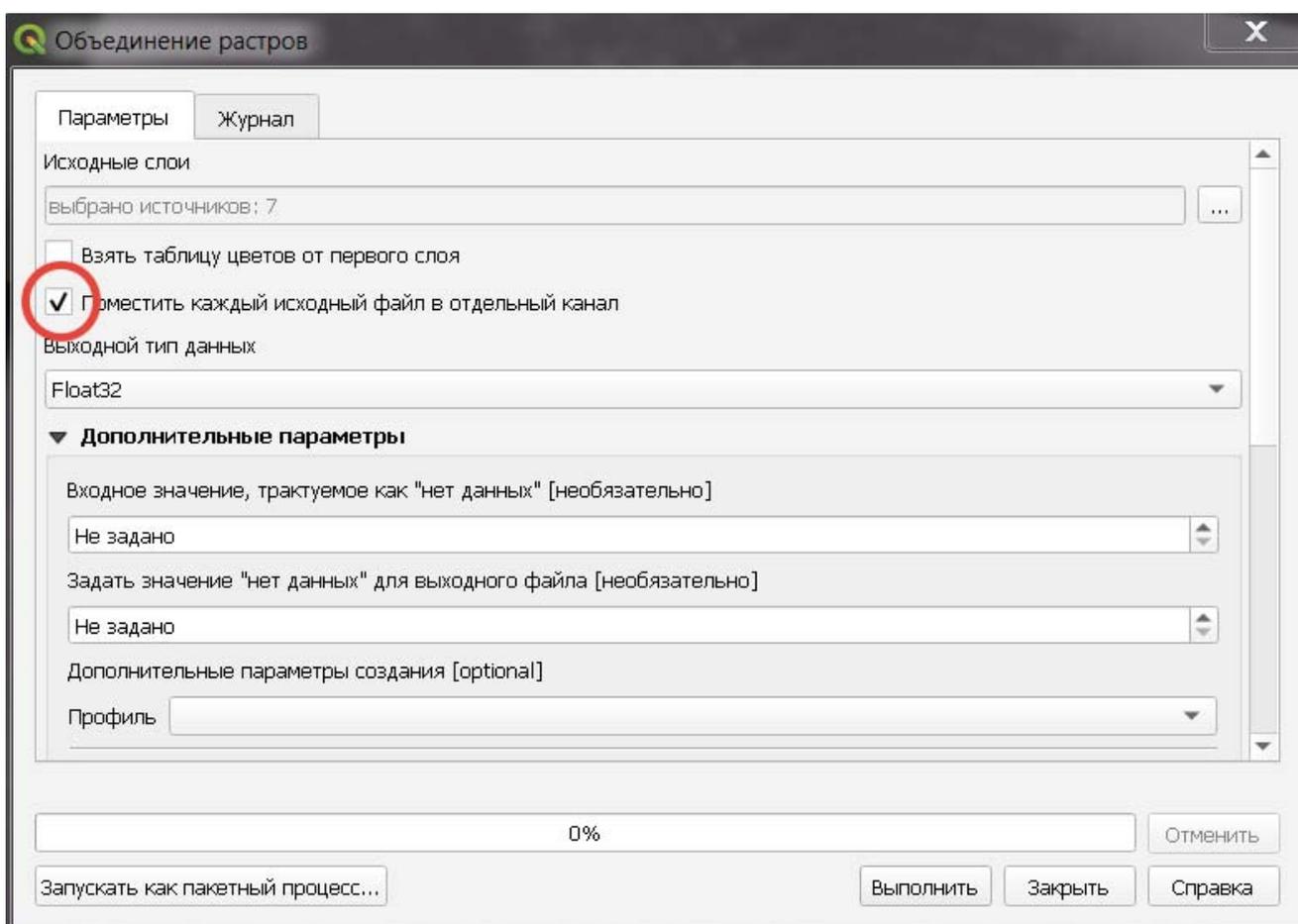


Рисунок 94. Объединение снимков в один растр с отдельными каналами

У полученного слоя открываем свойства стиля. Там в красном, зеленом и синем канале выбираем Канал 3, 2, 1, соответственно. Данный порядок характерен для Landsat 5 (рис. 95). Для более поздних версий Landsat (8,9) и снимков других спутниковых систем порядок каналов будет отличаться.

Рисунок 95. Отображение растра в естественных цветах

Для Landsat 5 характерны следующие спектральные диапазоны (табл. 2).

Таблица 2. Спектральные каналы и длины волн

Спектральный канал	Длины волн, мкм
1 — синий	0,45–0,52
2 — зеленый	0,52–0,60
3 — красный	0,63–0,69
4 — ближний инфракрасный	0,76–0,90
5 — инфракрасный	1,55–1,75
6 — инфракрасный	2,08–2,35

7.2. КОНТРАСТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ NDVI

Для контрастирования снимков во вкладке «Гистограммы» нужно создать гистограмму. Далее в параметрах выбрать отображение текущего канала. Поочередно в каналах 1–3 нужно установить новые минимум и максимум, для этого нажимаем на значок пальца и кликаем в места на гистограмме, соответствующие новым минимуму и максимуму (рис. 96). Перед тем как перейти к следующему каналу, необходимо «Применить» изменения.

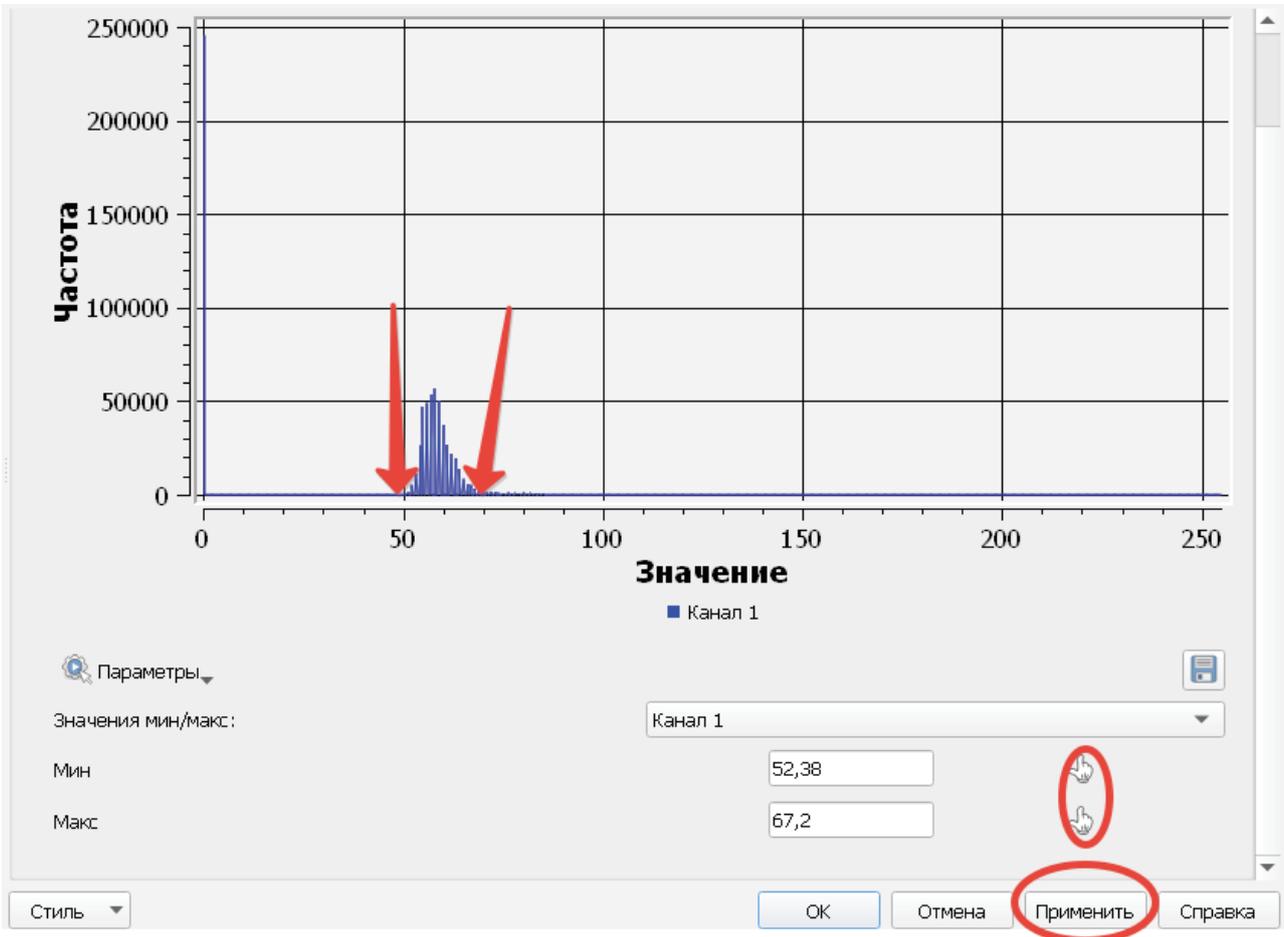


Рисунок 96. Настройка гистограммы

После этого снимок становится более четким и насыщенным, что в отдельных случаях будет облегчать задачи идентификации объектов на поверхности при проведении дешифрирования спутниковых снимков.

Для расчета вегетационного индекса NDVI используются два канала: в ближнем инфракрасном и красном спектрах. Формула NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Расчет NDVI на снимке возможен с помощью специальных модулей или через калькулятор растров, где данную формулу и нужно ввести (рис. 97).

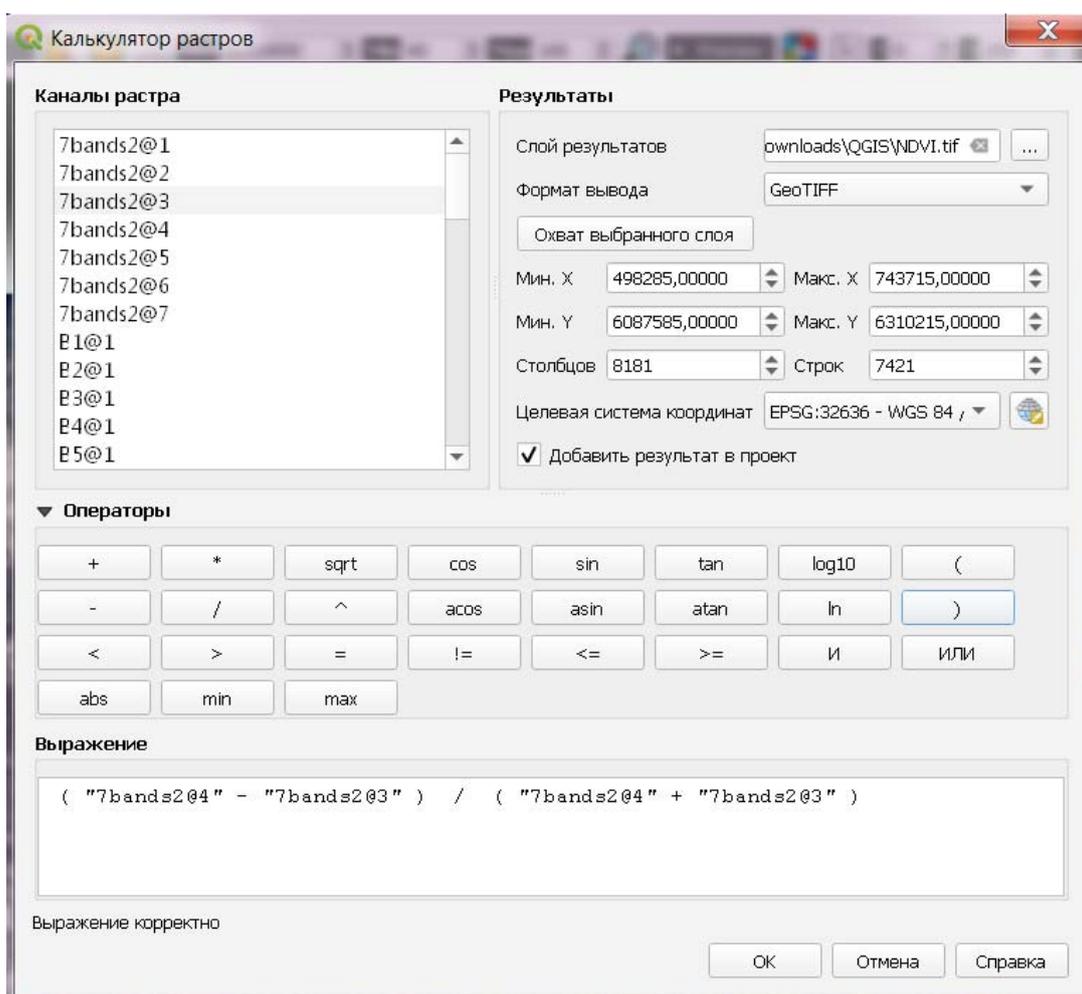


Рисунок 97. Расчет NDVI с помощью калькулятора растров

Для оценки значений используется классификация состояния растительности в соответствии со значениями вегетационного индекса (на примере шкалы С.В. Пьянкова).

Таблица 3. Примерные значения NDVI для различных объектов на снимке

Значение NDVI	Состояние растительности
0–0,10	Открытая почва или нет данных (облачность на снимке)
0,10–0,20	Разреженная растительность
0,20–0,30	Угнетенное
0,30–0,40	Очень плохое
0,40–0,55	Удовлетворительное
0,55–0,70	Хорошее
0,70–1,00	Очень хорошее

В свойствах стиля выбираем «Одноканальное псевдоцветное» изображение, дискретную интерполяцию, цветовую шкалу RdYIGn, в режиме выбираем «Равные интервалы», а число классов выбираем 7. Определяем нужные значения классов, исходя из классификации С.В. Пьянкова (рис. 98).

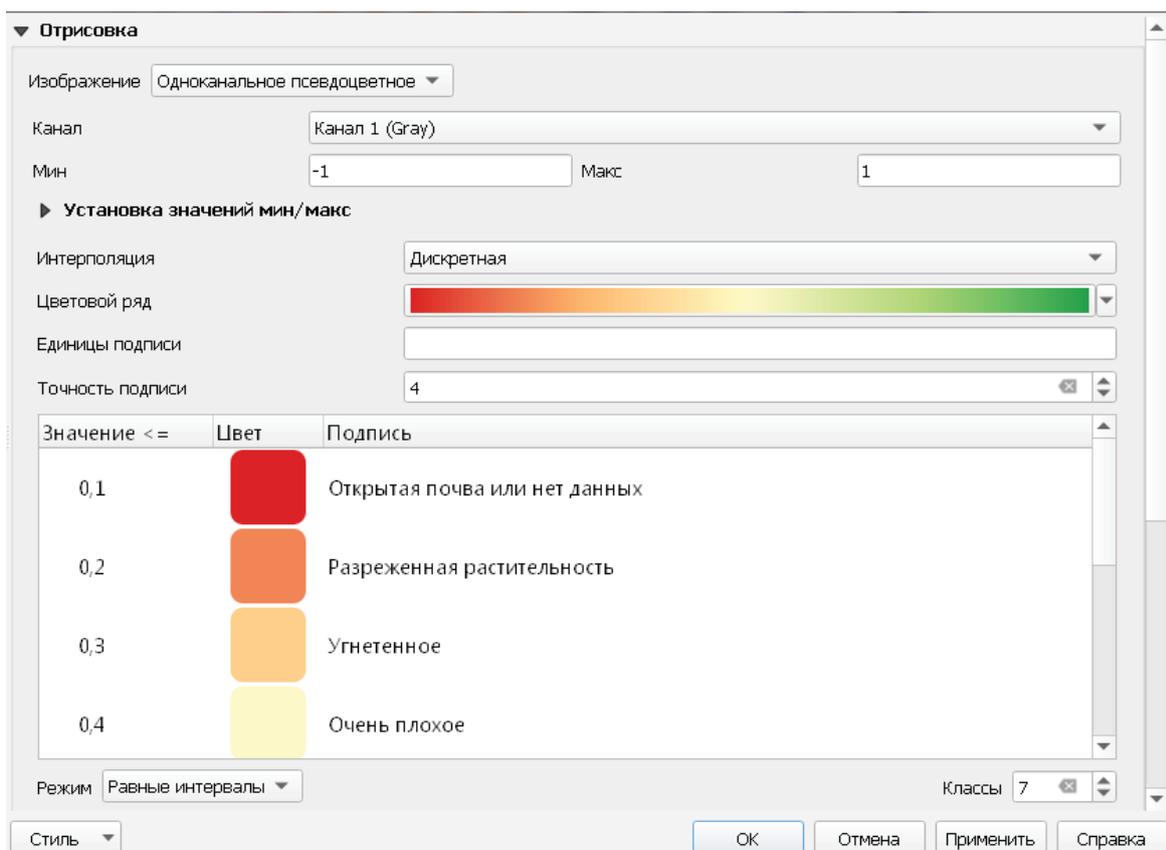


Рисунок 98. Создание классов по значениям NDVI

Полученный результат будет выглядеть следующим образом (рис. 99).

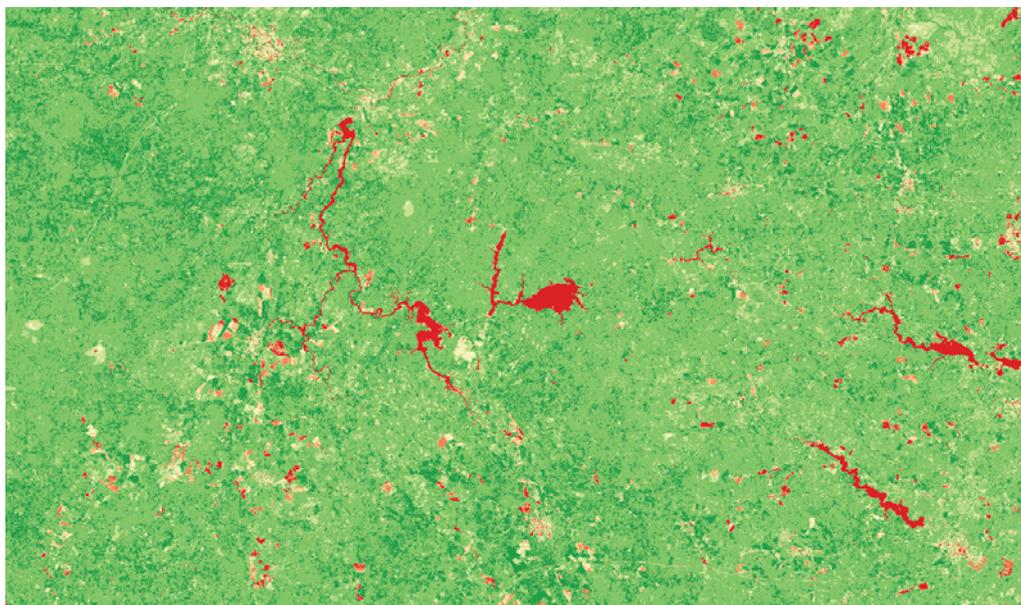


Рисунок 99. Картограмма состояния растений по NDVI

Данные операции необходимо провести также для второго снимка и провести их сопоставление. Результат показать преподавателю.

7.3. Создание макета карты

Инструмент создания макетов позволяет подготовить картографический материал к публикации. На нем отображаются сама карта, легенда к ней, масштаб и прочие элементы, необходимые для визуального представления результатов работы. На примере карты NDVI рассмотрим создание макета. Переходим в меню «Проект» → «Создать макет». Называем макет. Переходим назад на карту и масштабируем изображение так, чтобы карта была видна целиком. Возвращаемся в окно с макетом и переходим к пункту «Добавить» → «Добавить карту», а затем выделяем на макете область, куда будет помещена карта. Масштабировать карту в данной области можно в настройках карты, поменяв число масштаба во вкладке «Свойства элементов» (рис. 100).

Если полученный макет будет использован как отдельный документ, следует обязательно добавить название в шапку макета. При использовании картосхемы в качестве рисунка в документе, например в научном отчете или курсовой работе, подпись будет указываться отдельно.

