

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

**ФОРМИРОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОСНОВЫ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ**

Монография

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

Формирование пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации : монография / О. Н. Писецкая, П. В. Другаков, О. А. Куцаева [и др.]. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 87 с.: ил. – ISBN 978-985-882-767-0.

В монографии изложены теоретические сведения о геоинформационных системах и методах получения планово-картографических материалов по данным дистанционного зондирования Земли. Дано обоснование необходимости создания земельно-информационной системы на земли сельскохозяйственной организации. Приведена методика формирования базы геоданных и создания цифровой модели рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли. Описана методика и приведена структурная модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации.

Издание предназначено для специалистов, работающих в области землеустройства, АПК, аспирантов, магистрантов, студентов высших учебных заведений.

Табл. 7. Ил. 55. Библиогр.: 21 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Протокол № 9 от 9 декабря 2025 г.

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и геоинформационных систем УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой» В. В. Ялтыхов;
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геодезии и аэрокосмических технологий УО «Белорусский национальный технический университет» П. В. Подшивалов

ISBN 978-985-882-767-0

© Писецкая О. Н., Другаков П. В.,
Куцаева О. А., Авдеев А. Н.,
Маргунская Е. С., Титюркина А. А., 2025
© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивость развития землеустройства основана на устойчивом использовании земельных ресурсов, среди которых следует отметить мероприятия, указанные в Государственных программах, а именно: модернизация и развитие земельно-информационной системы на основе диверсификации решаемых задач, использования современных технологий сбора, обработки, агрегирования и генерирования, хранения и предоставления данных, в том числе больших данных; развитие единой системы социально-экономического и территориального планирования в рамках административно-территориальных и территориальных единиц различного уровня [1].

В соответствии с Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь ставит задачи по проведению информатизации сельского хозяйства.

Процесс землеустройства включает в себя ряд мероприятий, среди которых особо значимыми для эффективного управления земельными ресурсами страны следует выделить разработку проектов внутрихозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций, в том числе крестьянских (фермерских) хозяйств.

В Республике Беларусь на высоком законодательном и методологическом уровне определено решение вопросов по регулированию земельных отношений, а именно решение вопросов по изъятию и предоставлению земельных участков, разработке проектов внутрихозяйственного землеустройства с использованием геоинформационных ресурсов страны.

В настоящее время особое внимание уделено внедрению цифровых технологий в эффективное управление сельскохозяйственными организациями, в том числе и в Республике Беларусь. Оценивается эффективность применения цифровых технологий в системе управления сельскохозяйственными предприятиями на примере точного земледелия с определением определенных видов эффектов. Вместе с тем определены обязательные условия эффективности внедрения цифровых технологий и систем точного земледелия, в том числе формирова-

ние единой информационной системы предприятия, подготовка кадров в хозяйствах и др.

Выделены направления в АПК Республики Беларусь, где может действовать «точное земледелие»: агрономическое, техническое, экологическое и экономическое. Для этого должны быть задействованы определенные элементы, одним из которых является «накопление и хранение данных, что позволит отслеживать динамику процессов, а электронный формат обеспечивает наглядность их представления», что и предполагает создание единой базы геоданных на территорию сельскохозяйственной организации [4].

В последние годы в отрасли растениеводства растет интерес к цифровым технологиям. Но на данном этапе среди сельскохозяйственных организаций наблюдается достаточно низкий уровень внедрения цифровых технологий в агропромышленный комплекс страны. Это связано с тем, что не имеется достаточной накопленной базы данных по землям сельскохозяйственного назначения для перехода к цифровым технологиям по возделыванию сельскохозяйственных культур, в частности по внедрению элементов точного земледелия.

В современных технологиях выделено самостоятельное крупное направление – геоинформационные системы, которые широко используются и при работе с картографическими данными.

Широкое использование геоинформационных систем дает возможность создать земельно-информационный ресурс на территорию отдельной сельскохозяйственной организации, который позволит правильно вести учет, обновление и использование земельных ресурсов сельскохозяйственной организации, создать базу геоданных на земли сельскохозяйственной организации, что в последствии будет способствовать внедрению цифровых технологий в растениеводческую отрасль.

Геоданные имеют свои особенности, одной из которых является наличие динамических связей между графическими и атрибутивными данными. Изменение атрибутивных данных ведет к автоматической замене графической информации.

ГИС позволяют оперировать большим объемом данных, полученных из различных источников. Для эффективного их использования при выполнении исследований и принятия управленческих решений необходимо систематизировать эти данные. С этой целью создаются базы геоданных (БГД).

База геоданных – физическое хранилище для географической информации, которая представляет собой серию простых таблиц с данными, содержащих классы пространственных объектов, наборы растров и атрибуты [3].

При разработке проектов землеустройства на земли сельскохозяйственной организации, эффективного управления земельными ресурсами требуется использование геоданных, которые необходимо преобразовать в цифровые карты и модели, а также тематические модели в области землеустройства. При этом необходимо учитывать и особенности рельефа.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И МЕТОДАХ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАНОВО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В настоящее время информатизация свойственна всем сферам деятельности. В современных технологиях выделено самостоятельное крупное направление – геоинформационные системы.

Геоинформационные системы (ГИС) – аппаратно-программный комплекс, который обеспечивает сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач различных предметных областей [5].

Цифровая карта (план) – это цифровая картографическая модель, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба. Классификация цифровых карт соответствует общей классификации карт, например, цифровая топографическая карта и цифровой топографический план.

Представление и хранение картографической информации в виде цифровых топографических карт и планов имеет ряд достоинств по сравнению с хранением и использованием топографических карт в аналоговой форме:

- возможность оперативного обращения к данным и постоянного обновления карт (планов);
- объединение в единую систему всевозможных картографических материалов;
- создание различных таблиц, диаграмм на основе анализа изменения параметров картографической информации;
- отслеживание динамики параметров объектов карты;
- создание тематических карт различного масштаба и степени детализации;
- визуализация просмотра не только в плоскости, но и в трехмерном формате с возможностью использования режим полета;
- тиражирование как всей карты, так и отдельных ее частей, и компонентов.

Схематически процесс создания цифровых карт (планов) приведен на рис. 1.1.

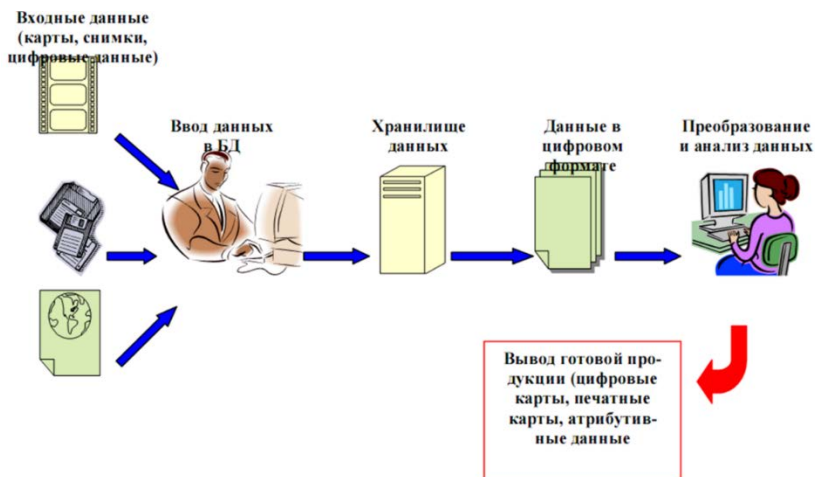


Рис. 1.1. Процесс создания цифровых карт (планов)

С помощью геоинформационных систем и технологий решается множество задач, связанных с анализом и обработкой пространственно-атрибутивных данных практически во всех областях человеческой деятельности: политика и экономика, наука и образование, здравоохранение и экология, оборона и охрана общественного порядка, управление и планирование. Одним из приоритетных направлений применения ГИС, с которого, собственно, и началось их внедрение, является сфера землеустройства и земельного кадастра [5].

Для обеспечения работы с данными землеустройства и земельного кадастра Республики Беларусь предназначена геоинформационная составляющая в виде Земельно-информационной системы (ЗИС) [6].

Назначение и задачи ЗИС – изготовление:

- схем землеустройства административно-территориальных и территориальных единиц;
- проектов установления границ административно-территориальных и территориальных единиц;
- проектов предварительного размещения, отвода, установления и восстановления границ земельных участков;
- проектов отводов земельных участков и внутрихозяйственного землеустройства, рекультивации нарушенных земель, защиты почв от эрозии и других, связанных с использованием и охраной земель;

- материалов поучастковой кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения;
- материалов по инвентаризации земель;
- земельно-кадастровых, почвенных, геоботанических и других тематических карт, планов, атласов состояния и использования земельных ресурсов;
- материалов статистической отчетности по использованию земельных ресурсов административно-территориальных единиц;
- материалов контроля за использованием и охраной земель;
- материалов текущего учёта земель.

Земельно-информационная система Республики Беларусь – это распределённая, топологическая, дискретная, послойно организованная в пространстве и во времени система.

Под термином «распределенная система» понимается принцип территориального разделения процессов формирования и эксплуатации ЗИС. В этом смысле, в соответствии с действующими правовыми нормативными актами, ЗИС Республики Беларусь состоит из:

- локальных ЗИС – ЗИС административных районов, городов;
- региональных ЗИС – ЗИС областного уровня;
- центральной ЗИС – ЗИС республиканского уровня [6].

Центральное место во всех подсистемах ЗИС занимает программное ГИС обеспечение ArcGIS. В разных сочетаниях программные продукты ArcGIS позволяют выполнить задачи обработки, хранения, использования пространственно-атрибутивных данных любого уровня сложности. Фактически и практически ArcGIS является технологической платформой для создания корпоративных, региональных и отраслевых ГИС.

Уникальные возможности ArcGIS по интеграции различных типов данных и документов делают ее эффективным и естественным решением для построения фундамента информационной системы, такой как ЗИС Республики Беларусь. Архитектура ArcGIS обеспечивает внедрение ГИС-функциональности в работу землеустроительной службы на разных организационных уровнях: на серверах и персональных компьютерах в локальных сетях организаций, на переносных компьютерах и, с помощью Web, – в полевых условиях. Поддерживается работа как отдельных пользователей, так и многопользовательский, в том числе удаленный режим обработки и анализа данных отделов и организаций.