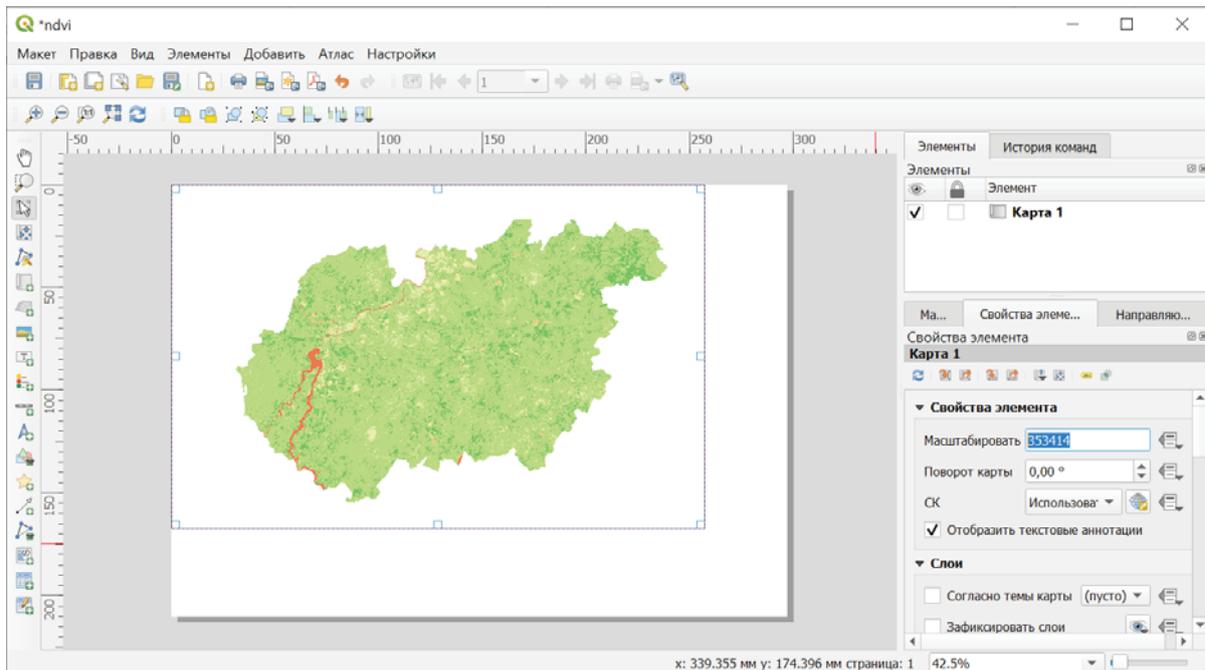


Рисунок 100. Создание макета в QGIS

Через вкладку «Добавить» самостоятельно добавьте легенду, масштаб и указатель на север. Для того чтобы в легенде отображались элементы данной карты, поставьте галочку напротив «Отображать только элементы в охвате карты» в «Свойствах элемента» (рис. 101).

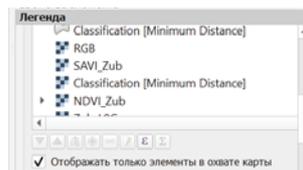


Рисунок 101. Параметры отображения легенды карты на макете

Чтобы сохранить изображение, во вкладке «Макет» выберите «Экспорт в изображение» и укажите формат файла.

Обратите внимание, что название всех элементов в легенде можно корректировать двойным щелчком левой клавиши мыши на названии элемента, который нужно исправить.

ЗАНЯТИЕ 8. КЛАССИФИКАЦИЯ И ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Последним этапом работы с космическими снимками, рассматриваемым в данном практикуме, является дешифрирование. Эта операция подразумевает сопоставление объектов и явлений на местности и на снимке. Распознавание и обнаружение отдельных видов компонентов экосистем часто служит сложной задачей, требующей у оператора экспертных компетенций и определенного опыта. Дешифрирование также может проводиться с использованием различных алгоритмов, в том числе машинного обучения, которое по своей сути выполняет то же самое, что и человек, но использует некоторые другие принципы.

Классификация или отнесение пикселя к тому или иному типу объектов на снимке может проводиться как с использованием обучения, так и без него. В первом случае задаются эталоны или пиксели, которые мы относим к конкретному типу объектов самостоятельно. Такой вариант вполне удобен, если на снимке можно точно обнаружить различные объекты и количество их типов невелико.

К алгоритмам классификации с обучением относятся, например, метод минимального расстояния, метод расстояния Махаланобиса и метод спектрального угла. В разных условиях лучшие результаты будут давать разные методы.

8.1. Загрузка снимка и подготовка выборки для классификации

В данной работе анализ будет проводиться со снимками Landsat 8–9. С сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>. необходимо выгрузить снимок Landsat 8–9, покрывающий один из районов выбранного вами региона. В параметрах Data sets выбираем Landsat 8–9 из Landsat Collection 2 Level-1 (рис. 102). Также в параметрах во вкладке Cloud Cover («Облачность») необходимо выставить перекрытие облаками не более 10%, чтобы отсеять снимки с большим перекрытием территории облаками. Для более точной классификации территориальных объектов снимок должен быть за летние месяцы. Файл должен содержать снимки в 11 каналах.



Рисунок 102. Выбор параметров снимков

После загрузки снимка добавьте 11 каналов в свой проект QGIS. Их нужно объединить в один снимок-композит с несколькими каналами так же, как вы делали это на занятии 7. При выборе слоев объединения важно расположить их по порядку (рис.103).

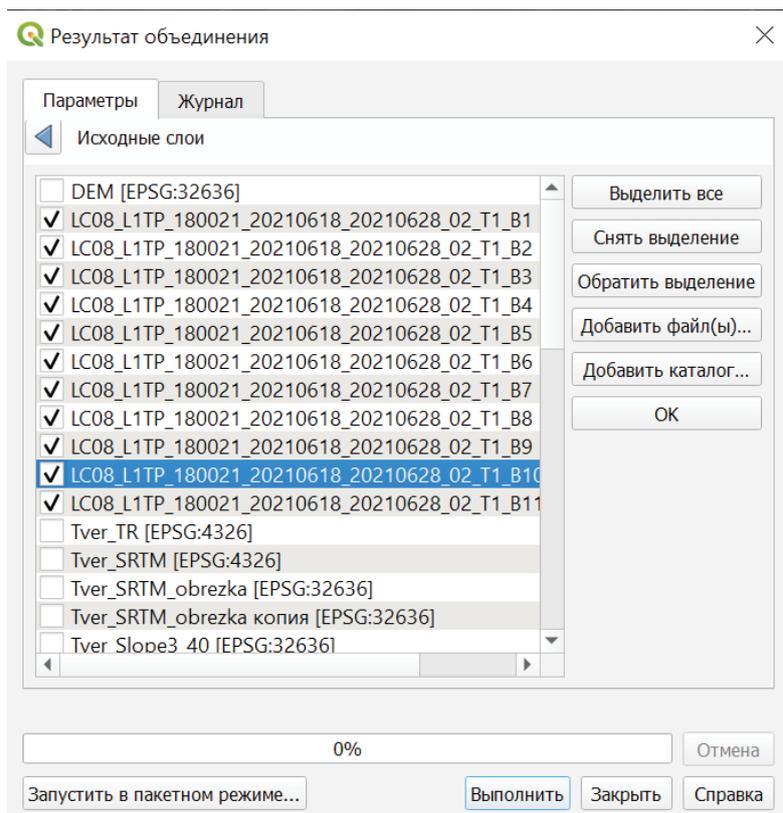


Рисунок 103. Выбор снимков для объединения

Полученный растр обрезаем по маске: из слоя `admin_level_6` выбираем район области. Для отображения естественных цветов в свойствах стиля расположите каналы в следующем порядке: 4, 3, 2 (рис. 104).

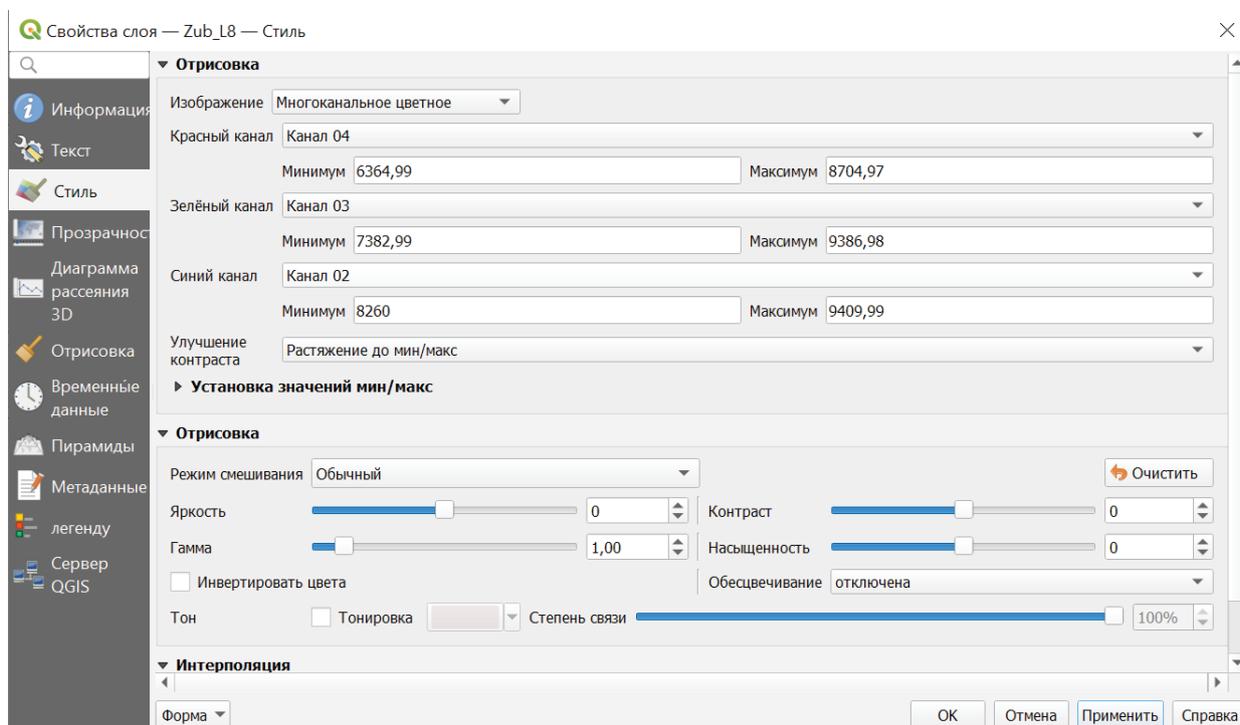


Рисунок 104. Порядок каналов RGB для Landsat 8–9

Для облегчения дешифрирования снимка и идентификации объектов на местности можно провести повышение пространственного разрешения (передискретизацию) снимка. Для этого находим «Повышение пространственного разрешения» на панели «Инструменты анализа» (рис. 105).

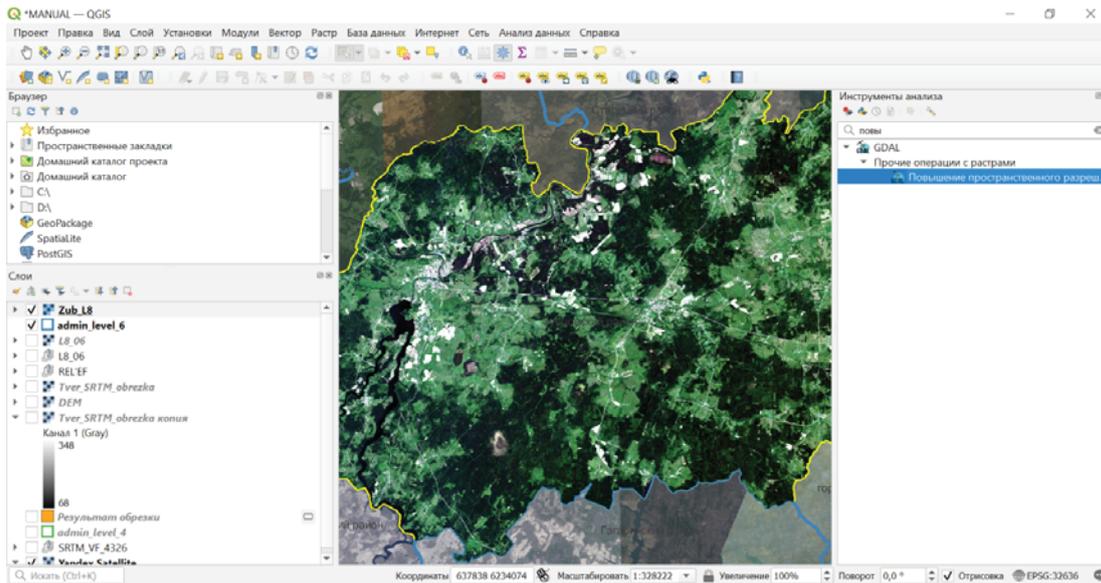


Рисунок 105. Повышение пространственного разрешения изображения

В появившемся окне (рис. 106) в «Спектральном наборе данных» оставляем слой с многоканальным снимком для района, а в «Панхроматическом наборе» — слой 8-го канала.

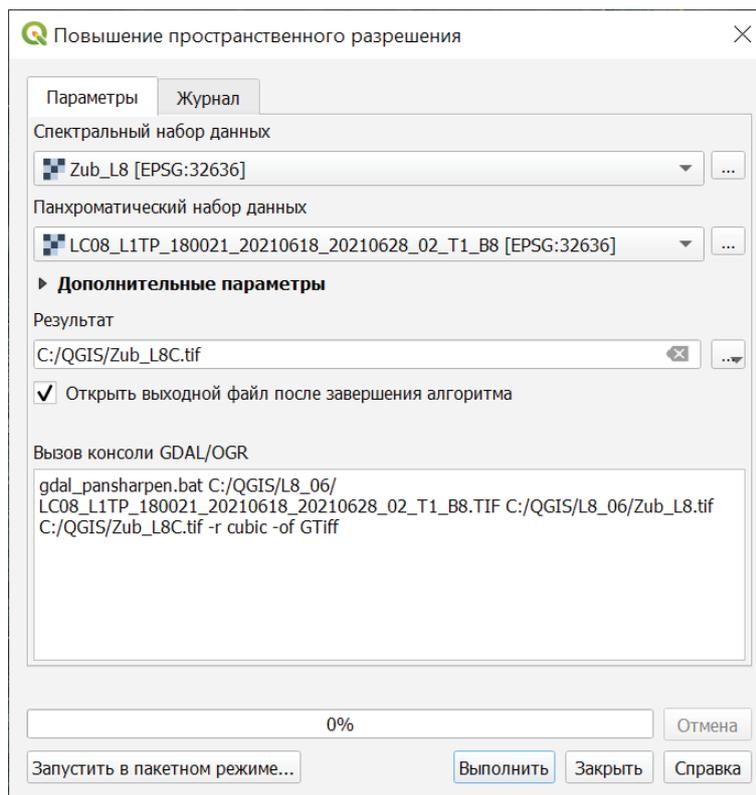


Рисунок 106. Параметры передискретизации снимка

В полученном слое также выставляем порядок каналов 4, 3, 2 для естественного отображения цветов, проводим контрастирование по гистограмме, как на занятии 7.

Далее необходимо составить векторный слой с полигонами, которые будут соотнесены с тем или иным классом объектов, для классификации с обучением в будущем. Создание векторного слоя проводим аналогично рассмотренному на занятии 6, но в типах объектов выбираем полигоны. В данной работе предлагается выделить следующие классы: пашня (пар), луг, лес, пашня с растительностью, город (постройки), водоем, дорога. На свое усмотрение вы можете добавить другие классы. Чтобы идентифицировать объекты, в частности с растительностью, создайте карту NDVI и SAVI, а также слой с порядком каналов 7, 5, 3 (где зеленой будет растительность, а малиновой открытая почва). Для Landsat 8–9 ближний инфракрасный — это 5-й канал, а красный — 4-й канал.

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L). \quad (1)$$

При создании векторного слоя необходимо добавить параметр «класс» в таблицу атрибутов (рис. 107). Для каждого класса необходимо выделить минимум 20 полигонов в разных частях снимка.

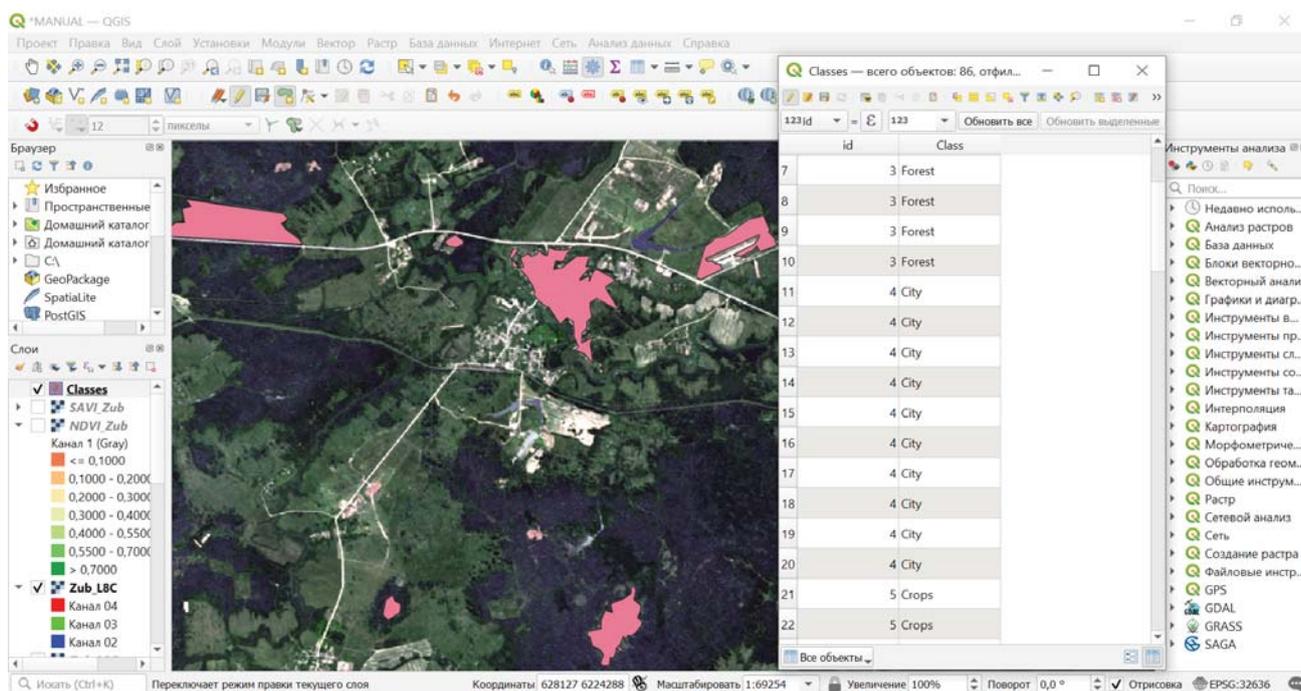


Рисунок 107. Создание векторного слоя с выборкой для обучения

После выделения полигонов слой с ними, а также слой со снимком района переносим в SAGA GIS.

8.2. Классификация без обучения ISODATA

Классификация с помощью итеративного алгоритма наряду с методом К-средних (K-mean) является одной из наиболее распространенных для обработки данных дистанционного зондирования [30, 31]. Данный тип классификации будем выполнять в программе SAGA GIS. Для выполнения классификации без обучения перейдите в Geoprocessing → Imagery → Classification → Unsupervised → ISODATA Clustering for Grids. В открывшемся окне (рис. 108) выбираем слой со снимком района и устанавливаем минимальное число классов, соответствующее числу классов, выделенных вами. В работе без использования классификации с обучением, когда мы не составляем слой с полигонами классов объектов, минимальное число классов стоит выбирать порядка 6–10.

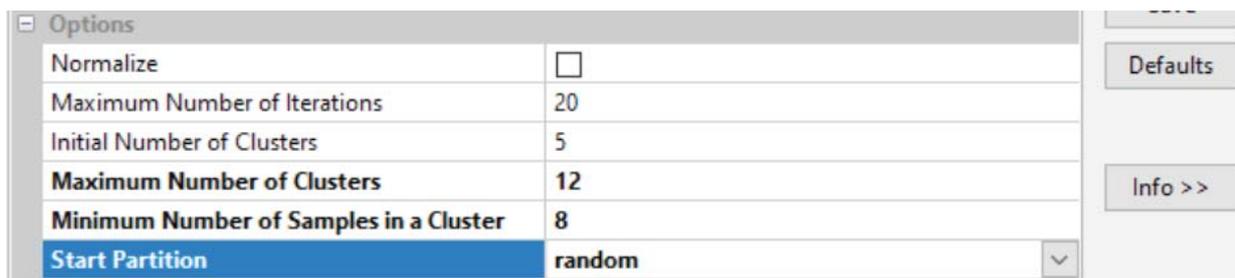


Рисунок 108. Выбор минимального и максимального числа классов в ISODATA

Полученное изображение можно перекрасить для удобства восприятия. Чтобы настроить цветовой отображение, перейдите во вкладку Settings и выберите параметры (рис. 109).

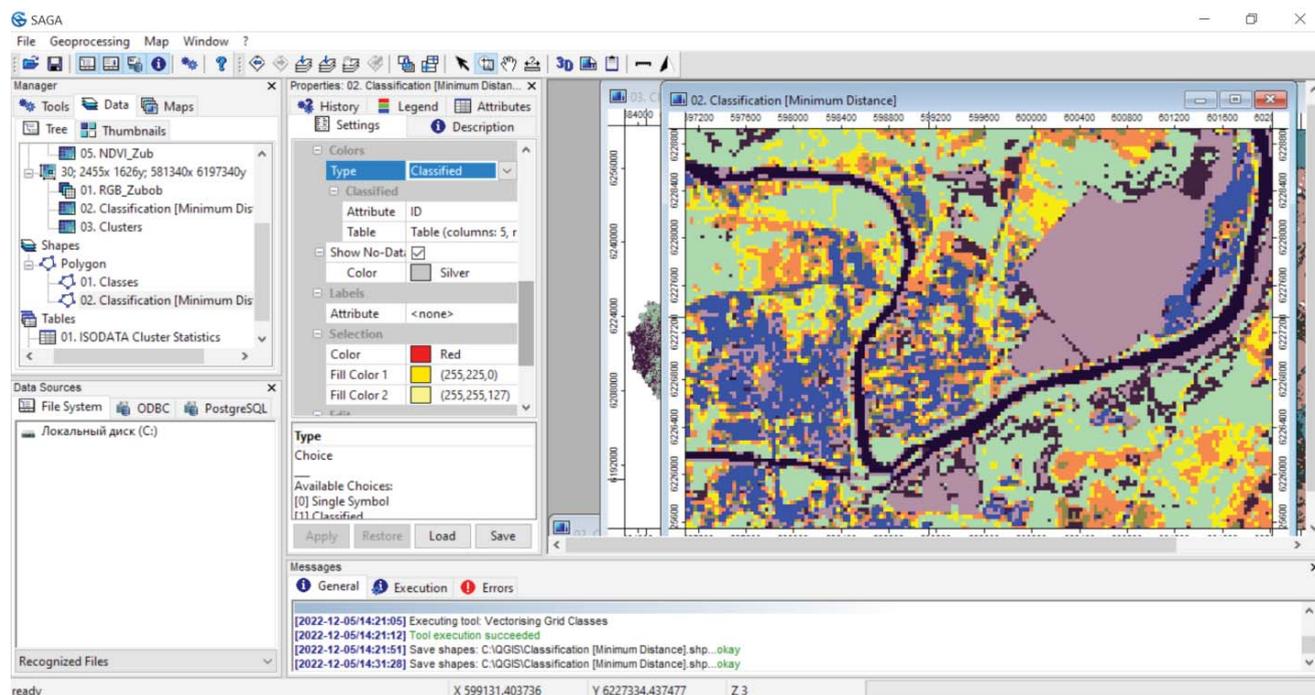


Рисунок 109. Параметры цветового отображения в SAGA GIS

Перенесите данный слой в QGIS и оцените соответствие выделенных классов и объектов на местности.

8.3. Классификация с обучением

Выбираем процесс классификации с обучением: Geoprocessing → Imagery → Classification → Supervised Image Classification (в предыдущих версиях программы Supervised Classification for Grids). В появившемся окне выбираем слой со снимком и слой с классами (рис. 110).

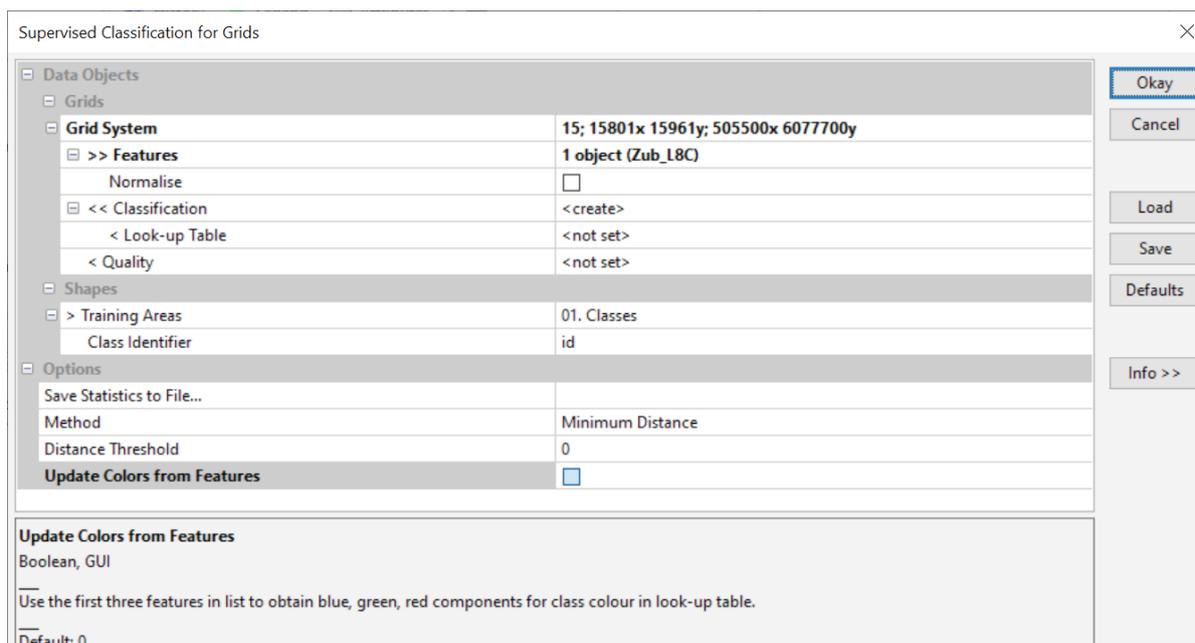


Рисунок 110. Параметры классификация с обучением

Проверьте соответствие типам классов полученных объектов на местности. Если они не соответствуют, добавьте в Supervised Image Classification к снимку вегетационные индексы NDVI или SAVI, а также можно сменить набор каналов на самом снимке (уменьшить их количество). Если классификация прошла успешно, то векторизуем классифицированный слой. Для этого перейдите в Geoprocessing → Shapes → Shapes-Grid Tool → Vectorization → Vectorising Grid Classes. В появившемся окне укажите слой с классификацией, в параметре Vectorised class as... one single (multi-) polygon object (рис. 111).

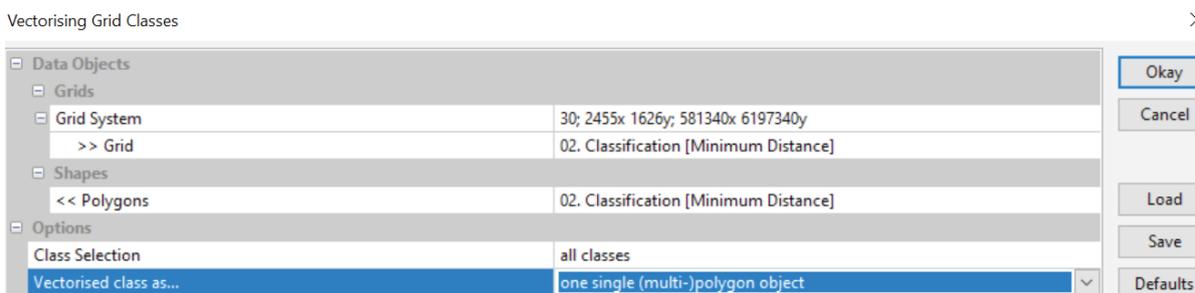


Рисунок 111. Векторизация растра в SAGA GIS

Дождитесь окончания векторизации. Затем сохраните слой с классификацией и векторизованный слой и перенесите их в QGIS. В свойствах стиля выберите покраску по точным значениям, расцветку выберите на свой вкус. Рассчитайте площади классов объектов.

Сравните полученные результаты классификации с обучающей выборкой и без нее. Какие типы объектов лучше распознаются алгоритмом с обучением? Сделайте выводы на основе анализа двух снимков. Результат предъявите преподавателю.

ЗАНЯТИЕ 9. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ЭРОЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЕНИЯ RUSLE

9.1. Определение и контекст

Эрозионные процессы включают в себя все механизмы высвобождения и транспортировки отложений на поверхности Земли. Они могут иметь либо физическую, либо химическую природу. Эрозионные агенты могут быть метеорологическими, водными, гравитационными или антропогенными. Понимание, оценка и борьба с эрозией являются ключевыми факторами в решении экономических (агрономическое качество почв, экономическая уязвимость), экологических (сток рек, утрата биоразнообразия) и социальных (питьевое водоснабжение, риски для жизни и товаров) вопросов [10].

Существует множество моделей эрозии, которые могут включать или не включать пространственное измерение процессов для квалификации и количественной оценки эрозии [24]. Одной из наиболее часто используемых пространственных моделей является эмпирический мод, основанный на универсальном уравнении потерь почвы (Universal Soil Loss Equation) [WIS 78]. Данная модель имеет ряд преимуществ:

- использование доступных географических параметров (климат, почвенно-растительный покров, топография);
- ее легко применять на базе программного обеспечения ГИС;
- адаптируемость к уровню знаний изучаемой области: она применима количественно или качественно в зависимости от точности каждого параметра;
- она дает возможность количественно оценить потери почвы.

Модель активно развивается и видоизменяется, на данный момент наиболее популярный вариант известен под названием «Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы» (RUSLE), но он все еще опирается на исходное уравнение, изменения коснулись только методов получения ряда параметров.

9.2. Модель RUSLE

Модель RUSLE, первоначально используемая для количественной оценки потерь почвы на сельскохозяйственных участках, обеспечивает оценку смещения отложений в пределах каждой ячейки (или пикселя) модели из-за водных процессов (осадки и поверхностный сток). Потери почвы выражаются в [Масса] • [Единица поверхности]⁻¹ • [Период времени]⁻¹, например, т га⁻¹ г⁻¹.

Соответственно, уравнение RUSLE выглядит следующим образом:

$$A = R * K * L * S * C * P, \quad [2]$$

где: **A** — потеря почвы, выраженная в тех же единицах, что и коэффициент **K** [Единица массы на единицу поверхности], и за период, выбранный для периода **R**. Теоретически потери почвы варьируются от 0 до бесконечности; на практике брызги и листовая эрозия соответствуют значениям **A** в диапазоне от 0 до 5 т га⁻¹, а эрозия внутри долин или эрозия оврагов может легко превышать 1000; т га⁻¹

R — фактор агрессивности осадков. **R** колеблется от 0 до бесконечности; при тропическом климате средние значения **R**-фактора равны 1500–1900 МДж мм га⁻¹ год⁻¹ и могут превышать 3000 МДж мм га⁻¹ год⁻¹ [Дум 10а];

К-фактор характеризует эрозионную нестойкость почвы. Этот безразмерный коэффициент получен экспериментально и обеспечивает способность почвы к потерям в тоннах на поверхность на единицу R для каждой почвы. Обычно **К** колеблется от 0 до 0,7 (т акр год)/(га Мдж мм);

L — длина наклона, выраженная в единицах длины;

S — градиент уклона. Для удобства S-фактор оценивается совместно с L-фактором, и они объединяются в LS-фактор. LS безразмерен и варьируется от 0 до бесконечности;

С-фактор растительного покрова. Это также безразмерный фактор, который варьируется от 0 до 1;

P квалифицирует методы ведения сельского хозяйства и защиты почв. P безразмерен и варьируется от 0 до 1.

Шесть параметров модели RUSLE непосредственно получают или оценивают из следующих дистанционных данных:

- осадки по данным метеостанций или агрегаторов спутниковых данных — R-фактор;
- цифровая модель рельефа (DEM) — LS-фактор;
- базы данных о землепользовании и почвенно-растительном покрове или визуальная/машинная оценка — коэффициенты К, С и P.

Реализация модели RUSLE состоит из трех основных этапов (рис. 104):

— предварительная обработка данных состоит из форматирования данных. Этот шаг включает в себя перепроецирование данных, обрезку данных в соответствии с областью интереса, некоторую коррекцию атрибутов и растривание;

— оценки индикаторов затем реализуются в соответствии с теоретическими формулами или в соответствии с правилами присвоения атрибутов.



Рисунок 112. Общая блок-схема расчетов потерь вследствие эрозии по методу RUSLE с использованием дистанционных данных

9.2.1. Климатический фактор: агрессивность осадков

Агрессивность осадков является фактором, определяющим способность осадков смывать почву. Таким образом, коэффициент R учитывает общее количество осадков и возникновение пиков осадков, способных вызвать эрозионные процессы.

Основываясь на тридцатилетних записях осадков, Вишмайер и Смит [WIS 78] считают, что агрессивность дождя не ограничивается интенсивностью осадков. Итоговый эффект от дождя должен включать кумулятивный эффект средних по интенсивности осадков. Поэтому авторы считают, что потери почвы во время дождя пропорциональны общей энергии осадков (E), выраженной в МДж мм (га ч)⁻¹, умноженной на максимальную интенсивность дождя события, измеренную за 30 мин (I_{30}), выраженную в мм ч⁻¹. Агрессивность дождя R , выраженная в МДж мм (га ч период)⁻¹ за заданный период времени, моделируется следующим образом [REN 94]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N},$$

где: $(EI_{30})_i = EI_{30}$ для дождя i ;

j — число дождей;

N — рассматриваемый период (месяц, год, несколько десятилетий и т.д.).

Тем не менее использование этой формулы для оценки пространственного перераспределения эрозии требует точных измерений осадков, охватывающих всю площадь объекта, что зачастую невозможно. Кроме того, авторы предлагают несколько методов аппроксимации R -фактора в соответствии с имеющимися параметрами. Руз [ROO 77] разработал приближение, основанное на следующем уравнении:

$$R = k * P * 0.5, \quad [3]$$

где: P — среднегодовое количество осадков в МДж мм (га-ч год)⁻¹;

k — поправочный коэффициент.

Для территории Центральной России рекомендуется использовать значение $k = 1,73$, предложенное [Дум 10а].

Оценки агрессивности осадков по среднегодовому количеству осадков в QGIS:

Растровый калькулятор: *Растр* → *Калькулятор растров*

9.2.2. Топографический фактор: длина склона и градиент

Длина склона L и градиент уклона S , полученный из топографических данных, влияют на чувствительность почвы к эрозионным процессам в результате осадков. Хотя первоначально они оценивались по отдельности, использование уникального фактора LS более удобно [WIS 78].

Для оценки коэффициента LS было разработано несколько алгоритмов [DES 96, MOO 89, MOO 91, PAN 91, TAR 05, WIS 78]. Первая формула учитывает длину склона вверх по течению от каждой точки DEM [WIS 78]. Далее, формулы, более часто встречающиеся в программном обеспечении ГИС, заменяют длину склона на область вверх по течению от каждой точки моде-

ли. Таким образом, различия между уравнениями вытекают из применения выбранных коэффициентов для лучшего учета рельефа исследуемой области (равнина, плато, холмы, горы).

$$LS = \left[\frac{A_s}{22.13} \right]^n \left[\frac{\sin \beta}{0.0896} \right]^m \quad [4]$$

с $n = 0,4$ и $m = 1,3$ согласно [МОО 89], где A_s — область сбора вверх по течению от каждого пикселя S , а β — уклон в градусах.

Функция SAGA для вычисления коэффициента LS:

Инструменты: *Гидрология* → *LS Factor, полевая...*

9.2.3. Типы почв и факторы почвенного покрова

9.2.3.1. Эрозивность почвы: K-фактор

Эрозивность почвы соответствует восприимчивости типа почвы к эрозии. Потенциал потерь почвы зависит от типа субстрата, его когезии, размера частиц почвы и педогенеза. Вишмайер и др. [WIS 71] предложили прогностическую методологию оценки коэффициента K на основе полинома, включающего для расчета размер частиц, содержание органического вещества в почве, текстуру почвы и проницаемость почвы:

$$K = 2,1 \cdot 10^{-16} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - OM) + 0,0325 \cdot b - 2 + 0,025 \cdot (c - 3), \quad [5]$$

где: M — сумма ила и мелкодисперсного песка в процентах; OM — органическое вещество в процентах; b — текстура почвы; c — норма проницаемости почвы.

Без полевых экспериментов для измерения потерь почвы с использованием моделирования осадков или с помощью оценки с использованием метода, предложенного [WIS 78], эмпирические значения обычно берутся на основе таблицы, предложенной [STO 11]. Эти значения связаны с типами почв из почвенной карты или геологической карты путем выполнения атрибутивной ассоциации значения K в соответствии с атрибутом почвы.

Функция QGIS для создания нового атрибута на основе существующих:

Вектор – *Таблицы атрибутов* → *Калькулятор полей*.

9.2.3.2. Растительный покров: C-фактор

C-фактор вводит эффект фиксации частиц почвы растительностью [WIS 78], а также влияние циклов растительности и сельскохозяйственных культур. C-фактор был впервые измерен как отношение потерь почвы пахотных земель в определенных условиях к соответствующей потере почвы на аналогичных пахотных землях в условиях залежи [REN 97]. Этот коэффициент изменяется в зависимости от интервала [0; 1].

Для учета растительности C-фактор упрощают до типа растительности над почвенным покровом [REN 97].

Существует несколько методов оценки С-фактора с использованием снимков дистанционного зондирования и расчета вегетационного индекса (NDVI, доля растительности) или путем оценки среднего растительного покрова в соответствии с картой почвенно-растительного покрова. Мы будем использовать последний. Он состоит из сопоставления оценочной стоимости растительного покрова для каждого класса землепользования.

Функция QGIS для создания нового атрибута на основе существующего:

Новое вычисление атрибутов: *Набор инструментов обработки* → *Вектор – Таблицы атрибутов* → *Калькулятор полей*.

9.2.3.3. Практики сохранения почв: Р-фактор

Коэффициент Р соответствует природоохранной практике и представляет собой воздействие конкретных методов культивирования, цель которых заключается в сокращении количеств и скорости стока для ограничения последствий эрозии.

Этот коэффициент определяется как отношение потерь почвы в соответствии с данной природоохранной практикой к почвенным потерям при посадке сельскохозяйственной культуры, с распашкой вдоль склона. Он находится в интервале [0; 1]. Обычно определяется по таблице соответствия (табл. 4) методам обработки почвы.

Таблица 4. Пример таблицы соответствия для коэффициента Р [STO 11]

Природоохранная практика	Р-фактор
Распашка вдоль склона	1,0
Распашка поперек склона	0,75
Контурное земледелие (несколько участков на склоне)	0,50
Узкоделяночное земледелие, поперек склона	0,37
Узкоделяночное земледелие, контурное	0,25

Оценки коэффициента Р зависят от уровня знаний и наличия достаточных баз данных о методах культивирования в интересующем районе. В естественных условиях коэффициент Р устанавливается равным 1 [Дум 10а, РАУ 12].

Функция QGIS для создания нового атрибута на основе существующего:

Новое вычисление атрибутов: *Набор инструментов обработки* → *Вектор – Таблицы атрибутов* → *Калькулятор полей*.

9.2.4. Пределы рассматриваемого метода

Использование уравнения RUSLE для моделирования эрозии должно учитывать некоторые ограничения, присущие методологии и каждому параметру:

— выбор уравнения RUSLE часто обусловлен наличием пространственных параметров, требуемых для выбранного региона;

— моделирование эрозии с использованием RUSLE обеспечивает оценку потерь почв $t\text{ га}^{-1}$. Если моделирование эрозии опирается на научно некалиброванные параметры или если результаты модели не подтверждены сравнением с измерениями полевых съемок, лучше использовать результаты в качестве относительной или качественной оценки риска эрозии (от низкого до высокого уровня эрозии) [25];

— доступ к определенным параметрам моделирования, таким как коэффициент P , может оказаться затруднительным;

— используемые параметры (карта почвы, топография, землепользование) часто имеются в различных масштабах и с различной точностью, что может привести к неточностям, связанным с наименее точными пространственными параметрами;

— уравнение [2] рассматривает каждый параметр с одинаковым весом, тогда как некоторые параметры могут оказывать большее влияние, чем другие в зависимости от местных условий.

Тем не менее моделирование RUSLE показывает хорошие результаты в предсказании расположения эрозионно опасных зон.