Организация растровых пространственных материалов (растровых, сканированных карт и планов, цифровых ортофотопланов) рекоменду-

ется в виде растровых каталогов базы геоданных ArcGIS, которые обеспечивают не только хранение растровых данных в таблицах СУБД, но и их аннотирование (дата состояния местности, масштаб или разрешение, исполнитель и т.п.) с помощью дополнительных атрибутов таблиц. Локальный или удаленный доступ к данным «растровых каталогов», смена систем координат и проекций при их просмотре, символизация и изменение ее в зависимости от масштаба обеспечиваются всеми составляющими, представленными в ArcGIS.

Наиболее эффективным методом ГИС-картографирования земель является методы на основе данных дистанционного зондирования.

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) в цифровом виде интенсивно используются при геоинформационном картографировании земельных ресурсов. Для извлечения пространственной информации о земельном фонде из исходных данных требуются специальные методы обработки (дешифрирования) ДДЗ. Эти методы реализованы в системах обработки изображений. ДДЗ систематизируют по нескольким параметрам:

- 1) по высоте, с которой выполнена съемка;
- 2) по масштабу и пространственному разрешению;
- 3) по диапазону регистрируемого излучения;
- 4) по технологическим способам получения снимков.

По высоте, с которой выполнена съемка, различают аэрофотоснимки (АФС) (источники получения: самолеты и вертолеты, радиоуправляемые БПЛА; преимущественные высоты – от 500 м до 10 км) и космические снимки (КС) (источники получения: автоматические спутники, космические корабли, пилотируемые орбитальные станции; высоты – более 150 км). АФС и КС имеют важные различия при их использовании в целях ГИС-картографирования земель. Преимущества АФС – очень высокая детальность и оперативность, когда речь идет о небольших по площади территориях. Именно АФС в Республике Беларусь служат основой для создания ЗИС локального уровня. КС обладают рядом особых свойств (большая обзорность, комплексное отображение компонентов геосферы, регулярная повторяемость съемок, одновременная съемка в разных диапазонах регистрируемого излучения), позволяющих использовать их для ГИС-картографирования структуры и динамики земельного фонда.

Классификация ДДЗ по масштабу применима для аэрофотоснимков, что обусловлено их обработкой именно в масштабе съемки. Как правило, соотношение между масштабами АФС и составляемой кар-

той не превышает 3:1, а чаще масштаб снимка в 2 раза крупнее масштаба карты или близок к нему. В зависимости от характера использования, АФС делятся на сверх крупномасштабные (крупнее 1:5 000), крупномасштабные (1:10 000–1:25 000), среднемасштабные (1:50 000–1:60 000) и мелкомасштабные (1:100 000 - 1:200 000). Для геоинформационного картографирования земель в Республике Беларусь используются крупномасштабные и сверх крупномасштабные аэрофотоснимки.

Большинство КС дешифрируются не в масштабе съемки, как АФС, а со значительным увеличением. Оригинальный масштаб снимка может быть в три-пять и даже десять раз мельче масштаба составляемой по нему карты. Вследствие этого для КС важен не столько масштаб, сколько пространственное разрешение, которое характеризует размер на местности самой малой детали, воспроизведенной на снимке. Зависит данный показатель от высоты съемки, свойств объектива съемочной аппаратуры и других факторов и определяется размером элемента изображения, пиксела. В зависимости от решаемых задач, могут использоваться данные очень низкого (более 1 км), низкого (300 м – 1 км), среднего (50–200 м), высокого (1–40 м) и очень высокого (0,1–0,9 м) разрешений. Для ГИС-картографирования земельных ресурсов предпочтительно использовать КС высокого и очень высокого пространственного разрешения.

Диапазон регистрируемого излучения (спектральное разрешение) указывает на то, какие участки спектра электромагнитных волн регистрируются сенсором. Условно весь диапазон длин волн, используемых при получении ДДЗ, можно поделить на пять участков: радиодиапазон (длина волн более 1 мм); средний и дальний инфракрасный (тепловой) диапазон (3–1000 мкм); ближний инфракрасный диапазон (0,7–3 мкм), видимый диапазон (0,4–0,7 мкм); ультрафиолетовый диапазон (длина волн короче 0,4 мкм). Такое деление обусловлено различием взаимодействия электромагнитных волн и земной поверхности, различием в процессах, определяющих отражение и излучение электромагнитных волн.

Наиболее часто используемый диапазон электромагнитных волн – видимый свет и примыкающее к нему коротковолновое инфракрасное излучение. В этом диапазоне отражаемая солнечная радиация несет в себе информацию, главным образом, о химическом составе поверхности. Подобно тому, как человеческий глаз различает вещества по цвету, сенсор дистанционного зондирования фиксирует «цвет» в более широком понимании этого слова. Так, если человеческий глаз воспри-

нимает видимую область спектра, то современные сенсоры способны различать десятки и сотни зон, что позволяет точно определять объекты и явления по их заранее известным спектрограммам. Для многих практических задач такая детальность нужна не всегда. Если интересные объекты известны заранее, можно выбрать небольшое число спектральных зон, в которых они будут наиболее заметны. Например, ближний инфракрасный диапазон очень эффективен в оценке состояния растительности, в частности при определении нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Одни комбинации спектральных зон лучше показывают земли под растительностью, другие – под антропогенными объектами, третьи – под водными объектами и т. д.

Существуют три основных технологических способа получения снимков: фотографический, оптико-электронный и радиолокационный. При фотографическом способе пространственное распределение спектральных яркостей элементов земной поверхности записывается непосредственно на светочувствительных материалах (черно-белой, цветной, спектральнозональной пленках). Преимуществом данного способа является возможность получения снимков с очень высоким разрешением, высокими геометрическими и фотометрическими свойствами. Такой способ по большей части применяется при аэрофотосъемке земельных ресурсов. При съемке из космоса недостатком метода становится его не оперативность. Кроме того, полученные таким способом ДДЗ требуют последующего их сканирования перед использованием в ГИС [5].

Принцип оптико-электронного способа получения ДДЗ заключается в поэлементном считывании вдоль узкой полосы отраженного земной поверхностью излучения, а развертка изображения идет за счет движения носителя, поэтому оно принимается непрерывно. Излучение, поступившее от источника, преобразуется в электрический сигнал, затем в виде радиосигнала отправляется на Землю, где снова преобразуется в электрический сигнал и фиксируется на магнитных носителях. Полученные таким образом снимки являются дискретными (состоят из пикселей) и пригодны к непосредственной обработке и дешифрированию в ГИС. Пространственное разрешение таких данных зависит от размера пикселя.

При радиолокационной съемке происходит зондирование земной поверхности радиосигналом с помощью специального прибора – радиолокатора, представляющего собой активный микроволновый дат-

чик, способный передавать и принимать поляризованные радиоволны в заданном диапазоне частот. Высокая яркость пиксела на снимках означает, что большая часть сигнала вернулась к антенне, низкая – наоборот. Отличительная особенность радиолокационных изображений – наличие так называемого спекл-шума.

Кроме того, в последние годы появились и приобретают все большее значение видеосъемка и съемка цифровыми камерами, основанные на использовании волоконной оптики. Для целей ГИС-картографирования земель в Республике Беларусь наиболее часто используются данные, полученные фотографическим и оптико-электронным способами.

Применяется метод ГИС-картографирования земель на основе планово-картографических материалов.

Существующие планово-картографические материалы (землеустроительные фотопланы, карты землепользований районов и населенных пунктов, расчлененные или совмещенные издательские оригиналы топографических карт и планов, планы территории садоводческих товариществ (кооперативов) и др.), являются важным источником данных при геоинформационном картографировании земель. При создании ЗИС Республики Беларусь планово-картографический материал формирует группу слоев «Растры».

Растровая пространственная основа ЗИС формируется на основе отсканированных и геопривязанных к государственной системе координат исходных картографических материалов (ИКМ), а также цифровых ортофотопланов, созданных в среде и средствами цифровых фотограмметрических систем и геопривязанных.

К растровым копиям ИКМ предъявляется ряд требований. Их необходимо формировать в рамках соответствующих номенклатурных листов топографических карт (планов) с размерами сторон и диагоналей не отличающимися от их теоретических размеров. Пространственное разрешение должно соответствовать 0,07 мм масштаба ИКМ, а формат растровых копий – TIF с PackBits сжатием. Также требуется, чтобы зарамочное оформление отсутствовало или было выполнено отдельным слоем. Значение пикселей фона растровых копий ИКМ должно быть NoData или 255 (белый цвет). Растровые копии необходимо геопривязать к системе координат ИКМ.

Цифровые ортофотопланы должны удовлетворять следующим требованиям: быть сформированными в рамках номенклатурных листов топографической карты масштаба 1:10 000 или топографических планов масштабов 1:5 000 или 1:2 000; размеры сторон и диагоналей –

такие же, как и теоретические; пространственное (геометрическое) разрешение должно быть не хуже 0,4 м/пикс; геопривязка к системе координат Пулково 1942 года; сформированными в форматах SID, JP2 или JPG; значение пикселей фона должно быть «NoData» или «255» (белый цвет).

Обобщенная технологическая схема использования планово-картографических материалов в ГИС заключается в последовательном выполнении ряда операций:

- 1) сканирование;
- 2) создание векторной модели математической основы (рамки номенклатурных листов, прямоугольной координатной сетки) в системе координат ИКМ;
- 3) трансформирование и геопривязка;
- 4) создание растровых каталогов в базе геоданных;
- 5) оцифровка информации, содержащейся на планово-картографических материалах (при необходимости).

Сканирование планово-картографических материалов должно выполняться с разрешением 300–400 dpi и, как правило, на сканерах, обеспечивающих сканирование «за один проход». Отсканированные копии ИКМ просматриваются на экране монитора и при необходимости (например, при наличии на изображении каких-либо дефектов) подвергаются ретушированию средствами таких систем, как Autodesk Raster Design. В случае неудовлетворительного качества растровых копий, а также при отсутствии на них части изображения ИКМ они сканируются повторно.