9.3. Программное обеспечение и данные

9.3.1. Программное обеспечение

Далее приводится пример оценки эрозии по данными дистанционного зондирования. Обработку растров и векторный анализ будем выполнять с помощью программного пакета OSGeo4W, который включает в себя QGIS версии 2.18 и SAGA GIS версии 2.3.1.1 (долгосрочный выпуск) [ЛАК 17].

9.3.2. Загрузка данных о климатических осадках в мире

Данные можно загрузить с официального сайта WorldClim2. Файл для загрузки представляет собой файл осадков (мм) с разрешением 30 секунд.

Имя файла:

https://bioge.ucdavis.edu/data/worldclim/v2.1/hist/wc2.1_2.5m_prec_2010-2018.zip.

Альтернативная ссылка с разархивированными файлами: <https://clck.ru/33ezye>.

В папке вам нужно скачать все файлы вида `wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif`. Размер: 3,1 Гб.

DEM можно загрузить по следующей ссылке: <https://clck.ru/33ezzf>. Имя файла: `full_fields_dem.tif`.

Разрешение файла составляет 3 см, такое разрешение является избыточным для наших задач, и вам надо будет самостоятельно понизить разрешение до 1 м. Размер: 1,94 Gb.

RGB-изображение полей высокого разрешения можно получить по следующей ссылке: <https://clck.ru/33f22J>. Размер: 2,09 Gb.

Загрузка файлов в QGIS осуществляется перетягиванием файлов на панель слоев.

9.3.3. Шаг 1. Расчет R-фактора

Сжатый файл WorldClim содержит 108 файлов GeoTIF с именами вида `wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif` с последним числом в имени файла от 1 до 12, означающим месяц для каждого года от 2010 до 2018. Эти растры в каждом пикселе содержат среднемесячное количество осадков для территории под пикселем.

Эти файлы охватывают весь мир, система координат — WGS84.

9.3.3.1. Расчет среднегодового количества осадков P

Среднегодовое количество осадков соответствует количеству осадков в мм, получаемых в среднем в каждой сетке модели. В этой реализации среднегодовое количество осадков оценивается путем суммирования среднемесячных осадков. Для расчета осадков в 2010 году откройте все растровые файлы для 2010 года: wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif, wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif... wc2.1_2.5m_prec_20118-12.tif.

Зайдите в раздел меню: Растр → Растровый калькулятор.

В растровом калькуляторе введите следующее выражение:

wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif@1 + wc2.1_2.5m_prec_2010-01.tif@2 + ... + wc2.1_2.5m_prec_2010-12.tif@1.

Сохраните результирующий файл как prec_2010.tif, повторите действие для годов 2010–2018. В калькуляторе растров посчитайте среднее годовое значение осадков за эти годы, результат сохраните в файл precipitation.tif.

Среднегодовое количество осадков рассчитывается по всему миру, а потому пространственные данные находятся в глобальной проекции WGS84, в то время как большинство остальных наборов данных имеют локальную UTM проекцию WGS84 UTM 37N (EPSG:32637). Размер файла может сильно ограничивать производительность вычислений.

Поэтому среднегодовое количество осадков должно быть перепроецировано и обрезано по площади, охватываемой другими наборами данных.

Откройте ранее созданный файл precipitation.tif. Откройте векторный файл mask_x.shp. Убедитесь, что функция перепроецирования QGIS на лету позволяет просматривать наложение слоев. В списке слоев найдите файл precipitation.tif, кликните правой кнопкой и выберите в меню «Экспорт» → «Сохранить как». В открывшемся меню выберите имя файла как precipitation_utm.tif и в разделе система координат выберите WGS 84 UTM 37N. Нажмите «ОК» и выполните перепроецирование. Далее обрежьте файл с осадками по обтравочной маске. В строке «Меню» выберите: «Растр» → «Извлечение» → «Обрезать растр по маске». В открывшемся окне выберите растровый файл precipitation_utm.tif и векторный mask_x.shp в поле маска. Выберите опцию «Создать альфа-канал». В качестве имени итогового файла в разделе «Кадрированный по маске» — precipitation_utm_cliped.tif. Нажмите на «ОК».

9.3.3.2. Расчет коэффициента агрессивности осадков R

Коэффициент агрессивности осадков R рассчитывается по формуле [3], то есть из растра среднегодового количества осадков, которое было уже перепроецировано и обрезано по маске. В растровом калькуляторе введите следующее выражение:

$1,73 * \text{«precipitation_utm_cliped.tif@1»} * 0,5.$

Сохраните результат как файл R_factor.tif.

9.3.4. Шаг 2. Расчет коэффициента LS

Расчет коэффициента LS выполняется с помощью программного обеспечения SAGA GIS, которое интегрировано с QGIS и поставляется совместно с ним. Чтобы оптимизировать обработку данных, вы можете обрезать ЦМР по маске заранее с помощью QGIS.

DEM обрезается с использованием той же процедуры, что и в разделе 8.3.3.2. Однако DEM не перепроецируется, поскольку он уже находится в нужной системе координат.

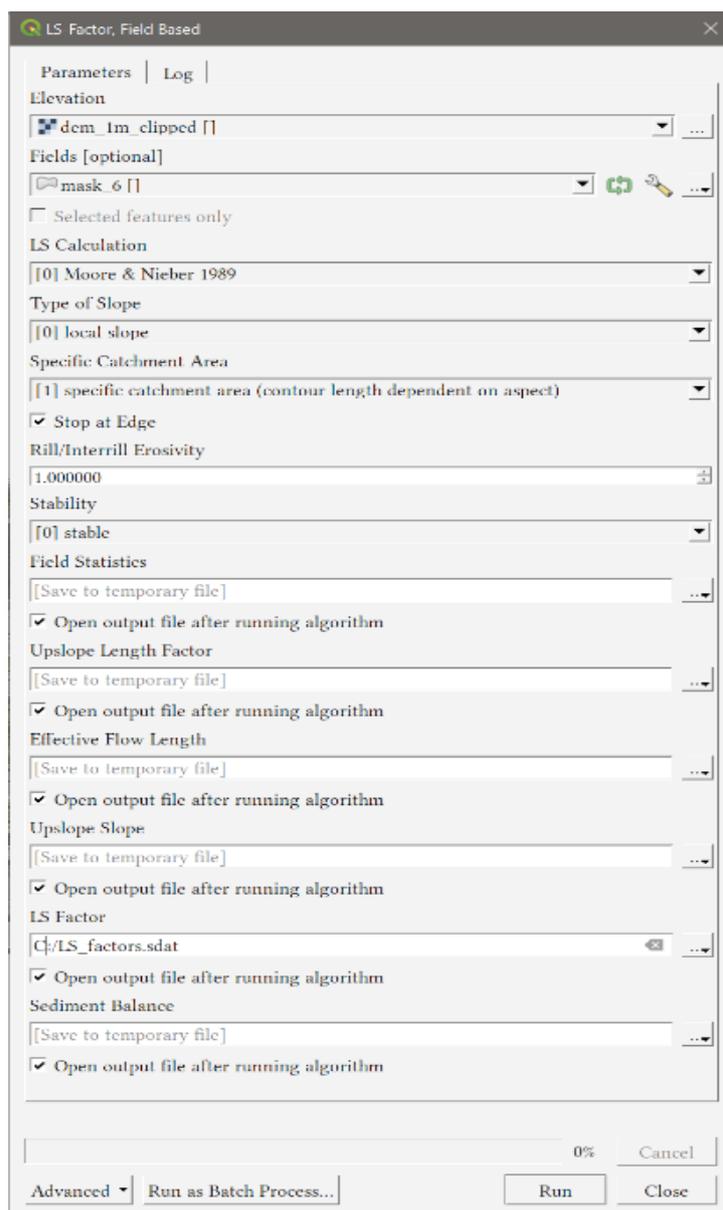


Рисунок 113. Расчет коэффициента LS алгоритмами SAGA в окне инструментов анализа QGIS

Напоминаем, что разрешение DEM слишком высокое и его надо пересохранить через функцию «Экспорт» с разрешением 1 м. Экспортируйте результат в файл dem_1m_clipped.tif.

В первую очередь вам нужно открыть панель инструментов для анализа данных («Анализ данных» → «Панель инструментов»). Справа появится новая панель инструментов, содержащая все доступные QGIS на данный момент инструменты анализа. Далее вам нужно в списке выберите **SAGA** → **Terrain-analysis, Hydrology** → **LS factor, Field Based** (рис. 113).

Основными входящими данными для алгоритма будет ЦМР в виде файла dem_1m_clipped.tif, который вы указываете в разделе Elevation. Напоминаем, для того чтобы файл был доступен различным алгоритмам, он должен быть открыт в виде слоя в проекте. В разделе LS calculation выберите вариант алгоритма по Moore & Nieber, 1989. Остальные поля можно оставить неизменными, кроме поля LS Factor, где вам предлагается ввести имя растрового файла, в котором будут сохранены значения фактора LS. Важно понимать, что алгоритм сгенерирует ряд промежуточных растровых файлов, которые нам не понадобятся, и все их можно убрать из проекта после завершения расчетов.

9.3.5. Шаг 3. Подготовка К-фактора

Для расчета К фактора мы воспользуемся сводной таблицей 5 пересчета предложенной [Stewart et al., 1975].

Таблица 5. Коэффициенты зависимости содержания гумуса от гранулометрического состава почвы

Грансостав	Содержание гумуса < 0,5%	Содержание гумуса 2% > x > 0,5%	Содержание гумуса > 4%
Песок	0,05	0,03	0,02
Мелкий песок	0,16	0,14	0,10
Пылеватый песок	0,42	0,36	0,28
Суглинистый песок	0,12	0,10	0,08
Суглинистый мелкий песок	0,24	0,20	0,16
Суглинистый пылеватый песок	0,44	0,38	0,30
Песчанистый суглинок	0,27	0,24	0,19
Мелкопесчанистый суглинок	0,35	0,30	0,24
Пылеватопесчанистый суглинок	0,47	0,41	0,33
Суглинок	0,38	0,34	0,29
Илистый суглинок	0,48	0,42	0,33
Тонкий суглинок	0,60	0,52	0,42
Песчанистый тяжелый суглинок	0,27	0,25	0,21
Тяжелый суглинок	0,28	0,25	0,21
Пылеватый тяжелый суглинок	0,37	0,32	0,26
Песчанистая глина	0,14	0,13	0,12
Илистая глина	0,25	0,23	0,19
Глина		0,13–0,2	

Все исследуемые территории имеют сходный гранулометрический состав подстилающих пород — песчано-крупнопылеватый суглинок. В представленной классификации ему соответствует песчанистый тяжелый суглинок.

Таким образом, для расчета коэффициента К нам не хватает только данных о содержании органического вещества почв. Опять же исходя из того, что все почвы на участке представлены дерново-подзолистыми и у нас есть ортофото с большими участками почвы без растительности в сухом состоянии, мы можем использовать подход, предложенный Валеевой и Александровой (2016). Он заключается в том, что содержание гумуса можно проводить по оценке количества красного цвета в 8-битном RGB-снимке, при условии, что значения лежат в диапазоне от 85 до 173.

$$H = 9,45 - R * 0,05,$$

где H — содержание гумуса в верхнем слое почвы (%), а R — сырое значение 8-битного красного канала в RGB-снимке при условии, что оно лежит в диапазон от 85 до 173.

Таким образом, мы можем получить растровое изображение, где для каждого пикселя будут содержаться данные о количестве гумуса в верхнем слое почвы. Для этого запустите калькулятор растров и выполните следующую команду, сохранив результат в виде файла humus.tif:

$(\text{“full_fields_rgbs@1”} \geq 85 \text{ AND “full_fields_rgbs@1”} \leq 173) * (9,45 - \text{“full_fields_rgbs@1”} * 0,05)$

Суть вышеописанной формулы заключается в том, что для диапазона значений красного канала, подходящих для расчетов, мы получим нужное значение, а для неподходящих мы получим значение 0.

Еще одной проблемой является то, что у нас на снимке много точек, которые нельзя отнести к поверхности земли, но содержание гумуса для них все равно будет рассчитано. Для обхождения этого ограничения мы создадим внутри маски векторный слой с 1000 случайных точек, для каждой точки извлечем значение гумуса из растрового слоя, после чего отбросим точки, в которых содержание гумуса меньше 1 или больше 7, а также те точки, которые находятся вне пределов распаханых полей. После чего с помощью регрессионного кригинга сгенерируем новый растровый файл, содержащий адекватные значения гумуса для всей изучаемой территории.

Для создания тысячи случайных точек воспользуемся функцией в меню Вектор → Случайные точки в границах слоя. В открывшемся меню выберите ваш векторный слой с маской и введите 1000 в поле «Число точек». Результат сохраним в виде файла sampling_points.shp.

Далее извлечем данные из растрового слоя humus в новый векторный слой sampling_points_humus.shp. Для этого в Панели инструментов анализа данных выберите «Анализ растров» → «Образцы значений растра». Выберите векторный слой **sampling_points**, растровый слой **humus**, а в поле «Префикс поля вывода» напишите humus. Результат сохраните в виде файла sampling_points_humus.shp.

Итак, мы получили векторный слой с 1000 точек, в которых содержатся расчетные значения гумуса. На следующем этапе мы должны убрать точки, находящиеся не на голой почве, и точки, содержащие неадекватно низкие или высокие значения. Начнем с последнего.

Зайдите в меню по правой кнопке мыши на имени слоя **sampling_points_humus** в списке слоев и выберите «Открыть таблицу атрибутов». В верхнем меню нажмите на карандаш, чтобы сделать слой редактируемым, нажмите пиктограмму воронки, чтобы перейти в режим редактирования, и выберите все точки, где значение humus меньше 1. После этого нажмите на красную пиктограмму корзины, это удалит некорректные точки. Аналогичным образом уберите точки со значением humus больше 7. Нажмите пиктограмму дискеты, чтобы сохранить результат.

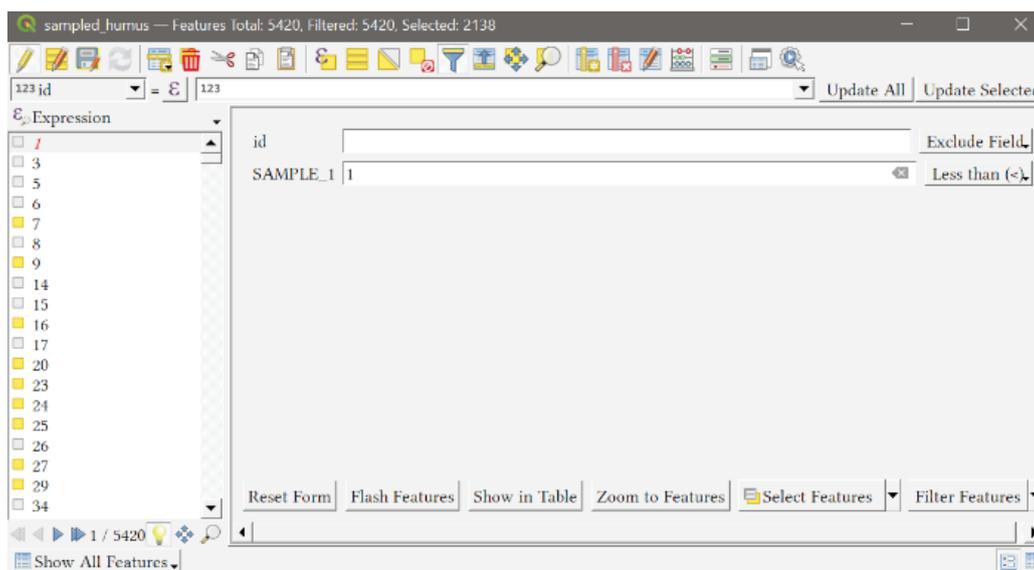


Рисунок 114. Удаление данных по гумусу меньше 1 в таблице атрибутов

Так как вы все еще в режиме редактирования, закрыв окно атрибутов, в основном окне вы можете продолжить редактирование точек, убирая все те, что не попали на оголенные участки земли. Для этого воспользуйтесь инструментом «Выбор точек» на главной панели. После выделения некорректных точек найдите на главном экране красную пиктограмму корзины и удалите ненужные точки. Сохраните результат, нажав на пиктограмму дискеты с карандашом (не просто дискеты). Еще раз нажмите на пиктограмму карандаша, чтобы выйти из режима редактирования. Результат должен примерно соответствовать изображению слева (рис. 115).



Рисунок 115. Результат редактирования точек

Теперь мы должны, исходя из оставшихся корректных точек, сгенерировать новый растровый слой с содержанием гумуса для всей изучаемой территории. Для этого воспользуемся функцией регрессионного кригинга. Для этого в Панели инструментов анализа выберите **SAGA → Spatial and Geostatistics — Kriging → Regression Kriging**.

В открывшемся окне в разделе Points выберите `sampling_points_humus`, в разделе Attribute — `humus`, в разделе Predictors выберите слой `dem_1m_clipped.tif` (рис. 116).

Далее важно отметить следующие параметры:

- Resampling: B-Spline Interpolation.
- Kriging Type: Ordinary Kriging.
- Number of points: maximum number of nearest points.
- Maximum: 200.
- Prediction: `predict_humus.sdat`.

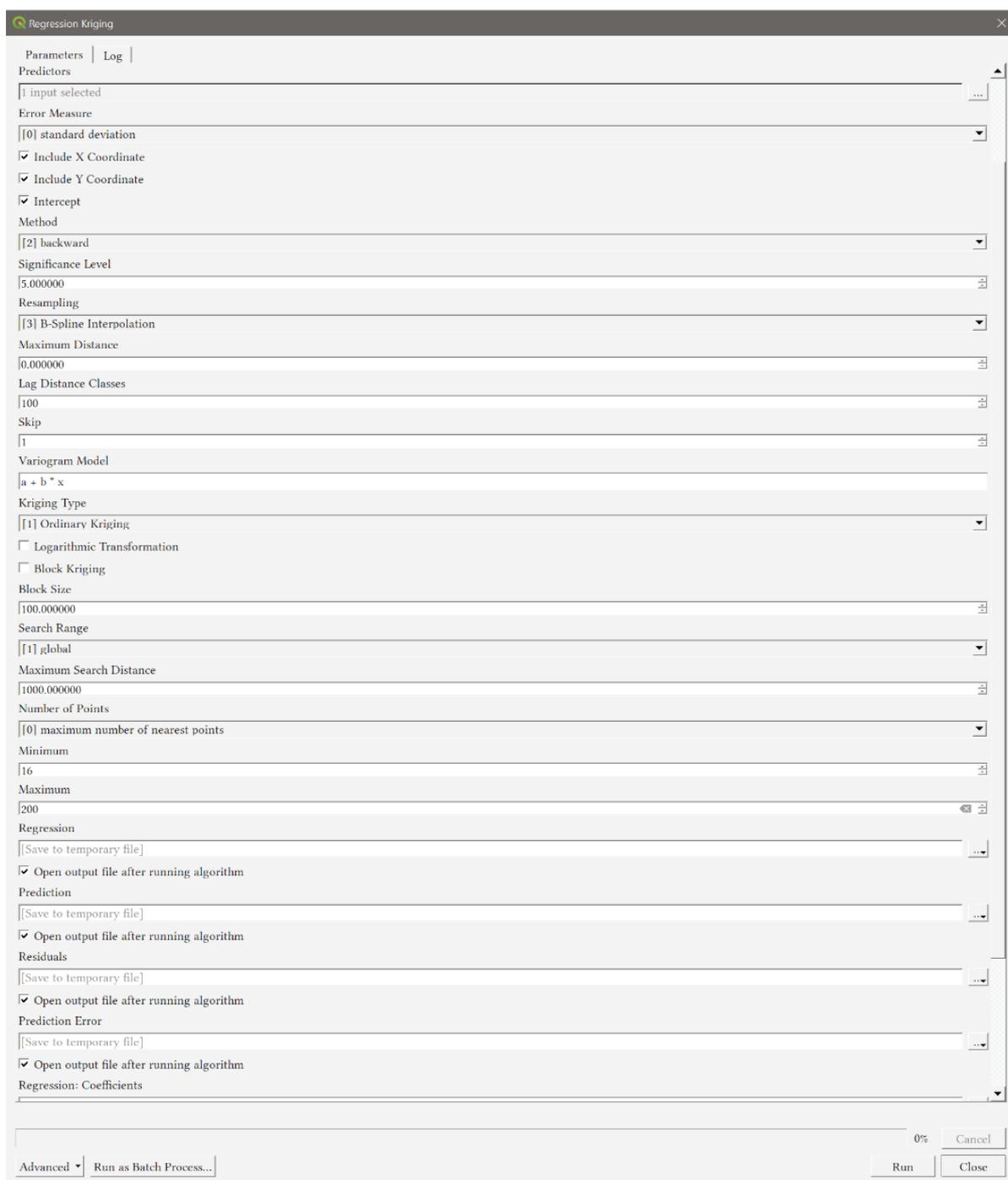


Рисунок 116. Настройка параметров кригинга

Убедившись, что все параметры выбраны верно, запустите расчеты. В зависимости от мощности вашего компьютера расчеты могут занять от нескольких минут до получаса.