Растровые копии ИКМ сохраняются в TIF-файлах. Имена файлов должны содержать номенклатуру топографической карты (плана). Если в качестве ИКМ использовались расчлененные издательские оригиналы, то к наименованию номенклатуры добавляются соответствующие суффиксы, обозначающие издательский оригинал соответствующего элемента содержания карты или плана [7].

Формирование каталогов изображений выполняется средствами ГИС ArcGIS с целью обеспечения программной организации растровых файлов для совместного «бесшовного» просмотра. Средствами ArcCatalog создается БГД RASTERS и соответствующие растровые каталоги, в которые и загружаются трансформированные растровые изображения ИКМ. Посредством каталогов изображений наборы ориентированных растровых копий ИКМ могут быть представлены в виде единых информационных единиц – соответствующих мозаичных топографических карт (планов).

При необходимости перевода растрового изображения в векторный вид выполняется его оцифровка в ГИС ArcGIS. Векторизация возможна в ручном режиме средствами редактора ArcMap или в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режиме с помощью инструментов модуля Arc Scan ГИС ArcGIS.

Автоматическая векторизация с помощью данного модуля существенно сокращает время, затрачиваемое на оцифровку растровых изображений. В этом режиме существуют два способа векторизации: центральные линии и контуры. В первом случае строятся центральные линии растровых линейных объектов и границы площадных объектов. Во втором – границы всех растровых связанных компонент в виде полигонов. Результатом является множество полигонов.

Полуавтоматическая, или интерактивная, векторизация (трассирование) применяется в тех случаях, когда требуется больший контроль над процессом векторизации или нужно векторизовать небольшую часть изображения. С помощью курсора задается начальная точка и направление трассирования, после чего автоматически строится центральная линия от начальной точки до конца растровой линии, если по пути не встретится площадной объект или точка пересечения с другой линией. Если центральная линия попадает в точку пересечения, то трассировщик останавливается и ждет, пока оператор снова укажет направление, в котором нужно продолжить трассирование. Если центральная линия остановилась на границе площадного объекта, то оператор должен перейти в режим ручного цифрования и оцифровать этот объект.

Ручная оцифровка позволяет оператору осуществлять непрерывный контроль над процессом векторизации, задавая с помощью курсора положение каждой вершины центральной линии. Она используется для векторизации растровых изображений плохого качества, изображений, содержащих сразу несколько тематических слоев, и при наличии сложных видов линий. Ее также целесообразно использовать для оцифровки прямых линий. В данном режиме есть особый инструмент – замыкание на растре, позволяющий автоматически привязывать начальную точку к центральной линии, точке пересечения линий, концам линий или углам. Быстрое наведение курсора на специфические точки повышает точность и увеличивает эффективность оцифровки, так как отпадает необходимость в частом изменении масштаба изображения на экране.

В настоящее время информатизация свойственна всем сферам деятельности. В современных технологиях выделено самостоятельное крупное направление – геоинформационные системы, определение которых приведено ранее.

Следует отметить, что основная единица в ГИС – данные. Данные – совокупность данных и сведений, представленные в формализованном виде для использования в различных сферах деятельности [4].

При работе в ГИС, при выполнении исследований в зависимости от предметной области, особенно исследований в области землеустройства и земельного кадастра, в настоящее время используется более широкий термин – геоданные.

Геоданные – тематические, пространственные и временные данные, отражающие свойства объектов, процессов и явлений, происходящих на Земле, в околоземном пространстве, под земной поверхностью [3].

Информационная особенность геоданных – новый информационный ресурс, который позволяет решать задачи различных предметных областей [8].

Для создания геоинформационного ресурса, а также эффективного использования геоданных любой предметной области необходимо осуществить их организацию.

Организация геоданных – совокупность технологических процессов сведения разнородных данных и моделей в единую непротиворечивую информационную модель, которую в дальнейшем можно будет эффективно применять в различных технологиях анализа и управления [8].

В результате организации геоданных получаем информационную модель геоданных, которая позволяет осуществлять хранение различного рода данных в базах данных и возможность их автоматизированной обработки.

Геоданные имеют свои особенности, одной из которых является наличие динамических связей между графическими и атрибутивными данными. Изменение атрибутивных данных ведет к автоматической замене графической информации.

ГИС позволяют оперировать большим объемом данных, полученных из различных источников. Для эффективного их использования при выполнении исследований и принятия управленческих решений, необходимо систематизировать эти данные. С этой целью создаются базы геоданных (БГД).

База геоданных – физическое хранилище для географической информации, которые представляют собой серию простых таблиц с данными, содержащих классы пространственных объектов, наборы растров и атрибуты.

Рассмотрим содержание этих данных:

Пространственный объект – цифровое представление объекта реальности (цифровая модель местности), содержащее его местоположение и набор свойств, характеристик, атрибутов или сам этот объект. Выделяют четыре основных типа пространственных объектов: точечные, линейные, площадные (полигональные), контурные и поверхности.

Растровая модель данных – цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек растра (пикселей) с присвоенным им значением класса объектов.

Атрибуты – описательные свойства пространственных объектов или групп объектов [4].

При разработке проектов землеустройства на земли сельскохозяйственной организации требуется использование геоданных, которые необходимо преобразовать в цифровые карты и модели, а также тематические модели в области землеустройства.

Но для эффективного управления земельными ресурсами сельскохозяйственной организации невозможно ограничиться геоданными только в области землеустройства. Необходимо создать интегрированную геоинформационную основу, в которой будут отражены геоданные из разных предметных областей, полученные различными методами.

Рассмотрим создание БГД на примере цифровых почвенных карт.

Создание цифровых почвенных карт на земли отдельных сельскохозяйственных предприятий выполняется в базе геоданных ArcGIS «Maps_Почвы». В БГД сведения о почвах представлены в виде пространственных данных (табл. 1.1).

Атрибутивные данные о почвах состоят из:

- 1) атрибутивной информации классов пространственных объектов;
- 2) информационных таблиц (классификатор почв (Kod_Leg_Pochv), классификация почв по коду подстилки (Leg_podstil), классификатор отображения границ видов земель (Land_lin), номенклатурный список почв (Spisok_Pv));
- 3) справочных таблиц (виды земель (Land_dop), мелиоративное состояние земель (Melio), типы земель (t_LandTypes)).

Таблица 1.1. **Наборы данных БГД «Март Почвы»**

Название набора данных	Название класса объектов	Содержание
MAPS (почвенные карты землепользований)	Soil_<NZ>	Почвенные разновидности одного из землепользований (полигональный класс)
	Land_p_<NZ>	Виды земель (полигональный класс)
	Land L_<NZ>	Границы видов земель (линейный класс)
	Land_t_<NZ>	Коды видов и мелиоративного состояния земель (точечный класс)
SL_SOIL (создаваемая почвенная карта землепользования)	Pochv	Почвенные разновидности создаваемой карты почв (полигональный класс)
SKETCH (вспомогательная информация для оформления выводимой на печать почвенной карты землепользования)	Admi_<NZ>	Границы населенных пунктов, являющихся смежниками (посторонниками) данного землепользования
	Smejniki <NZ>	Информация о смежниках
	Tabl Exp <NZ>	Таблица для формирования номенклатурного списка в 1 колонку
	Tab2 Exp <NZ>	Таблица для формирования номенклатурного списка в 3 колонки
	Leg_Tab1_<NZ>	Заготовки для оформления заливок и штриховок почв (Tabl_Exp)
	Leg_Tab2_<NZ>	Заготовки для оформления заливок и штриховок почв (Tab2_Exp)
	Pochv_s	Полигональный класс почвенных разновидностей создаваемой карты почв

Примечания: 1) в название класса объектов в наборах данных MAPS и SKETCH включают название слоя и номер землепользования <NZ>;

2) классы объектов в наборе данных SKETCH, не содержащие в названии номер землепользования, являются шаблонами.

Цифровая почвенная карта на территорию сельскохозяйственного предприятия создается одним из способов, зависящих от вида Локальной ЗИС (векторной или ЗИС на растровой картографической основе). Процесс создания цифровой почвенной карты складывается из ряда этапов, приведенных в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Основные этапы создания цифровой почвенной карты

Этап работ	Вид работ	Исполнитель
Подготовительные работы	Подбор и анализ исходных материалов, подготовка легенды почвенной карты	Почвенный отряд
	Цифрование границ землепользования, водных объектов (рек, каналов и канав, озер, водохранилищ и прудов), железных и улучшенных автомобильных дорог на территории землепользования	Отдел ЗИС
Создание растрового ИКМ	Создание контурной карты со сводкой контуров и кодов почвенных разновидностей со смежными землепользованиями	Почвенный отряд
	Сканирование исходного картографического материала (ИКМ) – контурной или авторской почвенной карты, геопривязка и трансформирование растрового ИКМ	Отдел ЗИС
Создание векторной почвенной карты землепользования	Цифрование растрового ИКМ Сводка контуров границ почвенных разновидностей создаваемой почвенной карты с контурами смежных, ранее созданных почвенных карт Согласование слоя границ контуров почвенных разновидностей со слоями БГД Локальной ЗИС соответствующего района	Отдел ЗИС
	Подготовка отчета и оформление дела по созданию цифровой почвенной карты землепользования	Почвенный отряд
Формирование слоя «Почвы» БГД ЗИС	Экспорт слоя почвенных разновидностей, созданного в границах землепользования, на слой «Почвы» (Soil) БГД Локальной ЗИС	Отдел ЗИС

На этапе подготовительных работ выполняют сбор и анализ исходных данных на территорию землепользования, на которое создается цифровая почвенная карта. Исходными данными служат: авторская почвенная карта землепользования с легендой, составленная по материалам последнего почвенного обследования и содержащая коды почв согласно номенклатурному списку почв Беларуси; материалы использования земель; информация о почвах землепользования, уточняющая или дополняющая данные авторской почвенной карты. Кроме этого, готовят легенду почвенной карты в табличном виде с выделением типов и разновидностей почв. Данные легенды авторской почвенной карты представляются в виде таблицы Kod_pochv – кодов почвенных разновидностей землепользования БГД «Maps_Почвы». Таблица Kod_pochv создается на базе подготовленной таблицы-шаблона Leg_shablon.

При создании почвенной карты как слоя «Почвы» Локальной ЗИС на растровой картографической основе выполняется оцифровка границ землепользования (слой «Земельные участки» (Lots), информация о землепользователях помещается в таблицу (Users), а также проводится оцифровка водных объектов (рек, каналов и канав, озер, водохранилищ и прудов), железных дорог и улучшенных автомобильных дорог (слой «Виды земель» (Land)) по растровой картографической основе с учетом изменений, отображенных на материалах графического учета.

В качестве растрового ИКМ для создания векторной почвенной карты могут служить: авторская почвенная карта землепользования или контурная почвенная карта. Контурная почвенная карта создается в случаях, когда с момента создания авторской почвенной карты до создания цифровой почвенной карты произошло изменение границ землепользования или же, когда почвенная карта создается как тематический слой «Почвы» Локальной ЗИС на растровой картографической основе.

Создание контурной почвенной карты заключается в следующем. На прозрачную основу по данным БГД Локальной ЗИС наносятся границы землепользования, включая посторонних землепользователей, реки, озера, водохранилища, пруды, магистральные каналы, железные дороги и улучшенные дороги. Затем совмещают объекты, нанесенные на прозрачную основу, с соответствующими объектами на авторской почвенной карте. С авторской почвенной карты переносят на прозрачную основу границы и номера почвенных разновидностей и выполняют сводку контуров почвенных разновидностей авторских почвенных карт смежных землепользований. При необходимости составляется новая легенда почвенной карты.

Создание цифровой растровой основы контуров почвенных разновидностей происходит путем сканирования исходного картографического материала (контурной почвенной карты или авторской почвенной карты). ИКМ сканируется с разрешением 300 dpi. Отсканированное изображение просматривается и при необходимости подвергается чистке. В случае сканирования ИКМ по частям выполняют сшивку его фрагментов. Трансформирование и геопривязка растра к системе координат локальной ЗИС выполняется в среде AutodeskMap с помощью модуля Autodesk RasterDesign или в ArcMap ГИС ArcGIS с помощью команды Georeferencing.

Оцифровка границ почвенных разновидностей выполняется по растровым ИКМ. В автоматическом и полуавтоматическом режимах

программ-векторизаторов (Autodesk RasterDesign, ArcScan for ArcGIS или R2V) выполняется оцифровка контурной почвенной карты, в полуавтоматическом и ручном – авторских почвенных карт. Оцифрованная информация помещается на слой «Pochv» БГД «Maps_Почвы». Кодирование контуров почвенных разновидностей выполняется в соответствии со значениями индексов, имеющимися на авторской почвенной карте, которые помещаются в поле Code атрибутивной таблицы.

Оцифрованные границы почвенных разновидностей (цифровую почвенную карту) необходимо согласовать с границами контуров, ранее созданных цифровых почвенных карт смежных землепользований, а также со слоями «Земельное покрытие» (Land) и «Мелиоративное состояние земель» (Melio) БГД Локальной ЗИС.

Формирование слоя «Почвы» БГД ЗИС выполняется путем соединения атрибутивной таблицы полигонального слоя «Pochv» БГД «Maps_Почвы» с таблицей легенды почвенной карты Kod_Pochv и загрузки в слой «Почвы» (Soil) БГД Локальной ЗИС созданной цифровой почвенной карты землепользования (слой Phocv БГД «Maps_Почвы»). Структура атрибутивной таблицы слоя «Почвы» БГД ЗИС представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Структура атрибутивной таблицы слоя
«Почвы» БГД локальной ЗИС

Наименование данных	Имя поля	Тип поля	Примечание
Классификационная принадлежность почвы	SoilCode1	Текстовое	Кодирование в соответствии с номенклатурным списком почв Беларуси
Генезис почвообразующих пород	SoilCode2	Текстовое	
Гранулометрический или ботанический состав почв	SoilCode3	Текстовое	
Характер подстилаяния	SoilCode4	Текстовое	
Мелиоративное состояние и освоение	SoilCode5	Текстовое	

При выборе системы для реализации ГИС-проекта следует проанализировать ее возможности и стоимость владения. Наиболее полный анализ имеющихся ГИС программ был выполнен Ю.Б. Барановым и Е. Г. Капраловым в 2004 г. [8]. Позже неоднократно проводились работы по актуализации информации по данному направлению, прежде всего в связи с появлением ГИС с открытым кодом [9].

Для решения производственных задач используют коммерческие ГИС/САПР компаний BENTLEY SYSTEMS, Esri, Pitney Bowes, Пано-

рама и др. Для исследовательских и образовательных целей их возможности в ряде случаев избыточны. А также их применение сдерживает высокая стоимость коммерческого ПО. По этим причине в данных областях широко используют различные ГИС с открытым кодом.

Компанией ESRI долгое время развивала две линейки ГИС продуктов базового уровня (ArcView) и профессионального ArcINFO. ГИС ArcView являлась настольной системой и имела невысокие требования к аппаратному обеспечению персональных компьютеров, благодаря чему завоевала широкую популярность. Наличие русскоязычного интерфейса и невысокие аппаратные требования привели к ее широкому внедрению в учебный процесс дисциплин геоинформационного блока. Для этой ГИС были разработаны методики использования при составлении картографических документов, проведения ГИС анализа и др.

ГИС ArcInfo относится к ряду профессиональных систем. Она предъявляла повышенные требования к аппаратной части и работала в среде операционной системы UNIX. Она также была портирована на платформу WindowsNT. В 2000 г. компания ESRI решила объединить 2 линейки своих продуктов и выпускать их под названием ArcGIS. Это привело к унификации интерфейса, а функциональность ГИС стала зависела от типа лицензии. От развития старых продуктов компания отказалась. В 2001 г. вышла ArcViewGIS 3.3, которая не получила широкого распространения.

В начале XXI в. компания ESRI отказалась от продолжения разработки своей ГИС ArcView обладавшей достаточно развитыми средствами географического анализа и широко использовавшейся в решении задач управления. Достоинством программы также являлись низкие требования к аппаратному обеспечению. Компания ESRI отказалась от ArcView в связи с разработкой новой линейки своих ГИС ArcGIS полученной перенесением своей ГИС ArcINFO на платформу Windows реализацией классического графического интерфейса Windows.

Линейка настольных продуктов ArcGIS выпускается под разными лицензиями, название и функциональность которых меняется от версии к версии. Системы начального уровня имеют лицензию basic, а наиболее функциональная – advanced.

ArcGIS включает такие части: средство создания карт (ArcMap), менеджер данных (ArcCatalog), набор инструментов (ArcToolbox), редактор объектов (ObjectEditor), сервер геопроцесса (GeoprocessingServer), язык программирования Python и многое другое.

ArcMap – это картографический модуль для редактирования, отображения, построения запросов и анализа картографических данных. ArcMap содержит высокоуровневое научное построение диаграмм и графических систем, объектно-ориентированный редактор и построение полноценных отчетов. ArcMap – это среда для работы с картами и создания высококачественной картографической продукции. Он напрямую читает наиболее полуполярные форматы картографических данных: покрытия ARC/INFO, шейп-файлы ESRI, слои SDE, библиотеки карт, слои ArcStorm, DXF и DWG, DGN, многие форматы изображений, GRID и многое другое.

ArcCatalog – это модуль, предназначенный для работы с данными, который размещает, читает и управляет пространственными данными. ArcCatalog позволяет создавать пространственные базы данных и управлять ими. ArcCatalog содержит помещенные пользователем логически структурированные данные, определяет и использует метаданные.

ArcToolbox – это совершенно новая среда для выполнения больше сотни операций геопроцесса, которые выполняет ARC/INFO, такие как конвертация данных, оверлейные операции, создание буфера, а также трансформация карт.

ArcInfo 10 включает полнофункциональную персональную версию SDE технологии от ESRI, которая называется PersonalArcSDE. Она работает под Microsoft Jet Database Engine (база данных, используемая в Access). В ArcGis традиционная геореляционная модель данных дополнена объектно-ориентированной моделью, что позволяет пользователям добавить действия, свойства и связи к их данным. Модель географической базы данных позволяет выделить особенности, которые наиболее близко подходят реальному миру. Данная объектно-ориентированная модель расширена специальными условиями, свойства которых определяет пользователь.

В Российской Федерации для решения задач по планированию землепользования, картографирования широко используется ГИС Mapinfo.

ГИС MapInfo также предназначена для: создания и редактирования карт, создания тематических карт, пространственного и статистического анализа графической и семантической информации, геокодирования, работы с базами данных, вывода карт и отчетов на принтер/плоттер или в графический файл.

Основными достоинствами MapInfo являются:

Легкость в освоении. Пользователю ГИС MapInfo предоставлен понятный и удобный интерфейс на русском языке, а картографические преобразования, насколько это возможно, скрыты.

Просмотр данных в любом количестве окон трех видов: окнах Карт, Списков и Графиков.

Технология синхронного представления данных позволяет открывать одновременно несколько окон, содержащих одни и те же данные, причем изменение данных в одном из окон сопровождается автоматическим изменением представления этих данных во всех остальных окнах.

Работа с растром. Простая загрузка растра и привязки его к конкретной географической проекции, для этого пользователь должен знать точные координаты не менее 3 точек.

Визуализация данных. Возможность отображения на карте табличных данных в различном виде.

Средства геоинформационного анализа. MapInfo поддерживает создание буферных зон, формирование производных объектов, графический редактор для создания и изменения объектов и т. д.

Средства и процедуры группирования географических объектов позволяют оперативно анализировать и прогнозировать различные ситуации.

Создание отчетов и распечаток. В MapInfo можно создавать и распечатывать отчеты с фрагментами карт, таблицами, графиками и надписями на печатающем устройстве практически любого типа и размера. Вывод на печать осуществляется через стандартные драйверы.