Получившийся файл может содержать точки за пределами маски, вследствие чего его может иметь смысл обрезать по обтравочной маске еще раз. Результирующий файл назовите `predict_hum_cliped.tif`. Важно понимать, что если все точки расчетов будут уже внутри маски, процесс обрезки по маске выдаст ошибку.

Результат расчетов запасов гумуса в верхних слоях почвы методом кригинга представлен на рисунке 117.

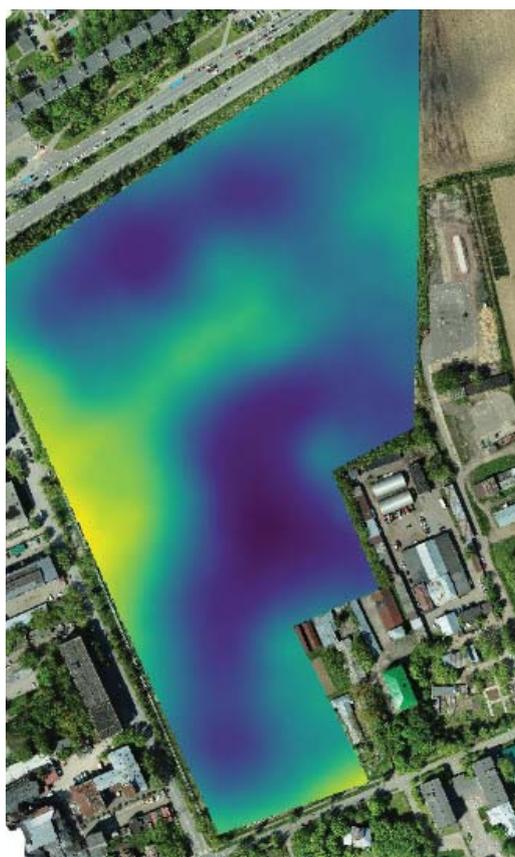


Рисунок 117. Результат выполнения кригинга

Зная содержание гумуса для всей территории, мы можем рассчитать значение К согласно таблице 5. Для этого в растровом калькуляторе создадим файл K_factor.tif по следующей формуле:

$$(\text{“predict_hum_cliped@1”} > 0,5 \text{ AND “predict_hum_cliped@1”} < 2) * 0,27 + (\text{“predict_hum_cliped@1”} > 2 \text{ AND “predict_hum_cliped@1”} < 4) * 0,24 + (\text{predict_hum_cliped@1} > 4) * 0,19.$$

9.3.6. Шаг 4. Создание С и Р-факторов

С-фактор мы будем оценивать с помощью таблиц сравнения, сопоставляя значения «С» с каждым классом землепользования. Предлагаемые значения предложены [Дум 10b] и представлены в таблице 6.

Таблица 6. Значения С-фактора в зависимости от типа почвенно-растительного покрова [Дум 10b]

Тип почвенно-растительного покрова	С-фактор
Лесная и близлежащая лесная растительность, густые мангровые заросли	0,001
Саванна, плотная травянистая растительность	0,04
Кустарники без плотной травы	0,25
Болото	0,28
Кустарниковая и открытая растительность	0,72
Распаханные почвы	1
Вода	1

Для расчета, а точнее разметки С-фактора вам надо создать новый векторный слой CP_factor.shp — Меню: «Слой» → «Создать слой» → «Создать слой shapefile». Данный слой будет общим для двух факторов, так как фактор Р задается согласно таблице только для территорий под распахкой, для остальных он берется равным 0,25.

В открывшемся окне задайте корректное имя файла, в качестве геометрии выберите «Полигон» и задайте проекцию WGS 84 UTM 37N.

После чего сделайте файл редактируемым и начните рисовать полигоны, соответствующие различным типам растительности согласно предыдущей таблице. При завершении каждого полигона вам предложат задать его id, используйте его порядковый номер. После отрисовки всех полигонов сохраните файл и откройте таблицу атрибутов файла. Создайте два новых атрибута — C_factor и P_factor. Для этого в окне таблицы атрибутов нажмите на пиктограмму с таблицей и желтой полоской. В открывшемся окне введите имя поля и выберите **Type: Decimal Number(real)**. После чего заполните таблицу, исходя из выделенного типа растительности для фактора С и типа землепользования для фактора Р (рис. 118).



Рисунок 118. Отрисовка полигонов и присвоение значений C_factor и P_factor

На последнем этапе необходимо преобразовать векторный слой CP_factor.shp в два независимых растровых файла. Для этого воспользуемся алгоритмом SAGA → Rater — rasterizing → Polygons to Vector. Выберите исходный атрибут, который хотите преобразовать в растр, и задайте размер ячейки, равный 1 м. Повторите операцию дважды для создания двух отдельных растровых файлов (рис. 119).

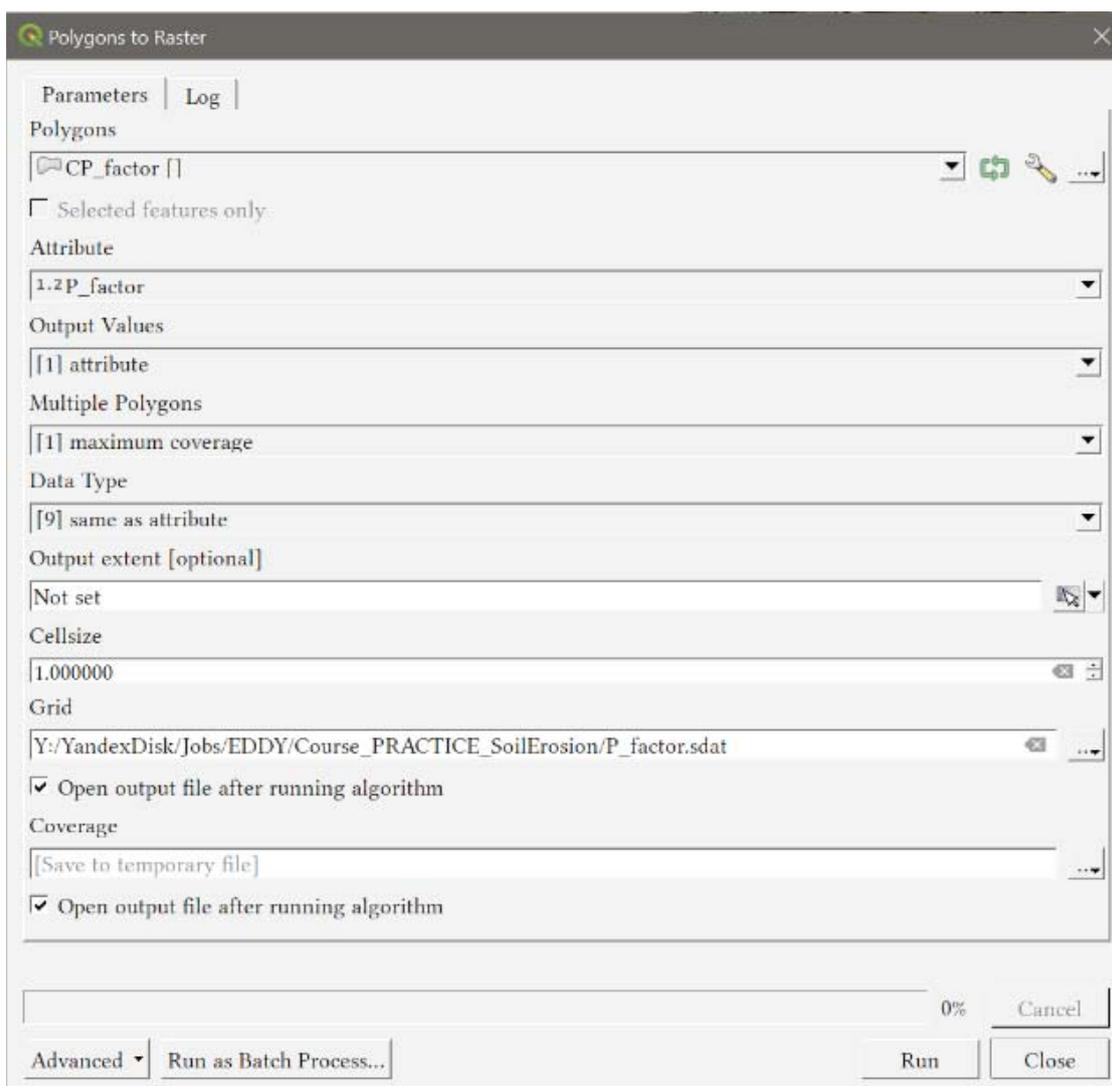


Рисунок 119. Преобразование векторного слоя в растровый

9.3.7. Шаг 5. Потеря почвы. Расчет из уравнения RUSLE

Расчет почвенных потерь A по формуле [2] соответствует умножению каждого ранее подготовленного множителя (R , LS , K , C и P). Откройте ранее созданные файлы: $P_factor.tif$, $C_factor.tif$, $LS_factor.tif$, $R_factor.tif$, $K_factor.tif$

Важно! В результате работы алгоритмов SAGA создаваемые файлы имеют формат *sdat*. Данный формат поддерживается QGIS, но не может быть использован в растровом калькуляторе, а потому подобные файлы перед дальнейшим использованием необходимо конвертировать в формат TIF, через меню «Экспорт».

Предложенная нам формула метода RUSLE рассчитывает потери почвы в $t\ ga^{-1}$, но размер пикселя в наших файлах равен одному квадратному метру, поэтому логично было бы перейти от $t\ ga^{-1}$ к $kg\ m^{-2}\ год^{-1}$, для этого в итоговую формулу добавим поправочный коэффициент 0,1:

$$"P_factor@1" * "C_factor@1" * "LS_factor@1" * "R_factor@1" * "K_factor@1" * 0,1$$

Итог представьте в виде карты (рис. 120).

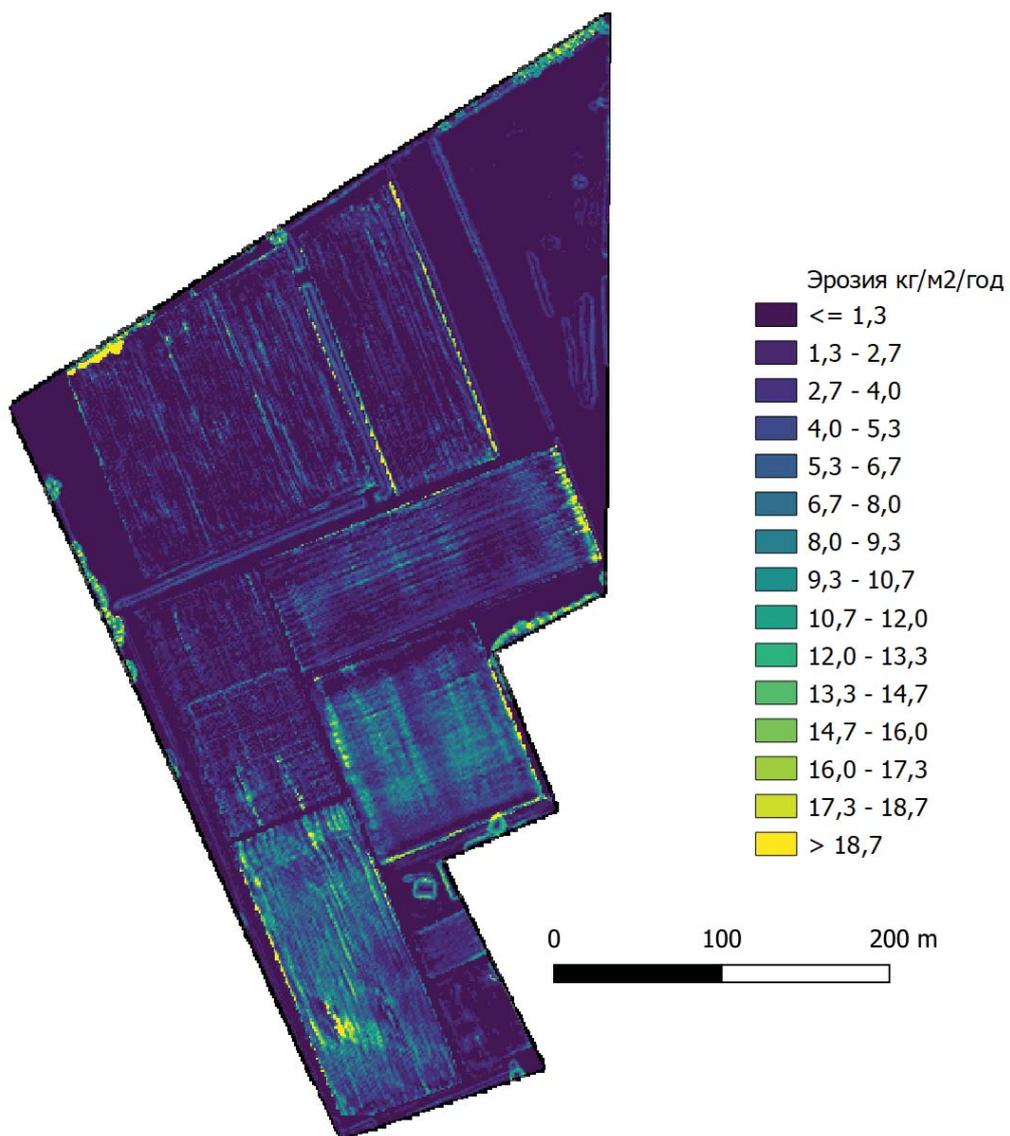


Рисунок 120. Итоговая карта потерь почвы из уравнения RUSLE

ЗАНЯТИЕ 10. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СВОЙСТВ МЕТОДОМ ОБРАТНЫХ РАССТОЯНИЙ И ОРДИНАРНЫМ КРИГИНГОМ В СРЕДЕ R

10.1. Описание данных и их подготовка

Данные представляют собой результаты обследования одного из сельскохозяйственных полей (рис. 121), расположенных на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ имени М.В. Ломоносова (Солнечногорский район Московской области). Территория находится примерно в 42 км по Ленинградскому шоссе. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами разной степени окультуренности.



Рисунок 121. Часть территории УОПЭЦ Чашниково.
Красным прямоугольником отмечено место отбора проб

Задача состояла в том, чтобы построить картограммы распределения гумуса в пределах сельскохозяйственного угодья *методом обратных расстояний* и *методом ординарного кригинга*.

Таблица 7. Данные, использованные в практикуме: координаты и содержание гумуса [%]

X	Y	Hum									
176	7	1,32	108	17	1,47	168	24	1,04	111	187	1,1
31	64	1,32	173	149	1,7	61	187	1,32	103	154	0,89
6	87	1,05	196	122	1,38	33	64	1,3	125	7	1,26
99	154	1	113	159	1,15	176	142	1,52	149	79	1,1
133	162	1,28	196	77	1,5	84	129	1,28	176	37	1,87
129	14	1,4	94	74	2	40	92	1,24	189	44	1,38
10	52	1,24	96	57	1,52	69	29	1	128	8	1,15
104	59	1,3	144	169	1,4	18	122	1,02	114	49	1,35
35	67	1,18	181	62	1,55	49	24	1,13	171	82	1,5
154	134	1,16	36	92	1,16	91	157	0,95	133	159	1
194	104	1,4	29	144	0,89	108	14	1,22	36	7	1,3
8	52	1,2	181	59	1,32	146	27	1,28	38	42	1,28
166	24	2,22	110	17	1,41	49	5	1,04	4	144	1,1
16	107	1	74	154	1,02	135	162	1,4	24	184	1
151	42	1,26	176	192	1,92	109	159	1,16	166	52	1,16
69	199	1,05	31	189	0,92	156	157	1,26	113	162	1,13
71	112	0,95	141	57	1,1	134	79	1,41	24	159	0,95
114	34	1,02	151	192	1,63	175	152	1,41	103	157	0,97
185	62	1,55	56	57	1,72	124	164	1,15	73	109	0,92
49	164	1,32	33	189	0,81	6	52	1,3	41	132	1,35
38	92	1,18	26	82	1,55	176	189	2,01	79	4	1,13
8	45	1,35	34	74	1,3	35	192	0,88	1	37	1,1
46	107	1,16	186	172	1,6	38	89	1,2	169	114	1,41
74	114	1,32	94	99	0,89	76	17	1,38	31	52	1,18
115	162	1,05	121	7	1,18	69	134	1,1	69	44	1,02
18	119	1,04	109	169	1,07	105	157	1,05	56	142	1,38
26	27	1,05	131	182	1,18	166	122	1,05	106	132	1,26
124	149	1,3	16	122	1,02	29	64	1,47	196	7	1,28
166	27	2	121	4	1,35	16	137	0,97	84	194	1,07
79	59	1,48	171	197	1,7	44	84	1,38	141	142	1,48
149	9	1,3	189	94	1,3	71	172	1	69	99	0,88
146	117	1,3	36	42	1,02	89	89	0,97	131	162	1,15
89	169	1,02	164	64	0,77	31	192	0,95	99	99	0,88
91	42	1,1	136	107	1,8	104	144	1,1	20	122	1,02
171	149	1,63	8	50	1,18	124	24	1,22	169	149	1,52
16	192	0,67	106	17	1,24	75	112	0,92	201	42	1,32
38	39	1,16	109	4	1,47	49	74	1,6	9	74	1,05
180	192	1,98	196	202	1,83	21	177	0,97	151	67	1,1
29	119	1,7	4	2	0,81	123	4	1,24	71	109	1
16	57	1,1	178	189	1,91	124	69	1,5			

Летом 2022 года в 163 точках на поле были отобраны образцы из пахотного горизонта на содержание гумуса. Координаты точек были определены с помощью приемника GPS. Перед началом работы с пакетами R все данные необходимо перевести в единую систему координат.

Система координат должна быть прямоугольной, и координаты точек должны быть выражены **в метрах**, например, в проекции UTM 37N WGS1984. В качестве упрощения в практикуме данные представлены в относительных координатах. За начало координат условно был принят левый нижний угол участка, если смотреть на Ленинградское шоссе (табл.7).

Данные, необходимые для выполнения поставленной задачи, хранятся в файле Humus_points.csv. Они были набраны в Excel и сохранены как csv файл (рис. 122).

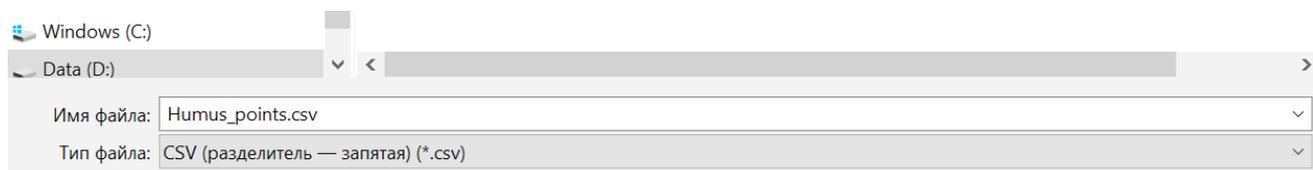


Рисунок 113. Сохранение данных в файле csv

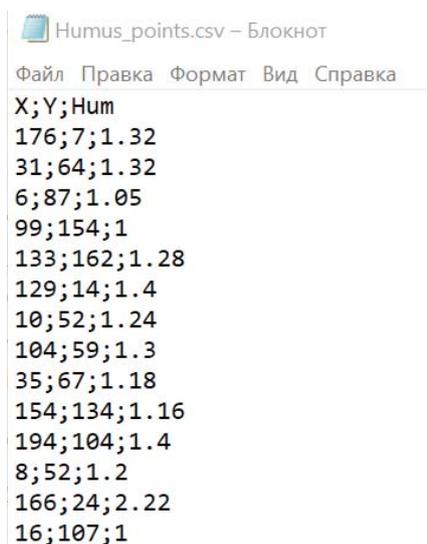


Рисунок 122. Вид в блокноте сохраненного файла csv

В файле первая строка — заголовки столбцов, три колонки: координата X, координата Y и содержание гумуса. Десятичным разделителем в данном случае является точка, а разделителем колонок — точка с запятой. Файл нужно положить в директорию, имеющую не очень сложный путь, который не содержит кириллицы. Например, в директорию DSM на диске D:

10.2. Базовые операции при работе в среде R

Для всех вычислений мы будем использовать программную среду R (<http://www.R-project.org>) и удобную оболочку для него Posit™ (<http://rstudio.org>). R — это язык программирования для анализа данных, и в то же время это свободная программная среда с открытым исходным кодом, развиваемая в рамках проекта GNU. Для геостатистического анализа пакеты **gstat** и **geoR** представляют уже классический уровень развития науки и используются в профессиональных приложениях.