Работа в различных вычислительных системах. MapInfo работает на PC (Windows 95/NT), Macintosh, Sun O/S, HP UNIX и др. платформах. При этом интерфейс пользователя одинаков во всех системах. Файлы данных и компилированные программы на языке MapBasic переносимы с платформы на платформу.

Наличие встроенного языка программирования MapBasic. Он содержит средства управления выполнением программы (циклы, условные переходы и т. д.); создания собственного интерфейса (диалоги, меню и т. д.); поддержки обмена данными между процессами (DDE, DLL, RPC, XCMD, XFCN); встроенный механизм SQL-запросов и др.

Встроенная реляционная база данных. База данных с картографическим интерфейсом, а встроенный язык запросов SQL позволяет манипулировать данными на профессиональном уровне.

Доступ к данным на удаленном сервере. Присоединенные таблицы из Access и Excel можно редактировать и сохранять изменения, не выходя из MapInfo.

Встроенные OLE. MapInfo дает возможность встраивать карту в документы OLE-программ и передавать картографическому объекту подмножество своих функций.

Бесшовные слои карты. Позволяет временно трактовать несколько таблиц, содержащих объекты одного и того же типа (например, границы стран, границы водных массивов и т. п.), и идентичную структуру, как одну таблицу.

В последнее время быстро развиваются различные Open source ГИС. После отказа компанией ESRI дальнейшей разработки ArcView GIS, генералитет Валенсии (Испания) профинансировал создание геоинформационной системы gvSIG. Модульная структура данной ГИС в целом напоминает структуру ArcView. Так модуль Raster pilot является аналогом Image Analysis, Network pilot – Network Analyst, 3Dpilot – 3DAnalyst. GvSIG работает под управлением операционных систем Linux, MacOS, Windows. Легкость адаптации программы к разным платформам связана с тем, что программа написана на языке Java и для запуска программы нужен только интерпретатор.

Также интенсивно развивается проект qGIS. Минимум 2 раза в год представляется новая версия программы. Эту систему отличает интеграция с другой свободной ГИС GRASS, в которой реализованы хорошо отработанные алгоритмы обработки пространственных данных. ГИС хорошо взаимодействует с пространственными расширениями к СУБД, такими как Oracle Spatial и Postgre SQL. В рамках проекта развивается также и серверный вариант данной ГИС.

Интеграция с другими ГИС присутствует и в gvSIG. Так, в рамках проекта gvSIG Community Edition посредством набора инструментов SEXTANTE поддерживается интеграция с GRASS и SAGA GIS. Для свободного ПО характерно наличие адаптированных сборок, разрабатываемых сообществами пользователей. Для Quantum GIS такой сборкой является NEXTGIS, поддерживаемая одноименной компанией.

Все указанные ГИС в качестве стандартного формата векторных данных используют – шейп (shp). «Свободные» ГИС также обладают поддержкой современных картографических сервисов, что является существенным преимуществом перед ArcView ГИС 3.2. Это позволяет рекомендовать их для работы с геопорталами.

«Свободные» ГИС сейчас обладают сопоставимыми возможностями по оформлению карт с коммерческими продуктами. Также их отличает большое количество поддерживаемых картографических проекций. Системы также поддерживают работу с растром, позволяют выполнить привязку изображения, растровый анализ. Также развитыми являются функции векторизации. Работа с таблицами также удобна. Таким образом, базовые функции Open Source ГИС находятся на уровне близком к ArcGIS 10. Основные характеристики указанных ГИС приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Основные характеристики сравниваемых ГИС

Характеристика	ArcView	GvSIG	qGIS	ArcGIS	Mapinfo
Версия	3.2	2.6	3.42	10.8	2023
Год выпуска	2000	2023	2025	2020	2023
Характер программного обеспечения	платное	свободное	свободное	платное	платное
Интерфейс	Собственный	Стандартный windows	Стандартный windows	Стандартный windows	Стандартный windows
Поддержка проекции Гаусса	Ручная настройка	Встроенная (по зонам)	Встроенная (по зонам)	Встроенная (по зонам)	Встроенная (по зонам)
Пространственные операции	есть	есть	есть	есть	нет
Построение буферных зон	есть	есть	есть	есть	есть
Поддержка форматов wfs	нет	да	да	да	да
wms	нет	да	да	да	да
Формат векторных данных	SHP	SHP	SHP и др.	SHP и др.	TAB
Язык программирования	Avenue	Java	Python	Python	MapBasic Python
Русский язык интерфейса	есть	есть	есть	есть	есть

В настоящее время компания ESRI отказалась от развития линейки ArcGIS desktop в пользу новой линейки продуктов ArcGIS pro, для которой характерна существенная переработка интерфейса и методики работы.

Главным достоинством свободных ГИС является поддержка современных картографических сервисов, систем пространственных баз данных, что позволяет интегрировать в рамках единой информацион-

ной системы пространственные данные, расположенные локально, на сервере базы данных или полученные из интернета. Все рассмотренные ГИС поддерживают построение буферных зон, пространственные операции и развитые функции оформления карт.

Кроме Open Source продуктов, следует также выделить ГИС Аксиома российской компании Эсти. Эта ГИС относится к коммерческому программному обеспечению, но для образовательных и научных целей ее можно использовать бесплатно. Она разработана в 2016 г. в рамках импортозамещения, для замены ГИС MapInfo американской компании Pitney Bowes. По этой причине встроенным форматом данных в данной ГИС является Mapinfo tab, а интерфейс выполнен в стиле Mapinfo Pro. При разработке системы произошел полный отказ от проприетарной среды и языка программирования MapBasic в пользу более распространенного универсального языка Python 3.X. В настоящий момент слабым местом этой ГИС является ограниченный набор дополнительных модулей.

Рассмотренные ГИС относятся к настольным системам и обладают примерно равным функционалом. Наибольшее распространение получил QGIS. Эта ГИС используется во многих ВУЗах при преподавании дисциплин геоинформационного направления.

Программное обеспечение со свободным доступом для некоммерческих целей можно рекомендовать для выполнения научных исследований и образовательных целей. Оно обладает низкой стоимостью владения и позволяет получить навыки геоинформационного анализа. При выборе программного обеспечения для обучения важную роль играет наличие не только русификации интерфейса, но развитая техническая справка по программе на русском языке. Еще в 2011 г. для GvSIG и QGIS разработаны практикум [10], а Аксиома изначально является русскоязычной программой, для которой имеется полный комплект документации на русском языке.

2. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ЗЕМЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ЗЕМЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

2.1. Анализ внедрения цифровых технологий в АПК

В соответствии со ст. 14, 15 Кодекса Республики Беларусь о земле, собственность на землю, земельные участки, может быть государственной и частной. Земли сельскохозяйственного назначения находятся в государственной собственности [2].

За последние 10 лет прослеживается устойчивая тенденция сокращения площадей сельскохозяйственных организаций и увеличение площадей, находящихся в пользовании крестьянских (фермерских) хозяйствах (рис. 2.1).

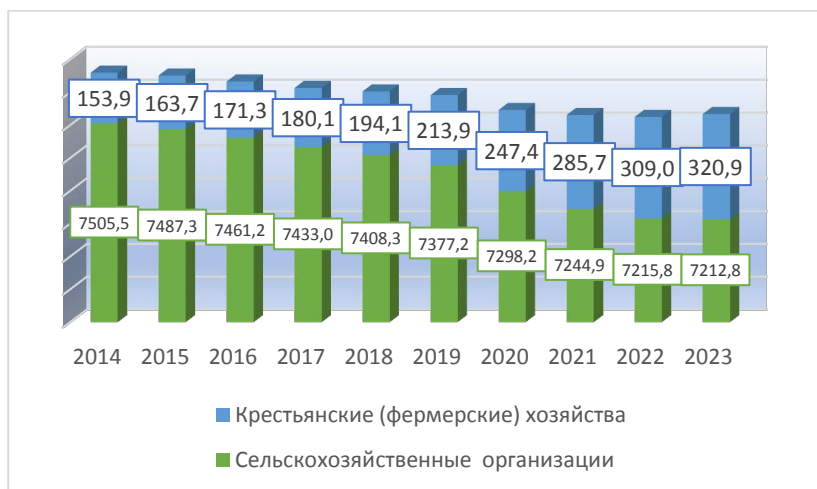


Рис. 2.1. Распределение сельскохозяйственных земель по категориям землепользователей, тыс. га

Так, за 10 лет площади земель, предоставленных крестьянским (фермерским) хозяйствам, увеличились более чем в 2 раза.

В стране по состоянию на 01.01.2024 г. общая площадь земель, находящаяся в пользовании сельскохозяйственных организаций, составляет 8701,1 тыс. га, в том числе земель сельскохозяйственного

назначения – 7212,8 тыс. га (82,9 %). Из них пахотных земель – 5000,3 тыс. га (69,3 %), луговых земель – 2184,8 тыс. га (30,3 %), под постоянными культурами – 27,7 тыс. га (0,4 %).

Общая площадь земель, находящаяся в пользовании крестьянских (фермерских) хозяйств, составляет 366,5 тыс. га, из них, под землями сельскохозяйственного назначения – 320,9 тыс. га (87,6 %). В том числе пахотных земель – 221,9 тыс. га (69,1 %), под постоянными культурами – 7,8 тыс. га (2,43 %), под луговыми землями – 91,2 тыс. га (28,4 %).

Следует отметить, что 83,1 % сельскохозяйственных земель Республики Беларусь сосредоточено именно у этих двух категорий землепользователей, в том числе пахотных земель – 69,3%, что свидетельствует о необходимости эффективного использования пахотных земель с учетом сохранения плодородия почв.

В целом, в стране 38,7 % – сельскохозяйственные земли, которые требуют достоверности при их учете, на постоянной основе проведения мероприятий по их рациональному использованию, систематическому мониторингу, проведению мероприятий по охране земель.

В настоящее время достоверность и оперативность получения и отслеживания указанной информации с целью выполнения вышеперечисленных мероприятий невозможно без использования геоинформационных систем (ГИС).

В Республике Беларусь отсутствует единый подход к обеспечению цифровым крупномасштабным планово-картографическим материалом сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств.

Наличие цифрового крупномасштабного материала позволит сформировать базу геоданных, что как следствие приведет к более точному учету и рациональному использованию земельных ресурсов сельскохозяйственных организаций, систематизации данных по полям севооборота, с возможностью правильного их расположения с учетом рельефа местности и др., что соответствует задачам государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы.

Цифровизация процесса внутрихозяйственного землеустройства с изготовлением крупномасштабной планово-картографической основы и базы геоданных сельскохозяйственной организации в Республике Беларусь, позволит осуществить переход к внедрению элементов системы точного земледелия.

Применение в комплексе элементов точного земледелия на территории сельскохозяйственной организации приведет к сокращению общих затрат на расходные материалы и позволит увеличить эффективность работы сельскохозяйственной организации.

В соответствии с [11], точное земледелие – управление продуктивностью посевов с учетом внутрислоевого вариативности среды обитания растений, которое включает 3 этапа:

- сбор информации о хозяйстве, поле, культуре, регионе;
- анализ информации и принятие решений;
- выполнение решений.

До настоящего времени, одним из самых распространенных и изученных этапов является первый этап.

Выполнение второго этапа – анализ информации и принятие решений, невозможно выполнить без наличия крупномасштабного планово-картографического материала на территорию сельскохозяйственной организации и сведений по внутрихозяйственной организации территории.

Наиболее быстрым и менее затратным можно обозначить способ получения цифрового планово-картографического материала на основе данных земельно-информационной основы Республики Беларусь.

Земельно-информационная система Республики Беларусь (ЗИС) – Государственная географическая информационная система, представленная комплексом программно-технических средств, баз пространственно-атрибутивных данных, каналов информационного обмена и других ресурсов и обеспечивающая автоматизацию накопления, обработки, хранения и предоставления сведений о состоянии, распределении и использовании земельных ресурсов в электронном виде, в том числе с использованием средств геоинформационных технологий [12].

Информационное содержание ЗИС представлено данными о границах административно-территориальных и территориальных единиц; о земельных участках, их границах и административно-территориальной принадлежности; о распределении земель по категориям и видам (подвидам, разновидностям), их мелиоративном состоянии; об ограничениях (обременениях) прав на земельные участки; текущих изменениях в составе и распределении земель и др. (рис. 2.2).

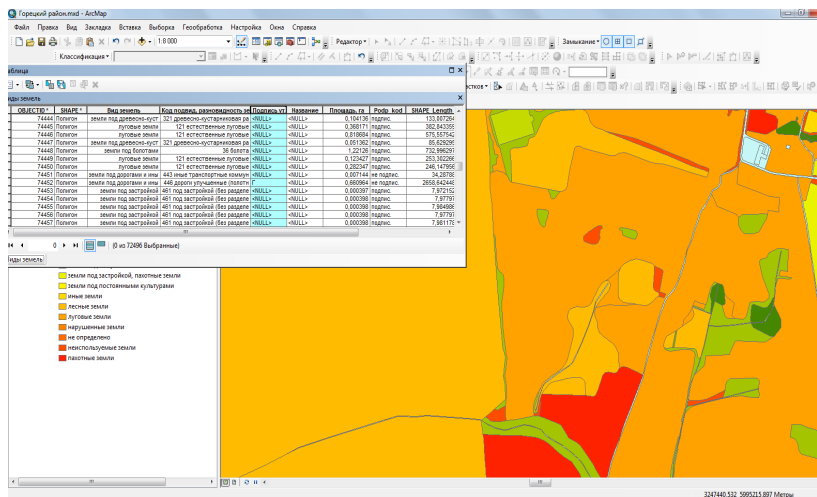


Рис. 2.2. Фрагмент земельно-информационной системы
Горечковского района

ЗИС Республики Беларусь приобретает широкое распространение в различных отраслях страны, но основным назначением ее остается обеспечение земельно-кадастровой отрасли страны, в основном для решения задач по информационному обеспечению и автоматизации землеустройства, при переводе земель из одних категорий и видов в другие и отнесения земель к определенным видам, при установлении (изменения) нефиксированных границ административно-территориальных и территориальных единиц, границ земельных участков и др.

Базы данных ЗИС создаются (обновляются) с геометрической точностью, обеспечиваемой точностью ортофотопланов, на основании которых оцифрованы объекты ЗИС. При этом базы данных ЗИС районов создаются (обновляются) по ортофотопланам масштаба 1:10 000 [6].

Планово-картографические материалы в аналоговом формате практически потеряли свою актуальность, поскольку ЗИС более мобильна и может актуализироваться даже в онлайн режиме, что для системы землеустройства весьма актуально при онлайн технологиях. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь на современном этапе своего развития не в полном объеме отвечает всем требованиям, для осуществления проекта внутрихозяйственного землеустройства в цифровом виде с последующим его использованием для внедрения элементов точного земледелия.

На территории страны, разработкой проектов внутрихозяйственного землеустройства занимаются предприятия, подведомственные Государственному комитету по имуществу Республики Беларусь – РУП «Проектный институт Белгипрозем» и его дочерние предприятия.

Проект включает текстовую и графическую (актуальная планово-картографическая основа) документацию, обосновывающую организацию и устройство территории сельскохозяйственных земель на ближайшую перспективу (до 5 лет).

Разработка проекта предусматривает актуализацию земельно-кадастрового плана, развитие и специализацию производственных центров, оптимизацию состава, структуры и размещения земель, формирование системы севооборотов, территориальную организацию пастбищного содержания скота, размещение объектов инженерного оборудования территории, обоснование эффективности проектируемых мероприятий.

В комплексе с проектом может изготавливаться Книга ведения севооборотов сельскохозяйственной организации, в которой размещена информация по каждому рабочему участку: его графическое изображение, площадь, балл плодородия, технологические характеристики, агрохимические показатели [13].

Следует отметить, что проекты внутрихозяйственного землеустройства разрабатываются на основе земельно-информационной системы Республики Беларусь, а следовательно, в масштабе 1:10 000, что в связи с цифровизацией отраслей агропромышленного комплекса и внедрением элементов системы точного земледелия требует изготовления крупномасштабной цифровой планово-картографической основы.

Обоснование эффективности создания цифровой крупномасштабной планово-картографической основы с использованием данных дистанционного зондирования Земли выполним с использованием сравнительного метода по созданию аналоговой и цифровой топографической карты.

Цифровые топографические карты и планы предназначены для удовлетворения нужд различных отраслей экономики страны. В настоящее время, применение цифровых технологий в АПК невозможно без наличия цифровой крупномасштабной планово-картографической основы, так как есть потребность в более точном определении местоположения отдельных контуров видов земель и их площадей на территории сельскохозяйственной организации.

Цифровые топографические карты и планы используются в навигационных системах и ГИС для автоматизированного решения тех же основных задач, что и государственные топографические карты, и планы.

Как известно, в АПК – основное средство производства являются земельные ресурсы сельскохозяйственной организации, независимо от направления развития отраслей сельскохозяйственной организации, они объединены (как правило) единой территорией, имеющей свою инфраструктуру.

Вопросы развития сельскохозяйственной отрасли, в том числе применение цифровых технологий, невозможно решить без наличия цифрового планово-картографического материала, созданного с необходимой точностью и детальностью.

Наличие крупномасштабного цифрового планово-картографического материала позволит выполнять четкий учет количественного и качественного состояния земель, мониторинг и качественный севооборот в организации, постоянно иметь актуальную информацию, что приведет к принятию управленческих решений в области повышения плодородия и деградации почв.

2.2. Методы создания цифровых крупномасштабных планов и карт. База геоданных

Топографические планы масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 создаются путем топографических съемок или картосоставлением (кроме масштаба 1:500) по материалам топографических съемок, как правило, более крупного масштаба [14].

Обобщенно, этапы создания топографической карты традиционными методами можно представить в виде основных этапов:

1. Полевое топографическое картографирование.
2. Тематические съемки.
3. Топографическое и тематическое дешифрирование имеющихся аэро- и космических снимков.
4. Камеральное картографирование.
5. Создание топографической карты местности.
6. Подготовка картографических материалов для изготовления цифровой топографической карты местности.

Цифровые карты местности в Республике Беларусь создаются в соответствии с ТКП 014-2005 (04030) Цифровые карты местности. Порядок создания и обновления цифровых топографических карт и планов [14]. В зависимости от наличия исходных материалов (в данном случае – цифровые топографические карты более крупного масштаба) для создания цифровой топографической карты, этапы создания цифровой топографической карты детально представлены следующей технологической схемой (рис. 2.3).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА
создания цифровых топографических карт по цифровым топографическим картам
более крупного масштаба

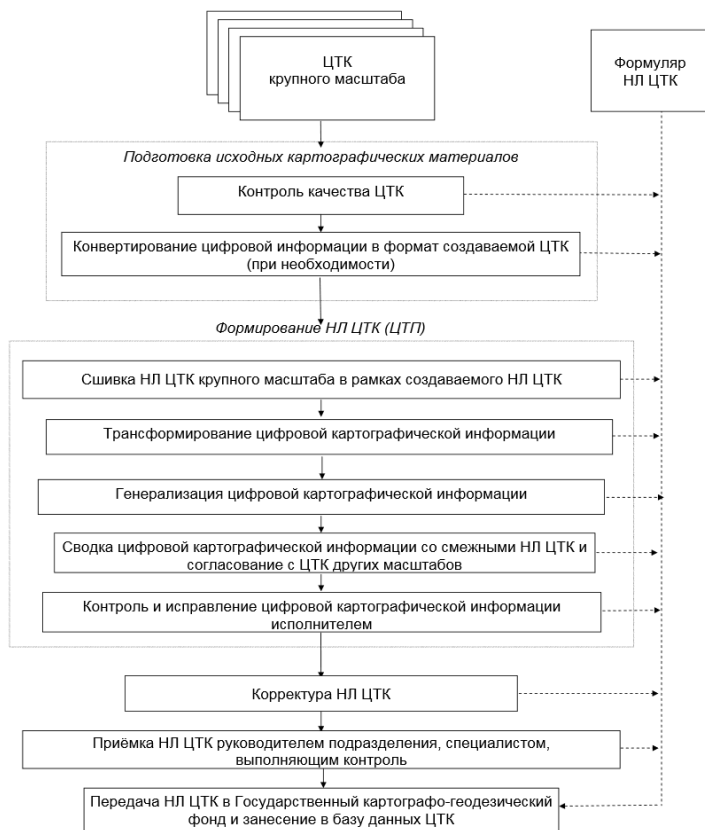


Рис. 2.3. Технологическая схема создания цифровых
топографических карт

В настоящее время в производстве в качестве основных используются цифровые способы получения топографической информации о местности.