Здесь и далее синим цветом будут выделены команды, а обычным шрифтом — комментарии к ним. Копируйте команды и запускайте их. Кавычки и запятые могут отличаться в разных кодировках. Если выдает ошибку — набейте еще раз кавычки и запятые с помощью клавиатуры.

Укажите рабочую директорию. В данном случае как рабочая указана корневая директория DSM на диске D:. По умолчанию рабочей будет та директория, откуда загружен скрипт программы.

```
##Начало — указываем рабочую директорию  
setwd («D:/DSM»)
```

Также директорию можно выбрать через меню, выбрав Session → Set working directory → Choose directory. Проверьте, что директория установилась правильно с помощью команды.

```
getwd()
```

Полностью очистить память от предыдущих занятий можно с помощью команды **rm**.

```
#очистим полностью память  
rm(list = ls())
```

Преимущество R — наличие для него многочисленных расширений или пакетов. Несколько пакетов присутствуют сразу после установки R на компьютер — это так называемые базовые пакеты, без которых система не работает, а также некоторые рекомендованные пакеты. Кроме того, можно поставить любой из почти полутора тысяч доступных на CRAN пакетов. (CRAN или Comprehensive R Archive Network (<http://cran.r-project.org/>) — это централизованная система хранения и распространения пакетов). При наличии доступа в интернет это можно сделать прямо из R командой `install.packages()` или переходом на вкладку Packages правого нижнего окна и далее следовать команде Install Packages. Появится специальное окно, где нужно указать начальные буквы пакета программ. Если доступа в интернет нет, но пакеты были скачены заранее, то их можно установить, указав в явном виде путь.

Подключаем необходимые пакеты. Перед первым запуском скрипта их необходимо установить один раз.

```
## подключаем необходимые пакеты
```

```
library(sp)  
library(gstat)  
library(MASS)  
library(raster)  
library(sf)  
library(terra)
```

В переменную **humus** загружаем данные из файла **Humus_points.csv**, первая строка в этом файле — заголовок, где указаны названия переменных.

```
## считываем данные из файла с расширением csv,
```

```
humus <- read.csv("Humus_points.csv", header = TRUE, sep = ";", dec = ".")
```

Команда **read.csv** считывает из файла таблицу (синоним «фрейм») целиком, состоящую из строк и столбцов. Параметры обычно указываются в скобках, если они принимают значения, отличные от принятых по умолчанию. Один из таких параметров — **header** — «заголовок». По умолчанию принимает значение «ЛОЖЬ» (FALSE), то есть по умолчанию данные считываются без заголовка. С помощью параметра **sep** задается разделитель колонок (они для компьютеров, где есть русский язык, всегда точка с запятой), а параметра **dec** — разделитель десятичного знака, например, для примера было указано `sep = «;», dec = «.»`.

Посмотрим, что загрузилось. Для этого посмотрим размерность таблицы и краткую статистику переменных.

```
## смотрим, размерность таблицы  
dim(humus)
```

```
[1] 159 3
> summary(humus)
```

X	Y	Hum
Min. : 1.00	Min. : 2.00	Min. : 0.670
1st Qu. : 38.00	1st Qu. : 49.50	1st Qu. : 1.050
Median : 103.00	Median : 99.00	Median : 1.220
Mean : 96.49	Mean : 98.87	Mean : 1.253
3rd Qu. : 146.00	3rd Qu. : 154.00	3rd Qu. : 1.390
Max. : 201.00	Max. : 202.00	Max. : 2.220

Можно отдельно вывести имена переменных, содержащихся в таблице. Выведем переменную, где отображено содержание гумуса.

```
## Узнаем имена переменных
```

```
names(humus)
```

```
[1] «X» «Y» «Hum»
```

Имена переменных указываются с помощью знака \$. Например, запись `humus$Hum` означает, что в обращение идет к переменной `Hum` из таблицы `humus`. Команда `names(humus)` показывает имена переменных из таблицы `humus`. Обратите внимание, что в названиях переменных важны различия заглавных и прописных букв.

```
## Выведем только одну переменную
```

```
humus$Hum
```

```
[1] 1.32 1.32 1.05 1.00 1.28 1.40 1.24 1.30 1.18 1.16 1.40 1.20 2.22 1.00 1.26 1.05
[17] 0.95 1.02 1.55 1.32 1.18 1.35 1.16 1.32 1.05 1.04 1.05 1.30 2.00 1.48 1.30 1.30
[33] 1.02 1.10 1.63 0.67 1.16 1.98 1.70 1.10 0.89 1.26 1.10 1.87 1.38 1.15 1.35 1.50
[49] 1.00 1.30 1.28 1.10 1.47 1.70 1.38 1.15 1.50 2.00 1.52 1.40 1.55 1.16 0.89 1.32
[65] 1.41 1.02 1.92 0.92 1.10 1.63 1.72 0.81 1.55 1.30 1.60 0.89 1.18 1.07 1.18 1.02
[81] 1.35 1.70 1.30 1.02 0.77 1.80 1.18 1.24 1.47 1.83 0.81 1.00 1.16 1.13 0.95 0.97
[97] 0.92 1.35 1.13 1.10 1.41 1.18 1.02 1.38 1.04 1.32 1.30 1.52 1.28 1.24 1.00 1.02
[113] 1.13 0.95 1.22 1.28 1.04 1.40 1.16 1.26 1.41 1.41 1.15 1.30 2.01 0.88 1.20 1.38
[129] 1.10 1.05 1.05 1.47 0.97 1.38 1.00 0.97 0.95 1.10 1.22 0.92 1.60 0.97 1.24 1.26
[145] 1.28 1.07 1.48 0.88 1.15 0.88 1.02 1.52 1.32 1.05 1.10 1.00 1.50 1.10 1.91
```

Для переменных можно посчитать параметры и статистические характеристики. Например, можно вычислить среднее арифметическое с помощью команды `mean` (*переменная*) или стандартное отклонение с помощью команды `sd` (*переменная*). Обратите внимание, что в названиях переменных важны различия заглавных и прописных букв.

```
mhum = mean(humus$Hum); mhum
```

```
[1] 1.253019
```

```
shum=sd(humus$Hum); shum
```

```
[1] 0.2782831
```

Построение гистограммы осуществляется с помощью функции `hist` (*переменная*). С помощью параметров можно существенно изменить рисунок гистограммы. Например, можно добавить нужный заголовок с помощью параметра `main = «текст»`. С помощью параметров `col = «цвет»` и `border = «цвет»` можно менять, соответственно, цвет заливки гистограммы и цвет границы столбиков. Цвет может быть любым из палитры стандартных цветов: `red`, `orange`, `yellow`, `green`, `blue`, `purple`, `black` и др.

```
# Построим гистограммы для свойства «содержание гумуса»
```

```
hist(humus$Hum, main = "Содержание гумуса (в %)", col = "light blue", border = "blue",
prob=TRUE)
```

```
curve(dnorm(x, mean = mhum, sd = shum), col = "red", add = TRUE)
```

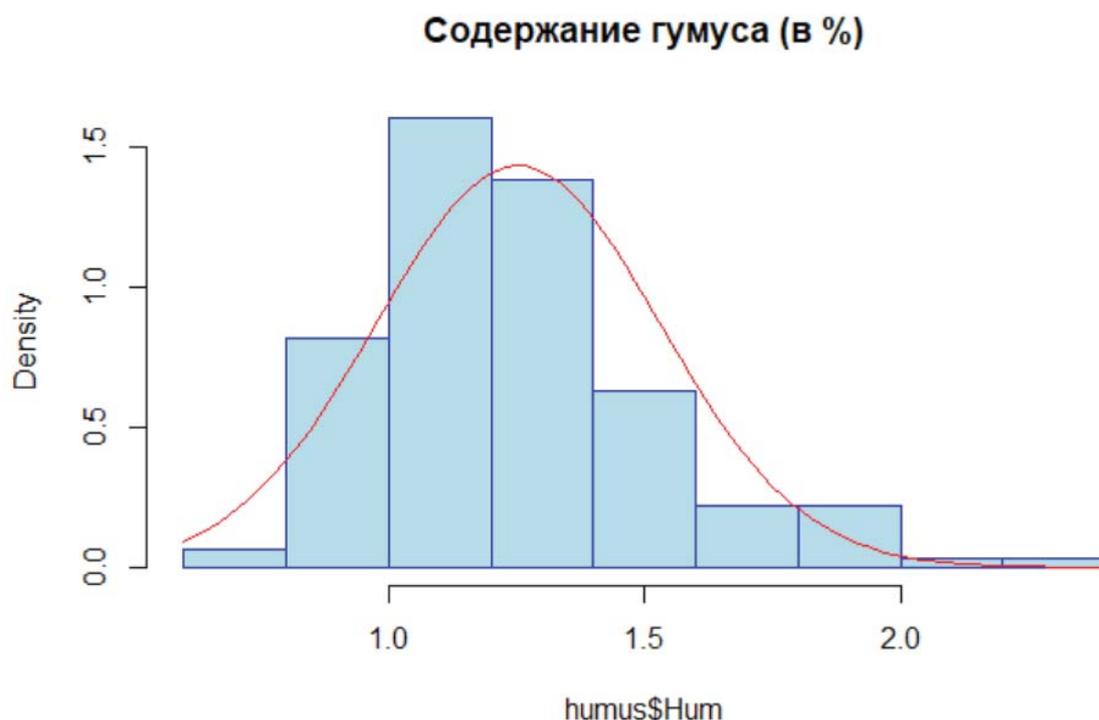


Рисунок 123. Гистограмма содержания гумуса (в %) на участке

Нарисована гистограмма, где по оси Y будет отложена плотность вероятности (а не частота), для чего присвоим параметру **prob** значение TRUE. Параметр **add** позволяет нарисовать кривую нормального распределения на гистограмме. Функция **dnorm** рисует кривую нормального распределения по оси X со средним **mean** и стандартным отклонением **sd**. В данном случае значения параметров мы взяли посчитанные ранее для переменной Hum.

Видно (рис. 123), что распределение гумуса на участке является практически симметричным. Если симметрии не наблюдается, то обычно используют логарифмическое преобразование или извлекают корень квадратный из данных, чтобы сделать распределение симметричным. В данном конкретном случае такого преобразования не требуется.

Стрелочками «влево» и «вправо» во вкладке **Plots** в правом нижнем окне можно перелистывать построенные рисунки. Воспользовавшись кнопкой **Zoom**, можно посмотреть рисунок в отдельном окне. С помощью кнопки **Export** можно сохранить рисунок на диске в удобном формате или скопировать его в буфер обмена. Также, воспользовавшись кнопкой **Export**, можно сохранить рисунок на диске, а затем скопировать его в Excel или в Word.

10.3. Основные операции при работе с пространственными данными

Преобразование фрейма (таблицы) в пространственные данные

Пакет **sp** предоставляет возможности для отображения пространственных объектов. С помощью команды **coordinates** (*переменная*) $\leftarrow \sim X + Y$ (*указываются координаты*) можно преобразовать таблицу (фрейм) в пространственные данные, преобразовав колонки *x* и *y* в координаты. После применения команды **coordinates** тип объекта изменится. Проверим, что **humus** — это таблица (фрейм данных). Для этого воспользуемся командой **class(переменная)**.

```
class(humus)
```

```
[1] «data.frame»
```

Затем воспользуйтесь командой **plot** (*переменная*).

```
plot(humus)
```

Получился график, называемый «матрица диаграмм рассеивания» (рис. 124). На этом графике представлены отдельные диаграммы рассеивания (X–Y графики) для каждой двух переменных, расположенные в виде матрицы.

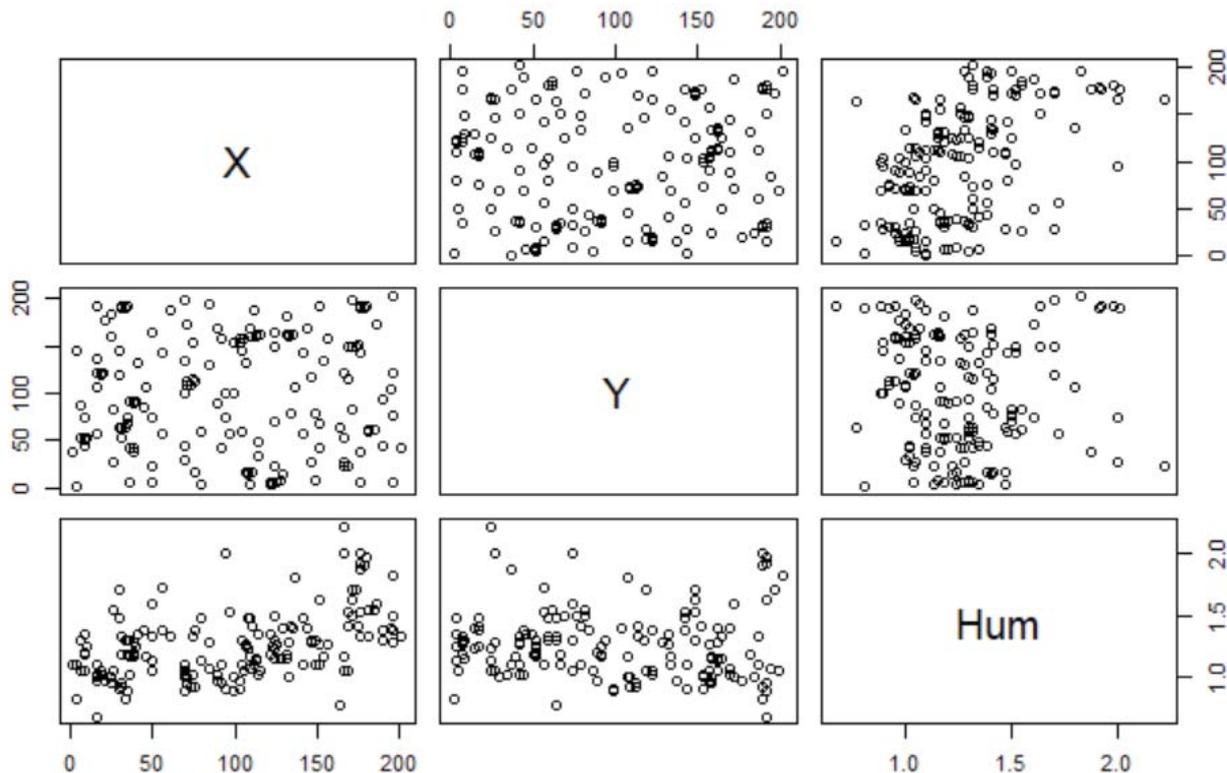


Рисунок 124. Матрица диаграмм рассеивания

Меняем класс объекта — таблицы (фрейма), превращаем данные в пространственные.

```
##приписываем первым двум столбцам, что это координаты
```

```
coordinates(humus) <- ~X+Y
```

Посмотрим теперь как определится тип данных. Результат команды **class** означает, что тип объекта — это «пространственный точечный фрейм с данными». Характерный для пакета **sp**.

```
class(humus)
```

```
[1] "SpatialPointsDataFrame"
```

```
attr(,"package")
```

```
[1] "sp"
```

```
plot(humus)
```

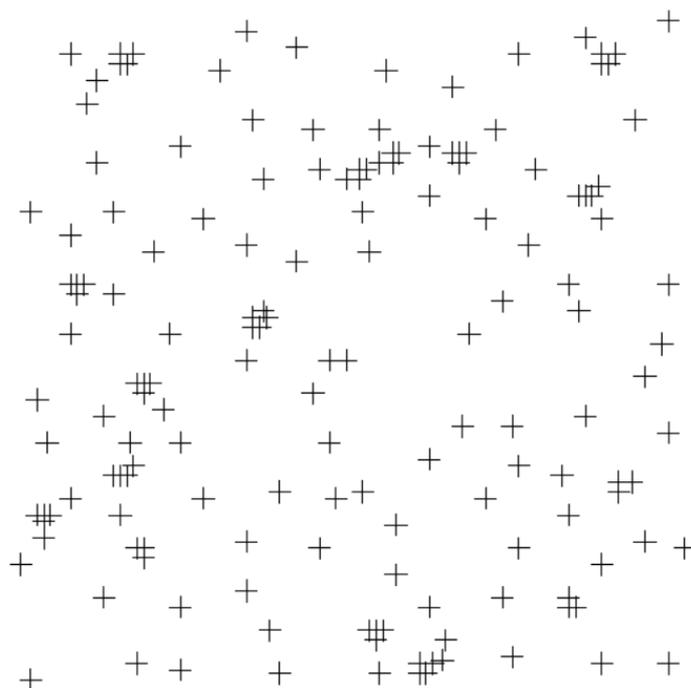


Рисунок 125. Визуализация пространственного точечного объекта

При запуске программы **plot** отобразится схема пробоотбора, использованная в данном пространственном объекте (рис. 125).

С помощью команды **summary** убедимся, что у данного пространственного объекта не задана проекция (**proj4string** : [NA]), так как мы его просто считывали из текстового файла.

```
summary(humus)
Object of class SpatialPointsDataFrame
Coordinates:
  min max
X  1 201
Y  2 202
Is projected: NA
proj4string : [NA]
Number of points: 159 ..и т.д.
```

Если бы координаты были абсолютными, то можно было бы задать проекцию для переменной *humus*, например, в проекции UTM 37N WGS1984: `proj4string(humus) = "+ proj = utm + zone = 37 + datum = WGS84 + units = m + no_defs + ellps = WGS84 + towgs84 = 0,0,0"`

Построение пространственных объектов (карт)

С помощью команды **spplot** (*пространственная переменная*), состоящей из слов **spatial** + **plot**, можно отобразить разнообразные пространственные объекты. Отобразим пространственную переменную **humus** с помощью команды **spplot (humus)**. Если в таблице помимо координат есть несколько переменных, то с помощью параметра **zcol** нужно указать, какую переменную отображать. В данном случае это необязательно.

```
spplot(humus, zcol = «Hum»)
```

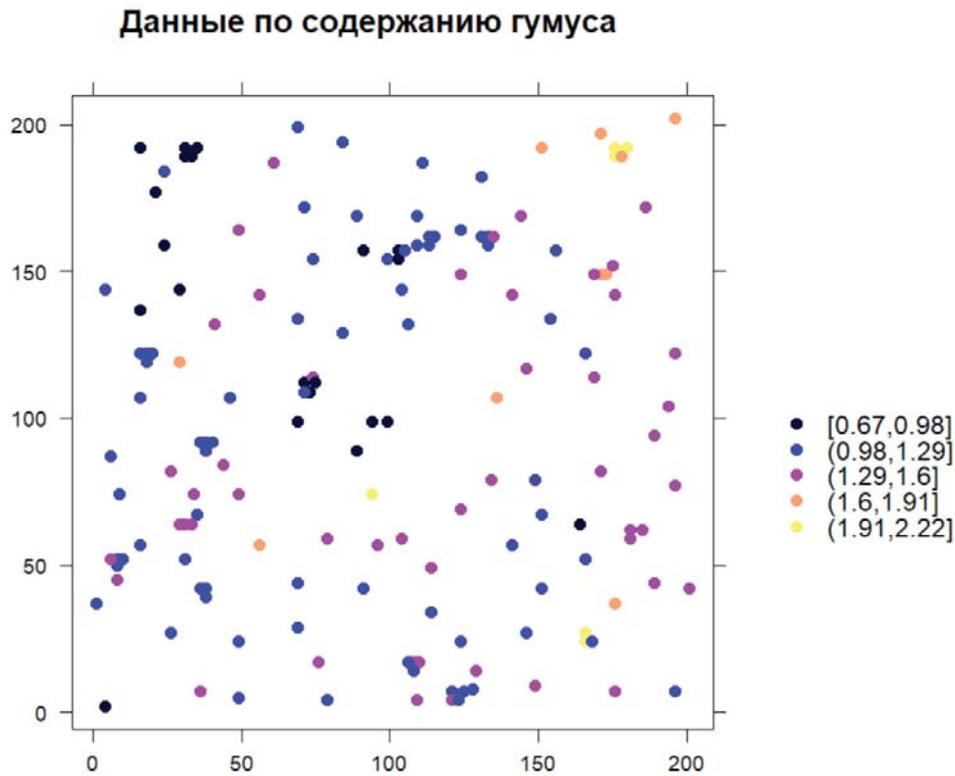


Рисунок 126. Исследуемый участок с точками пробоотбора, значения которых разделены на пять групп, показанных разными цветами

На график (рис. 126) можно добавить заголовок с помощью параметра **main**. Можно подобрать нужный размер точек с помощью параметра **cex**. Можно указать границы изменений по осям с помощью параметров **xlim** и **ylim**. Параметр **scales = list (draw = TRUE)** содержит команду отображения подписи делений осей. Для расположения легенды по отношению к рисунку оптимальным способом используется параметр **key.space**. Зададим теперь все перечисленные параметры для команды **spplot**. Обратите внимание, что текст команды можно переносить на другую строку. Команда будет завершенной, когда число левых и правых скобок совпадет.

```
#нарисуем участок с параметрами  
spplot(humus, zcol = «Hum», cex = 0,9, main = «Данные по содержанию гумуса», key.space  
= list (x = 1,40, y = 0,30, corner = c(1,0)),  
scales = list (draw = TRUE))
```

В результате выполнения команды получится график, показанный на рисунок 126.