Одним из наиболее эффективных методов получения информации в цифровом виде является использование материалов аэро- и космосъемки. Полученная информация хранится и передается пользователям в цифровой форме.

В качестве источника получения информации возможно использование результатов космической съемки. Преимущества материалов дистанционного зондирования Земли (в данном случае – материалов космосъемки) относительно других источников, используемых для составления планово-картографических материалов представлены на рис. 2.4.

- Обзорность космических изображений — от глобального охвата до десятков километров при детальной съемке обеспечивает экономичное картографирование обширных пространств.
- Съемка из космоса одной и той же территории с разным разрешением и генерализацией позволяет параллельно создавать и обновлять карты разных масштабов, избавляя от необходимости составлять карты более мелких масштабов по крупномасштабным, что неизбежно удлиняло процесс картографирования.
- Центральная проекция, в которой строится изображение, при большой высоте центра проектирования близка к ортогональной, что упрощает фотограмметрическую обработку при создании карт.
- Повторные съемки с заданной периодичностью обеспечивают динамическое картографирование и мониторинг быстро меняющихся во времени процессов и явлений.
- Обеспечивается картографирование труднодоступных районов — пустынь, высокогорий, полярных островов, решается проблема съемки других планет и их спутников.
- Выразительность и наглядность космических снимков обусловили появление новых видов картографической продукции — фотокарт и спутниковых карт биофизических характеристик земной поверхности.
- Комплексное отображение на одном снимке всех компонентов земных ландшафтов способствует наиболее правильной передаче пространственных взаимосвязей картографируемых объектов.

Рис. 2.4. Преимущества использования космоснимков

Крупномасштабная топографическая съемка является самым массовым и востребованным видом работ в составе инженерно-

геодезических изысканий, обновлении топографических карт и планов, составлении генеральных планов и рабочих чертежей, планировании и проектировании ландшафтного дизайна и решении вопросов вертикальной планировки.

Несмотря на быстрое развитие методов дистанционного зондирования с космических аппаратов, аэрофотосъемка остается одним из основных способов создания и обновления крупномасштабных карт и планов. Наряду с традиционными методами аэрофотосъемки все более востребованной становится съемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Получаемые в результате беспилотной аэрофотосъемки цифровые ортофотопланы с наполнением векторными данными и привязкой к внешним базам данных используются как конечный продукт в геоинформационных системах (ГИС), так как и плановая основа для создания цифровых топографических планов и карт. В последнем случае к геометрической точности отображения элементов местности на ортофотоснимках предъявляются достаточно высокие требования, определяемые действующими нормативными документами.

В настоящее время, одним из самых эффективных и доступных методов получения пространственных данных для целей крупномасштабного картографирования с разрешением до 1 см, остается аэрофотосъемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

При использовании БЛА возможно получение таких выходных продуктов, как: ортофотоплан, облако точек, цифровые модели местности и рельефа и др.

Следует отметить, что получение материалов аэрофотосъемки с использованием БЛА, позволяет снизить стоимость и трудовые затраты на проведение топографических работ для изготовления цифровой крупномасштабной картографической основы (рис. 2.5).

При необходимости, цифровые планово-картографические материалы, созданные на основе материалов аэрофотосъемки, возможно дополнить наземными методами съемки. Планово-картографические материалы, которые получают в результате оцифровки данных БЛА является наиболее актуальным, оперативным и достоверным материалом.

В Республике Беларусь выполнением аэросъемочных работ с использованием БЛА для целей землеустройства, комплексных кадастровых работ, цифрового картографирования и др. занимается Республиканское дочернее аэрофотогеодезическое предприятие «БелПСХАГИ».

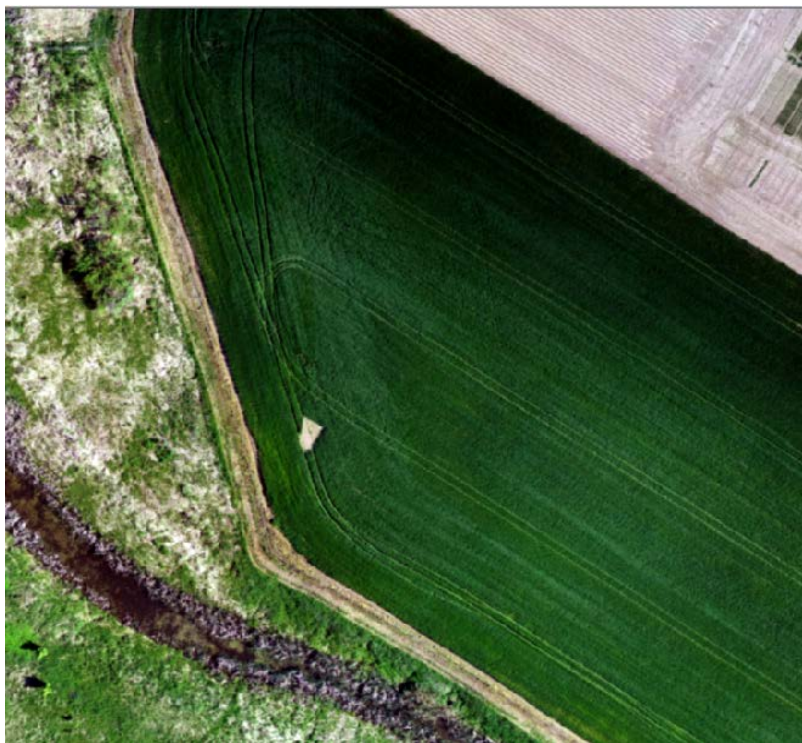


Рис. 2.5. Фрагмент ортофотоплана, полученного по данным съемки с БЛА

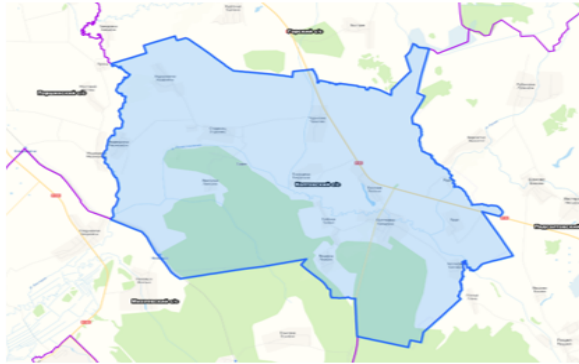
Объектом исследований является ОАО «Коптевская Нива» Горьковского района Могилевской области. Для выполнения аэрофотосъемочных работ было составлено техническое задание (рис. 2.6).

По результатам создания крупномасштабной цифровой планово-картографической основы сельскохозяйственной организации, есть необходимость в формировании базы геоданных, которая будет содержать информацию о площадях контуров земель, сведения о вкрапленных контурах, их местоположении с точностью созданной планово-картографической основы, сведения о рельефе местности, информацию о наличии и содержании агрохимических показателей почвы, ее кислотности и др.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Цель работ – комплекс работ по дистанционному зондированию Земли (аэрофотосъемочные работы) с помощью беспилотного летательного аппарата и обработке материалов дистанционного зондирования Земли (комплекс работ по созданию цифровых ортофотопланов) на части территории

ОАО «Коптевская Нива» Горьковского района Могилевской области



Технические характеристики объекта:

Площадь объекта – 98 кв. км;

Пространственное разрешение – до 5 см на местности;

Продольное перекрытие изображений – 70 %;

Поперечное перекрытие изображений – 50%;

Система координат – WGS 84;

Спектральные каналы изображений: RGB 8 bit.

В ходе выполнения работ должны быть получены:

1. Геопривязанные цифровые ортофотопланы на часть территории ОАО «Коптевская Нива» Горьковского района Могилевской области в масштабе 1:1 000 в системе координат WGS84 в условной разграфке в формате TIFF с приложенным текстовым файлом геопривязки TFW;

2. Результаты работ передаются на носителях цифровой информации, предоставленных Заказчиком.

Заказчик

МП

Подрядчик

МП

Рис. 2.6. Техзадание на выполнение аэрофотосъемочных работ

Указанная информация дает возможность в полном объеме оценить рациональное использование земельных массивов, рассчитать затраты на обработку конкретного массива, а также вычислить достоверно урожайность сельскохозяйственных культур. Крупномасштабная цифровая планово-картографическая основа, созданная на земли сельскохозяйственной организации с базой геоданных позволит наиболее опе-

ративно внедрить элементы системы точного земледелия и подготовить пространственную основу для заинтересованных сторон.

Для повышения эффективности использования земельно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций необходимо оперативная и актуальная планово-картографическая информация. Основным источником для агропромышленного комплекса может стать земельно-информационная система Республики Беларусь, в частности Геопортал ЗИС Республики Беларусь. Однако точность создания ЗИС не в полной мере обеспечивают возможности внедрения инновационных технологий в аграрное производство.

2.3. Точность создания цифрового планово-картографического материала

Рассмотрим точность создания цифрового планово-картографического материала на основе ЗИС Республики Беларусь с использованием материалов сельскохозяйственной организации Горецкого района Могилевской области ОАО «Коптевская Нива».

В соответствии с материалами статьи [15], средняя квадратическая ошибка вычисления площади в ЗИС по группам единиц определяется по формуле

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta P^2}{2n}},$$

где ΔP – абсолютное несовпадение площадей полей севооборота, определяемым с использованием различных планово-картографических материалов на территории сельскохозяйственной организации;

n – количество полей севооборота на территории сельскохозяйственной организации.