10.4. Интерполяция точечных данных методом обратных расстояний

Создание файла-маски

Файл-маска предназначен для того, чтобы очерчивать территорию исследования или какой-либо другой объект. Наличие этого файла позволяет проводить интерполяцию для объектов со сложной конфигурацией. Значения будут предсказаны только в точках, которые помечены единицами в маске.

Например, файл-маска — это может быть ASCII файл, в котором закодирован растр, там указаны: количество строк и столбцов, координаты первой ячейки; число, которым обозначают

отсутствие данных (-9999), и сама матрица, где единицами отмечены значимые пиксели (объект), а значениями -9999, не относящиеся к объекту.

Создать простейший растр прямоугольной формы по координатам его краев можно с помощью команды **raster** из одноименного пакета. Для создания такой маски находим минимальные и максимальные координаты X и Y, меньшие, чем координаты точек. В данной работе Xmin = 0, Xmax = 202, Ymin = 1, Ymax = 203. Сделаем сетку через 2 м, тогда на участок 200 на 200 м необходимы будут 101 строка и 101 столбец.

```
# Создаем растр по координатам его краев и числу колонок/строк,
# заполненный единицами
mask_1 = raster(nrows = 101, ncols = 101, xmin = 0, xmax = 202,
               ymin = 1, ymax = 203, vals = 1)
plot(mask_1) # проверяем, что получилось
# переводим растр в формат маски
mask <- as(mask_1, 'SpatialGridDataFrame')
plot(mask) # проверяем, что получилось
summary(mask)
```

Интерполяция с помощью метода обратных расстояний

Метод обратных расстояний, или метод обратных *взвешенных* расстояний (*IDW* — Inverse Distance Weighting), предполагает, что объекты, которые находятся поблизости, более похожи, чем объекты, удаленные друг от друга; при этом каждая точка пробоотбора оказывает «локальное влияние», которое уменьшается с увеличением расстояния. При расчете значения в точке, где не было пробоотбора, используются точки, значения показателя в которых известны, при этом вес точек стремительно уменьшается как функция от расстояния. Поэтому метод носит название обратных взвешенных расстояний. Интерполяция методом обратных расстояний осуществляется с помощью функции **krige** из библиотеки **gstat**. В результате интерполяции создается так называемый грид-файл, где значения предсказываются в узлах регулярной сетки. В качестве параметров функции **krige** указывается зависимая переменная с помощью параметра **formula**, задаются координаты и исходные данные с помощью параметра **locations** и подгружается маска, где указаны границы участка, с помощью параметра **newdata**.

Запускаем команду **krige**, позволяющую провести интерполяцию методом обратных расстояний. Значения будут предсказаны только в точках, которые помечены единицами в маске.

```
#в переменную humus.idw записываем результаты интерполяции
# IDW (метод обратных расстояний), когда не указана модель вариограммы
humus.idw = krige(formula = Hum ~1, locations = humus, newdata = mask)
[inverse distance weighted interpolation]
```

После выполнения команды появилось сообщение, что интерполяция была произведена методом обратных расстояний.

Посмотрим, что собой представляет переменная **humus.idw**. Для этого посмотрим, сколько переменных там содержится и какие они.

```
names(humus.idw)
[1] "var1.pred" "var1.var"
summary(humus.idw)
Object of class SpatialGridDataFrame
Coordinates:
  min max
s1  0 202
s2  1 203
Is projected: NA
proj4string : [NA]
```

```

Grid attributes:
  cellcentre.offset cellsize cells.dim
s1          1      2     101
s2          2      2     101
Data attributes:
  var1.pred    var1.var
Min. :0.6824  Min. : NA
1st Qu.:1.1461 1st Qu.: NA
Median :1.2426 Median : NA
Mean  :1.2553 Mean  :NaN
3rd Qu.:1.3429 3rd Qu.: NA
Max.  :2.0727 Max.  : NA
      NA's :10201

```

В фрейме **humus.idw** содержатся две пространственные переменные: **var1.pred** и **var1.var**. В переменной **var1.pred** (= prediction) содержатся предсказанные значения зависимой переменной (отклика), в данном случае содержание гумуса. В переменной **var1.var** (= variance) должна быть указана дисперсия (квадрат ошибки) предсказания. Так как метод обратных расстояний не позволяет получить такую информацию, то в переменной **var1.var** указано, что значения отсутствуют. В среде R для пропущенных значений используется знак **NA**. Обратите внимание, что значения **NA** указываются в последней колонке таблицы результатов **summary**. В фрейме **humus.idw** в переменной **var1.pred** тоже могут содержаться значения **NA**, если существуют области в прямоугольной маске, где предсказание не проводилось.

Воспользуемся знакомой командой **splot** и нарисуем картограмму. Воспользуемся параметром **zcol** для того, чтобы на картограмме была только одна нужная переменная. С помощью параметра **col.regions** можно задавать разные палитры заливки картограммы. По умолчанию используется палитра **bpy.colors()**. Также широко используются палитры **terrain.colors(n)**, **heat.colors(n)**, **rainbow(n)**; в скобках вместо **n** может быть указано разное число цветов.

Например, воспользуемся палитрой «земельные цвета» и нарисуем картограмму (рис. 127):
splot(humus.idw, zcol = "var1.pred", col.regions = terrain.colors (20))

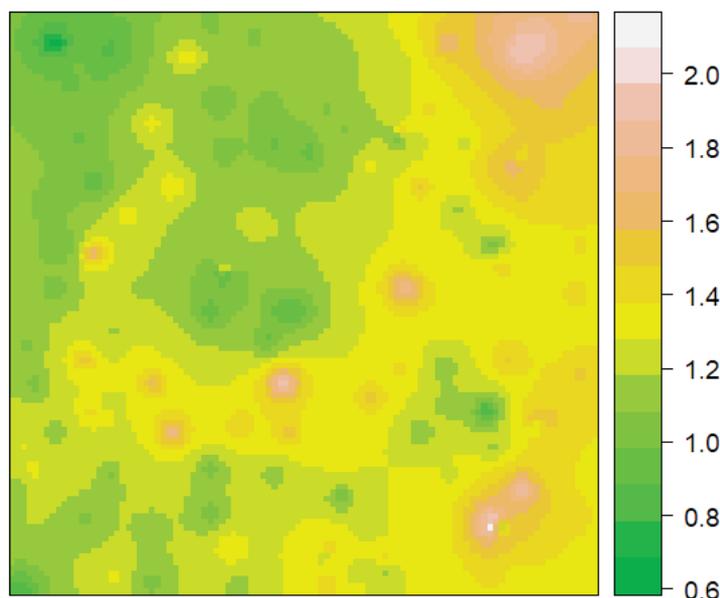


Рисунок 127. Картограмма содержания гумуса (в %) на участке, построенная методом обратных расстояний и нарисованная в земляной палитре

Добавим на рисунок заголовок и зададим начальные и конечные координаты (рис. 128). Добавим деления на оси X и Y. Выберем палитру по умолчанию.

```
spplot(humus.idw, zcol = "var1.pred",  
main = «Распределение гумуса [%], предсказанное с помощью  
метода обратных расстояний», scales = list(draw = TRUE))
```

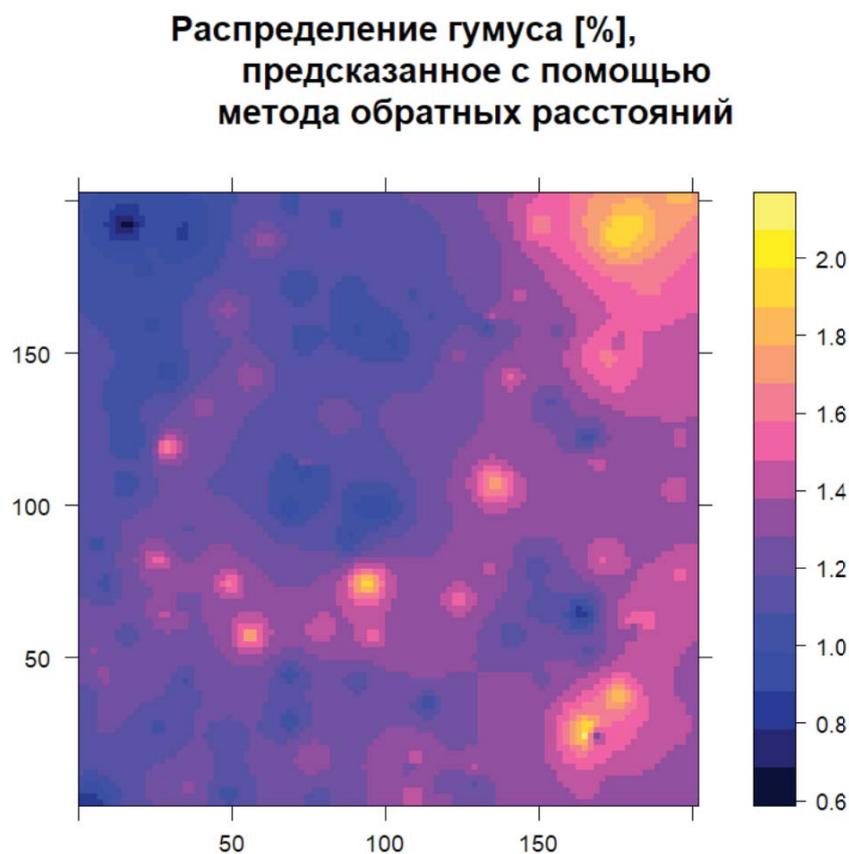


Рисунок 128. Интерполяция содержания гумуса методом обратных расстояний

10.5. Подбор параметров вариограммы и интерполяция точечных данных методом ординарного кригинга

Основы метода ординарного кригинга

Кригинг — ключевой метод геостатистики для анализа пространственно-распределенных данных [27]. Он основывается на гипотезе о пространственной однородности («стационарности 2-го порядка»). Важным преимуществом кригинга является то, что предсказывается не только среднее значение экологической переменной в точке, но и его возможный разброс. Чаще всего результаты оформляются в виде предсказанных значений и ошибки предсказания. Интерполяция методом кригинга предполагает, что пространственные изменения значений экологической переменной $Z(x)$ в точках x в общем случае являются суммой трех компонент:

$$Z(x) = m(x) + e(x) + \text{сигма}$$

где $m(x)$ — структурная (неслучайная) компонента, которая может быть описана какой-либо математической функцией; $e(x)$ — случайная, но пространственно-коррелированная компонента. (Отклонения являются случайными, но связанными друг с другом пространственно.) Предположения, которые делаются относительно данной компоненты: среднее всех $e(x) = 0$; дисперсия значений $e(x)$ и $e(x + h)$ в любых точках x и $(x + h)$ зависят от смещения h , то есть от расстояния между точками, но не зависят от местоположения точек; сигма — случайный шум, не связанный с общей тенденцией и не имеющий пространственной автокорреляции, называется еще остаточной ошибкой.

В зависимости от природы $m(x)$ различают следующие виды кригинга:

- ординарный: m — неизвестная константа, то есть неизвестное постоянное среднее всех значений $Z(x)$;
- простой: m — известная константа (среднее);
- универсальный: m — некоторая детерминистская функция, называемая трендом.

В методе кригинга для предсказания неизвестного значения в некоторой искомой точке используются значения в опорных точках (точках пробоотбора), попавших в некую окрестность вокруг этой искомой точки, эти значения и взвешиваются. В отличие от метода обратных расстояний, веса в кригинге зависят не только от расстояния между опорной точкой и искомой, но и от пространственной структуры данных в целом (компонента $e(x)$).

Поэтому кригинг включает две основные задачи:

- 1) установить пространственную структуру данных — подобрать к данным модель пространственной изменчивости (семивариограмму);
- 2) провести интерполяцию, используя параметры модели семивариограммы.

Создание объекта пакета `gstat` и удаление дубликатов

Задача состоит в том, чтобы задать объект, с которым работает пакет **gstat**, а затем с помощью пакета **gstat** построить семивариограмму, подобрать параметры модели, описывающие эту семивариограмму и провести интерполяцию методом *ординарного кригинга*.

Пакет **gstat** работает с переменными, определенными специальным образом. Такие переменные называются **gstat objects**, то есть объекты пакета **gstat**. Общий вид впервые создаваемого объекта пакета **gstat** для одной переменной выглядит следующим образом (большая часть параметров не указана): **gstat(formula, data)**. Параметр **formula** определяет зависимую переменную (отклик) и независимые переменные. Выбор формулы зависит от выбранного метода интерполяции. В данном случае мы будем использовать формулу для простого и ординарного кригинга вида $z \sim 1$, где z — это экологическая или почвенная переменная, пространственное распределение которой нужно предсказать, а независимых переменных нет. Параметр **data** указывает на пространственный фрейм данных, где содержатся исходные данные: координаты точек, зависимая переменная и независимые переменные (если они есть).

Получите справку по функции **gstat**. Прочитайте ее. Определите объект пакета `gstat` для данных:

получение справки

?gstat

определение объекта пакета gstat

ghum = gstat(formula = Hum~1, data = humus)

Для выполнения интерполяций с помощью пакета **gstat** необходимо проверить данные на дубликаты (точки с одинаковыми координатами) и, если они присутствуют, то удалить их. В данном случае дубликатов нет, поэтому команда удаления дубликатов закомментирована.

##проверка на дубликаты

zerodist(alldata)

[,1] [,2]

```
# alldata = remove.duplicates(alldata, zero = 0.0, remove.second = TRUE, memcmp = TRUE)
## удаление дубликатов
```

Построение семивариограммы и подбор оптимальных параметров модели

Семивариограмма (или вариограмма) — это функция, которая связывает различие в значениях опорных точек и расстояние, на которое они отстоят друг от друга. Она служит средством для исследования пространственной автокорреляции (то есть пространственных связей) между точками. По оси X откладывается расстояние между точками (в метрах, км или др.). По оси Y — усредненная дисперсия разности значений в точках, находящихся на данном расстоянии. Если по оси Y отложена дисперсия для разности всех пар точек, то такой график называется «вариационное облако».

Вспомним, что до начала работы был создан объект — фрейм **ghum**. Рассчитаем семивариограмму с помощью команды **variogram** (результаты сохраним как объект **vgpb**) и нарисуем экспериментальную семивариограмму. Параметр **pch** позволяет изменить вид точки на графике.

```
ghum
```

```
data:
```

```
var1 : formula = HUM`~`1 ; data dim = 159 x 1
```

```
# рассчитайте и нарисуйте экспериментальную семивариограмму
```

```
vgghum <- variogram(ghum, pch = 19)
```

```
plot(vgghum)
```

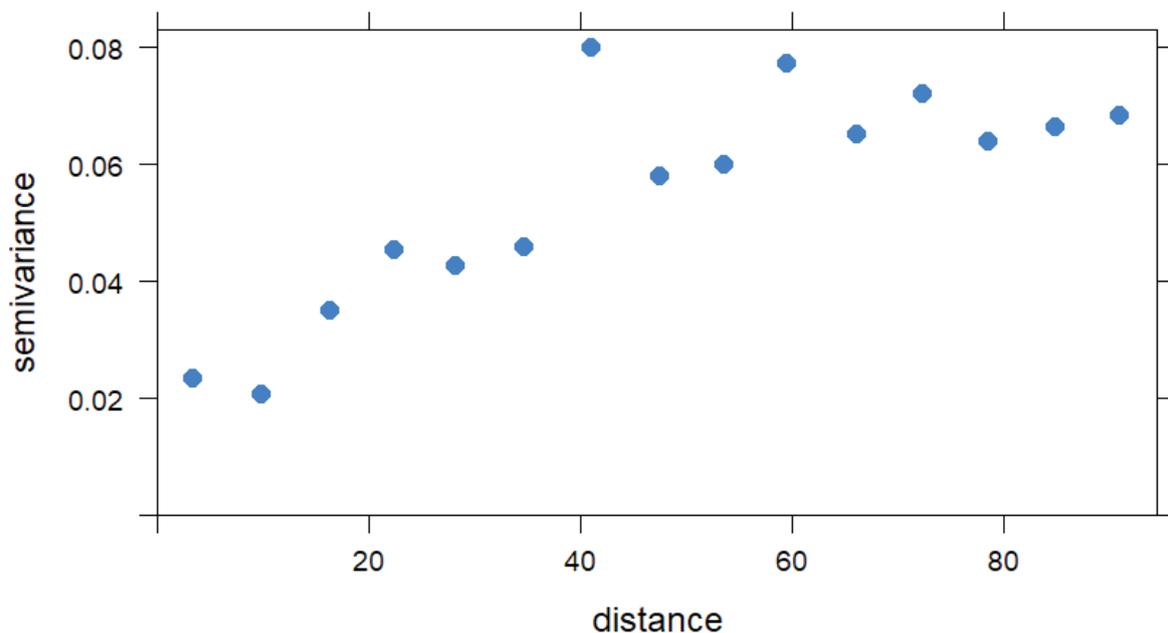


Рисунок 129. Вариограмма содержания гумуса

С помощью параметра **cloud** постройте вариограммное облако (рис. 122).

```
vgghum1 = variogram(ghum, cloud = TRUE)
```

```
plot(vgghum1)
```

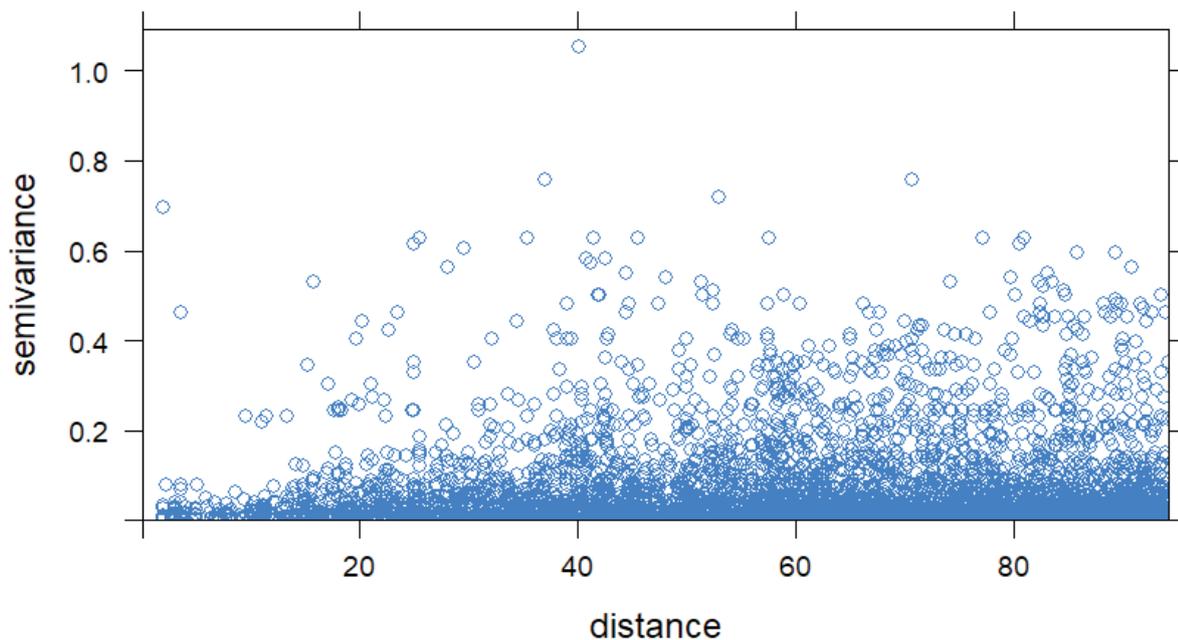


Рисунок 130. Вариограммное облако содержания гумуса

Выполните команду по построению вариограммы еще раз, определив **plot.nu = TRUE**. На рисунке появится число пар точек, по которым рассчитывалось каждое значение семивариограммы.

plot(vghum, plot.nu = TRUE, pch = 16)

Посмотрим, что содержится в переменной **vghum**.

vghum

np	dist	gamma	dir.hor	dir.ver	id
1	92	3.385519	0.02346630	0	0 var1
2	91	9.916893	0.02074780	0	0 var1
3	186	16.278293	0.03527285	0	0 var1
4	246	22.371645	0.04555650	0	0 var1
5	264	28.255243	0.04268826	0	0 var1
6	304	34.659519	0.04598339	0	0 var1
7	368	41.034153	0.07995543	0	0 var1
8	366	47.458557	0.05810451	0	0 var1
9	415	53.528205	0.06001470	0	0 var1
10	485	59.478636	0.07733062	0	0 var1
11	444	66.166820	0.06515822	0	0 var1
12	474	72.281469	0.07214662	0	0 var1
13	454	78.478102	0.06396520	0	0 var1
14	529	84.939296	0.06652250	0	0 var1
15	529	90.964194	0.06850236	0	0 var1

Объект **vghum** представляет собой таблицу, в которой столбцы — это признаки, характеризующие семивариограмму, а строки — это шаги (расстояние), по которому строится семивариограмма. Переменная **np** содержит число пар точек, по которым происходило усреднение значений семивариограммы, параметр **dist** — это усредненное расстояние, соответствующее каждому шагу. Переменная **gamma** — это собственно значение семивариограммы для данного

шага, остальные переменные (**dir.hor** и **dir.ver**) в данном случае представлены 0, так как была построена анизотропная семивариограмма.

Из рисунка 122 видно, что семивариограмма носит ярко выраженный транзитивный характер. Пространственные зависимости наблюдаются для расстояний примерно 75 м, наггет- эффект (варьирование на расстояниях, существенно меньших шага) отсутствует, а порог примерно равен 0,08%.

Подставим эти оценки в качестве начальных параметров для задания модели. Определим модель вариограммы как сферическую (**Sph**). С помощью функции **vgm** сохраним эту информацию во фрейме **vgm_hum**. Посмотрим, что содержится во фрейме **vgm_hum**. Нарисуем модель на одном графике с экспериментальной семивариограммой:

```
# задайте начальные значения для модели вариограммы и ее тип
vgm_hum <- vgm(nugget = 0, psill = 0,08, range = 75, model = "Sph")
```

```
vgm_hum
model psill range
1 Nug 0.00 0
2 Sph 0.45 75
```

```
plot(vghum, vgm_hum)
```

Используйте команду **fit.variogram** для того, чтобы подобрать оптимальные параметры семивариограммы. Посмотрите, как изменились параметры семивариограммы:

```
# подбираем модель вариограммы
vgm_hum <- fit.variogram(vghum, vgm_hum, fit.method = 7)
plot(vghum, pch = 16, vgm_hum)
```

```
vgm_hum
model psill range
1 Nug 0.01903658 0.00000
2 Sph 0.05074551 71.48699
```

В подобранной модели (рис.123) семивариограммы наггет-эффект равен примерно 0,02, ранг стал несколько меньше — 0.051, так же, как меньше стал и порог — 71 м.

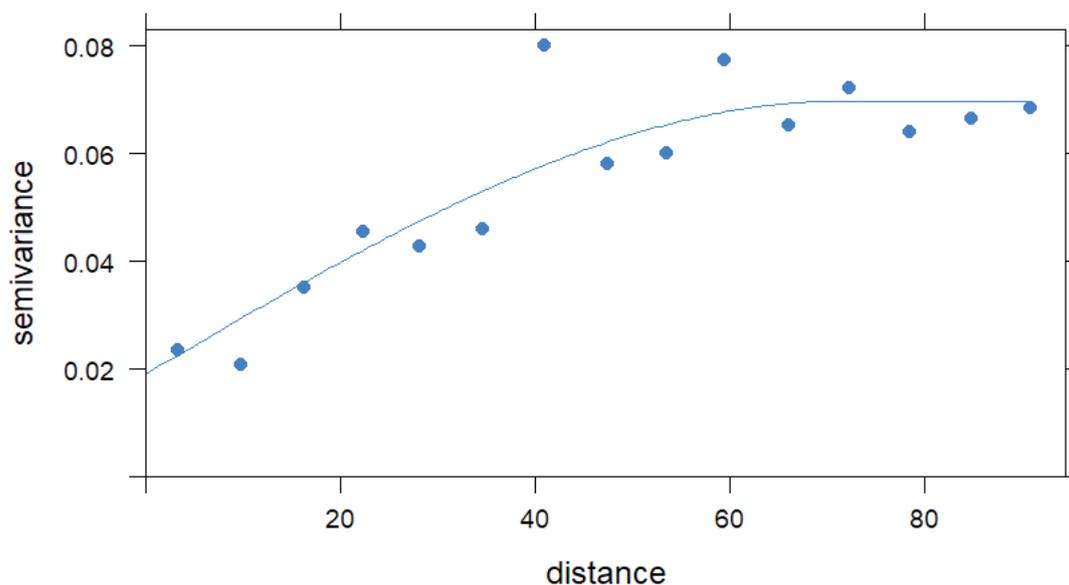


Рисунок 131. Семивариограмма для содержания гумуса с подобранной моделью

Ординарный кригинг

Интерполяцию методом ординарного кригинга можно провести с помощью функции **krige** из библиотеки **gstat**. Одним из аргументов является, как уже отмечалось ранее, **newdata**, где вы определяете пространственные границы экстраполяции. Для этого можно использовать данные файла **mask.tif**. Среди параметров обязательным является **model**, задающий параметры модели семивариограммы.

Выполните интерполяцию методом ординарного кригинга и сохраните результаты в объекте **humus.krig**:

```
# ординарный точечный кригинг
humus.krig = krige(formula = Hum ~ 1, locations = humus, newdata = mask, model = vgm_
hum)
names(humus.krig)
[1] "var1.pred" "var1.var"
```

В объекте **humus.krig** содержатся две переменные. В переменной **var1.pred** содержатся предсказанные значения гумуса, а в переменной **var1.var** — квадрат ошибки предсказания в каждой точке (дисперсия).

```
summary(humus.krig)
```

Object of class SpatialGridDataFrame

Coordinates:

	min	max
s1	0	202
s2	1	203

Is projected: NA

proj4string : [NA]

Grid attributes:

	cellcentre.offset	cellsize	cells.dim
s1	1	2	101
s2	2	2	101

Data attributes:

var1.pred	var1.var
Min. :0.8356	Min. :0.00000
1st Qu.:1.1250	1st Qu.:0.03205
Median :1.2476	Median :0.03398
Mean :1.2615	Mean :0.03437
3rd Qu.:1.3734	3rd Qu.:0.03653
Max. :1.8973	Max. :0.05493

Ошибка предсказания, то есть стандартное отклонение для предсказанных значений кригинга, может быть легко рассчитана с помощью функции **sqrt()** [квадратный корень] от значенной дисперсии предсказания. Добавим в объект **humus.krig** переменную **var1.sd**, содержащую квадратный корень из квадрата ошибки предсказания в каждой точке, то есть ошибку предсказания.

```
humus.krig$var1.sd = sqrt(humus.krig$var1.var)
```

```
summary(humus.krig$var1.sd)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	NA's
0.0000	0.1791	0.1844	0.1850	0.1911	0.2344	15

Средняя ошибка предсказания составляет примерно 0,18, максимальная — 0,23. Нарисуем две переменные из файла **humus.krige**:

```
splot(humus.krige, zcol = c("var1.pred", "var1.sd"))
```

Результат представлен на рисунке 132. Видно, что наименьшая ошибка соответствует областям, расположенным рядом с точками пробоотбора. В расположенных рядом точках пробоотбора ошибка предсказания оказалась настолько мала, что значениям были присвоены NA.

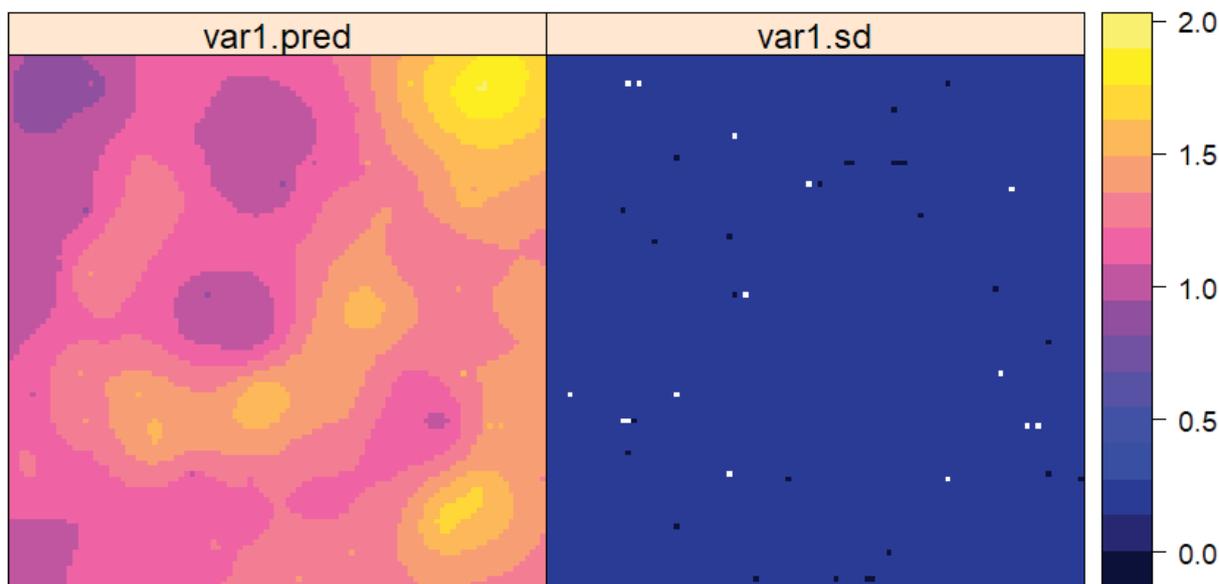


Рисунок 132. Интерполяция содержания гумуса, построенная методом ординарного кригинга, и ошибка предсказания

Интересно, сильно ли полученная карта отличается от той, которая была построена с помощью метода обратных расстояний? Для того чтобы сравнить карты, нужно расположить их рядом. Для этого добавим в файл **humus.krige** еще одну переменную **idw**, в которую перепишем предсказанные значения методом обратных расстояний. Убедимся, что переменная добавилась с помощью команды **names**, и визуализируем карты.

```
#сравниваем два метода
humus.krige$idw = humus.idw$var1.pred
names(humus.krige)
[1] "var1.pred" "var1.var" "var1.sd" "idw"
splot(humus.krige, zcol=c("var1.pred", "idw"))
```

На рисунке 133 видно, что наблюдаются существенные различия между построенными картами. Интерполяция методом кригинга позволяет построить более сглаженную карту. Области высоких и низких значений образуют ареалы большего размера.

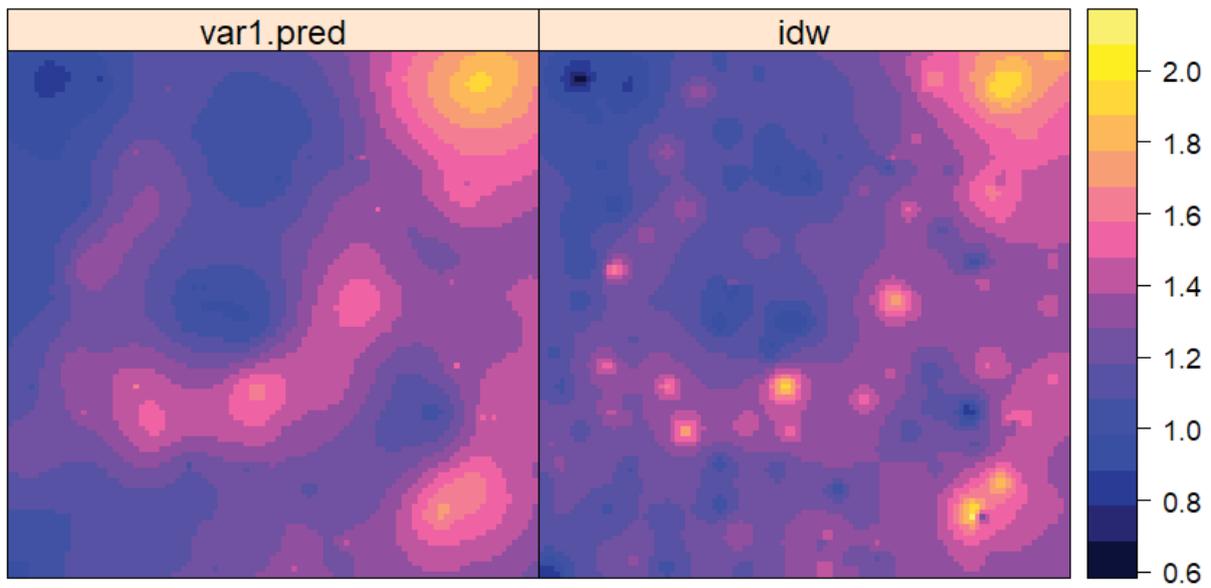


Рисунок 133. Интерполяция содержания гумуса, построенная методом ординарного кригинга и методом обратных расстояний

Таким образом, в результате практикума произошло знакомство с возможностями в среде R работать с пространственными данными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бучнев А.А., Пяткин В.П. Классификация гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2019. № 5 (12). С. 536–541.
2. Выездная учебная практика экологов / И.М. Яшин, И.И. Васенев, Д.А. Постников [и др.]. — М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 76 с. ISBN 978-5-9675-1194-3. EDN VWJTJJ.
3. Ковальчук И.П., Лукьянчук В.А., Богданец В.А. Оценка цифровых моделей рельефа с открытым исходным кодом (SRTM-30, ASTER, ALOS) для моделирования процессов эрозии // Журнал геологии, географии и геоэкологии. 2019. № 1 (28). С. 95–105.
4. Курганович К.А., Кочев Д.В. Применение данных дистанционного зондирования земли в научной деятельности: учебное пособие / К.А. Курганович, Д.В. Кочев. Чита: ЗабГУ, 2021. 132 с.
5. Морев Д.В. Агроэкологическая оценка земель в условиях повышенной пестроты почвенного покрова Владимирского Ополя / Д.В. Морев, И.И. Васенев // АгроЭкоИнфо. 2016. № 1 (23). С. 2. EDN WKNKQD.
6. Обработка данных дистанционного зондирования Земли: практические аспекты: [учеб. пособие] / В.Г. Коберниченко [и др.] Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. 168 с.
7. Ряхов Р.В. Геоинформационный тематический анализ данных дистанционного зондирования на территорию Оренбургской области // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности. 2019. С. 297–300.
8. Салыков А.М. Дистанционное зондирование Земли в сельском хозяйстве // Национальные экономические системы в контексте формирования глобального экономического пространства. 2021. С. 582–584.
9. Тарасенко В.В., Раевский Б.В. Отработка методики дешифрирования данных дистанционного зондирования для построения карт лесного покрова карельской части Прибеломорья // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. (1). С. 87–99.
10. Федоров А.В., Шлапак П.А., Муженский Д.А. Исследование линейной эрозии путем создания уточненной цифровой модели рельефа на основе SRTM (на примере территории Хвалынского района Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2020. № 1 (20). С. 36–40.
11. Экспериментальный анализ модели srtm с помощью обработки изображений и геостатистических методов / Кузякина М.В. [и др.] // Международный инженерно-технологический журнал. 2018. № 4.7 (7). С. 250–253.
12. Шаяхметов М.Р. Изучение почвенного покрова лесостепной зоны Западной Сибири на основе данных дистанционного зондирования Земли: дис. ... биол. наук: 03.02.13 / Шаяхметов Марат Рахимбердыевич. Уфа, 2015. 174 с.
13. A spectral index for winter wheat mapping using multi-temporal Landsat NDVI data of key growth stages/Qu [et al.] // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. (175). P. 431–447.
14. Analysis of trends and changes in the successional trajectories of tropical forest using the Landsat NDVI time series/Berveglieri [et al.] // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2021. (24). P. 100622.
15. Assessment of Groundwater Vulnerability to Contamination Risk in a Typical Basement Terrain Using TOPSIS-Entropy Developed Vulnerability Data Mining Technique, 3. Atenidegbe [et al.] // SSRN. 2023. P. 28.
16. Classification of Landsat 8 satellite data using unsupervised methods / Taufik [et al.] // Intelligent and Interactive Computing: Proceedings of IIC. 2018. P. 275–284.
17. Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data / Stroppiana [et al.] // International Journal of remote sensing. 2018. No. 15–16 (39). P. 5432–5452.

18. Ecological sensitivity assessment and spatial optimization of vegetation in Jinan section of the Yellow River based on GIS interpretation / Fei Wang [et al.] 2022. P. 7.
19. Estimating Mangrove above-ground biomass loss due to deforestation in Malaysian Northern Borneo between 2000 and 2015 using SRTM and landsat images / Wong [et al.] // *Forests*. 2020. No. 9 (11). P. 1080.
20. Evaluating GIS-based multiple statistical models and data mining for earthquake and rainfall-induced landslide susceptibility using the LiDAR DEM / Dou [et al.] // *Remote Sensing*. 2019. No. 6 (11). P. 638.
21. GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices / Pijl [et al.] // *Catena*. 2020. (193). P. 104604.
22. GIS-based machine learning algorithms for gully erosion susceptibility mapping in a semi-arid region of Iran / Lei [et al.] // *Remote Sensing*. 2020. No. 15 (12). P. 2478.
23. GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment: A review, Choi [et al.] // *Applied Sciences*. 2019. No. 9 (9). P. 1960.
24. *Grekousis S. Spatial analysis methods and practice: describe–explore–explain through GIS* // Cambridge University Press, 2020.
25. High-resolution mapping of soil pollution by Cu and Ni at a polar industrial barren area using proximal and remote sensing / Y. Dvornikov, M. Slukovskaya, A. Yaroslavtsev [et al.] // *Land Degradation and Development*. 2022. Vol. 33. No. 10. P. 1731–1744. DOI 10.1002/ldr.4261. EDN RZEMJD.
26. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming, Pilevar [et al.] // *Ecological Indicators*. 2020. (110). P. 105887.
27. Landslide susceptibility mapping using different GIS-based bivariate models / Nohani [et al.] // *Water*. 2019. No. 7 (11). P. 1402
28. *Liping C., Yujun S., Saeed S.* Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques — A case study of a hilly area, Jiangle, China // *PLOS ONE*. 2018. No. 7 (13). P. e0200493.
29. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective, Lü [et al.] // *International journal of geographical information science*. 2019. No. 2 (33). P. 346–367.
30. *Shivakumar B.R.* Land cover mapping capability of chaincluster, K-means, and ISODATA techniques — A case study Springer Singapore, 2020. P. 273–288.
31. *Silva A.C.G., Trevisan G. de M.* Comparison of the classification of land use of the municipality of Frederico Westphalen-RS, using the ISODATA and Minimum Distance // *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2019. No. 6 (7). P. 727–733.
32. *Yahya W.J. bin, Daud Z.* Bin Advances in Civil Engineering and Environmental Engineering. Volume 2 / W.J. bin Yahya, Z. Bin Daud, London: CRC Press, 2023.
33. *Zaitunah A., Ahmad A.G., Safitri R.A.* Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed. Indonesia IOP Publishing, 2018. P. 012112.

**Д.В. Морев, В.А. Потапова, А.М. Ярославцев,
Ю.Л. Мешалкина, М.Р. Шаяхметов**

**ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГИИ, ПОЧВОВЕДЕНИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ**

ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева».

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

Изготовлено — ООО «ВИН»
117556, Москва, ул. Фруктовая, д. 7., корп. 1