Средняя квадратическая ошибка положения контурной точки рассматриваемого площадного объекта с учетом вычисленной ранее средней квадратической ошибки площади (m_p) можно определить по формуле

$$m_t = \pm \frac{m_p}{\sqrt{2P}},$$

где P – площадь отдельного поля севооборота.

Результаты вычислений приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Вычисление абсолютной ошибки по группам контуров видов земель

№ контура (рабочего участка)	Площадь фактическая, га	Площадь из материалов ЗИС, га	Абсолютное несовпадение ΔP , га	ΔP^2 , га
1	2	3	4	5
1	6,5	6,5	0	0
2	26,2	26,2	0	0
3	184	183,7	0,3	0,09
4	2,6	2,9	-0,3	0,09
5	257	256,6	0,4	0,16
6	321,4	321,4	0	0
7	175,6	175,4	0,2	0,04
8	134,1	134,4	-0,3	0,09
9	38,6	38,6	0	0
10	233	232,9	0,1	0,01
11	228,1	227,5	0,6	0,36
12	74,4	74,5	-0,1	0,01
13	4,3	4,3	0	0
14	50,8	50,9	-0,1	0,01
16	7,7	7,7	0	0
17	15,9	15,9	0	0
18	45,4	45,3	0,1	0,01
19	30,8	30,7	0,1	0,01
20	92,8	92,1	0,7	0,49
21	29,2	29,2	0	0
22	32,9	32,8	0,1	0,01
23	213,7	211,7	2	4
24	123,5	122,9	0,6	0,36
25	230,2	230,5	-0,3	0,09
26	239	238,2	0,8	0,64
27	59,8	59,7	0,1	0,01
28	80,9	81	-0,1	0,01
29	156,4	156,2	0,2	0,04
30	26,3	26,3	0	0
31	159,9	159,7	0,2	0,04
32	0,9	0,9	0	0
33	5,9	5,9	0	0
34	44,4	44,4	0	0
35	11,8	11,8	0	0
36	152,7	152,4	0,3	0,09
37	8,8	8,8	0	0
38	5,8	5,8	0	0
39	25,9	26	-0,1	0,01
40	52,5	52,5	0	0
41	57,6	57,7	-0,1	0,01

1	2	3	4	5
42	22,4	22,4	0	0
43	23,3	23,2	0,1	0,01
44	25,6	25,6	0	0
45	118,9	118,8	0,1	0,01
46	40,6	40,6	0	0
47	27,1	27,1	0	0
48	37,2	37,2	0	0
49	301,6	302,1	-0,5	0,25
Итого...	4244,0	4238,9	+5,1	6,95

Выполнив расчеты, получаем следующие результаты:

$$m_p = \pm 0,27 \text{ га};$$

$$m_t = \pm 28,3 \text{ м.}$$

Анализируя результаты проведенных вычислений, можно сделать следующие выводы.

Средняя квадратическая ошибка определения площади земель сельскохозяйственной организации по материалам ЗИС (масштаб 1: 10 000) составляет $\pm 0,27$ га, при этом точность определения контурной точки поля севооборота составляет $\pm 28,3$ м, что оказывает существенное влияние на точность определения площадей полей севооборота.

Следует отметить, что на пахотных землях сельскохозяйственных предприятий проходят линии электропередач, газопроводы, которые не отображаются на планово-картографических материалах масштаба 1:10 000. Наземные объекты таких коммуникаций (столбы, колодцы) являются препятствиями при обработке почвы. В среднем на 100 га пахотных земель приходится от 5 до 20 таких объектов. Данные объекты не учтены при определении площадей полей севооборотов.

В настоящее время выполняются работы по установлению границ земельных участков предприятий подведомственных Министерству энергетики страны. Поворотные точки границ земельных участков под столбами ЛЭП определяются с средними квадратическими погрешностями (0,05 м) соответствующим топографическим планам масштаба 1:500.

При внедрении систем параллельного вождения точность определения координат машинно-тракторных агрегатов (МТА) находится на уровне 0,01 м. Следовательно препятствия на пути МТА при обработке

посевов должны быть определены с такой же погрешностью, т. е. соответствующей масштабу 1:500.

Таким образом, учитывая высокую плотность вкрапленных контуров и иных препятствий, картографическую основу следует создавать с детальностью и точностью, соответствующей масштабу не мельче 1:2000, но все препятствия на полях, являющиеся твердыми контурами, должны быть определены с детальностью и точностью масштаба 1:500, что доказывает целесообразность и необходимость изготовления крупномасштабной планово-картографической основы в цифровом формате.

Вопрос создания и внедрения баз геопространственных данных остается открытым и основным источником является данные, получаемые при съемке территории с БЛА в комплексном применении с геоинформационными технологиями.

База данных ЗИС Республики Беларусь включает пространственные и атрибутивные данные [6, 16].

Формирование пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства предполагает наличие не только цифрового планово-картографического материала, но и наличие атрибутивных данных как об отдельных объектах, так и их элементах.

Для эффективного функционирования сельскохозяйственной организации в период ее цифровой трансформации, постоянно увеличивается потребность в информации об объектах, в том числе и в отношении земельных ресурсов.

Технологии получения цифровых данных о земельных ресурсах различны: картографирование территории с использованием геодезического оборудования, получение материалов по результатам аэрофотосъемки, космосъемки, оцифровка аналогового картографического материала и др.

При внедрении информационных технологий с целью наглядности и большей информативности, необходимо использование данных о земельных ресурсах сельскохозяйственной организации комплексно, а не изолированно друг от друга.

Но требования к высокотехнологичным производственным процессам требуют наличия не только цифрового планово-картографического материала, но и атрибутивных данных, не только количественных, но и качественных, что увеличивает объем информации.

Увеличение объема информации, в том числе и пространственной требует создания ресурса для ее хранения и дальнейшего использования. Одной из основных форм формирования, хранения, предоставления, использования данных являются базы геоданных.

База геоданных – организованный, структурированный и системный ресурс, который позволяет решать системные задачи, проводить системный анализ, формировать информационные модели объектов, процессов и ситуаций [3].

В связи с этим требуется разработка методики создания (обновления) геопространственных баз данных в контексте цифровизации процесса внутрихозяйственного землеустройства с изготовлением крупномасштабной планово-картографической основы и базы геоданных на земли сельскохозяйственных организаций в Республике Беларусь, что позволит осуществить переход к внедрению элементов системы точного земледелия и повышения эффективности использования земельных ресурсов.

3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ГЕОДАННЫХ

Рассмотрим этапы формирования базы геоданных (Земельно-информационной системы «Коптевская Нива») на земли сельскохозяйственной организации с наполнением ее тематическим цифровым планово-картографическим материалом.

Задача – получить БД, отражающую качественные и количественный состав земель ОАО «Коптевская Нива» с точностью плана, выполненного в масштабе 1:10000.

Работы производили с помощью ГИС ArcGIS версии 10.4. Основой работы послужили снимки земной поверхности, полученные с помощью белорусского космического аппарата ДЗЗ – БелКА. Доступ к ним предоставлен через FTP-сервер на основании договора № 10/2024-ДЗЗ/Б от 25.10.2024 г.

При выгрузке снимков на определенную территории к ним идет шейп-файл, отображающий границы территории съемки. Шейп-файл – это простой, нетопологический формат для хранения геометрического местоположения и атрибутивной информации географических объектов. Географические объекты могут быть представлены точками, линиями или полигонами (площадями). Рабочая область, содержащая шейп-файлы, также может содержать таблицы dBASE, в которых могут храниться дополнительные атрибуты, которые можно присоединить к объектам шейп-файла (рис. 3.1).

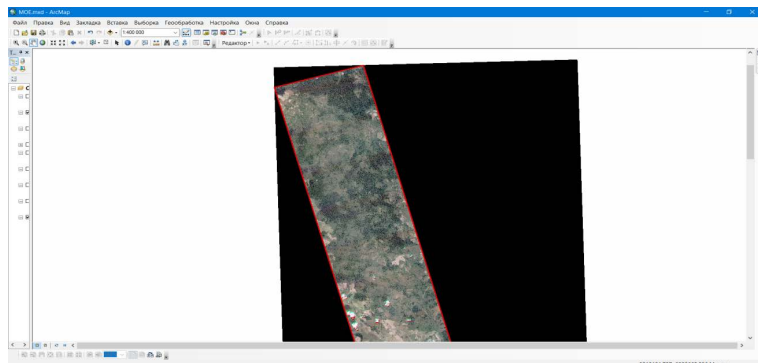
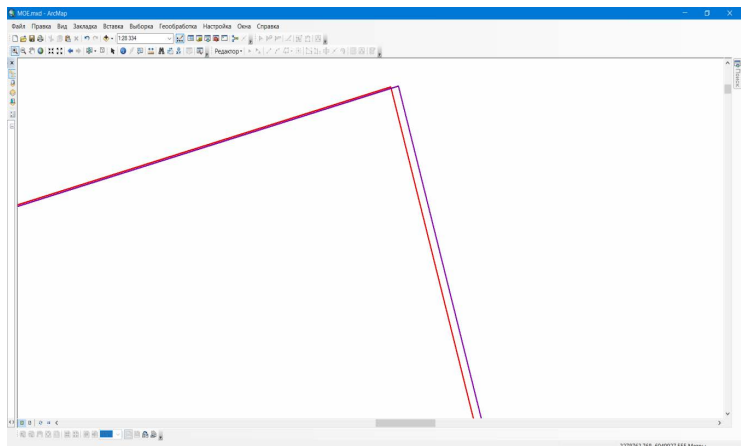


Рис. 3.1. Отображение снимка (БелКА) в системе координат WGS-1984

Вышеуказанные снимки и шейп-файлы находятся в системе координат WGS-1984. В начале работ перепроецируем изображение в си-

Результат проекции границ снимка указан ниже (красная линия – WGS-1984, фиолетовая – Pulkovo_1942) (рис. 3.3).



44

Далее приступили к привязке снимка. Для этого, используя инструмент **Пространственная привязка**, добавить **опорные точки**, соединяем вершины границ снимка и шейпа (рис. 3.4).

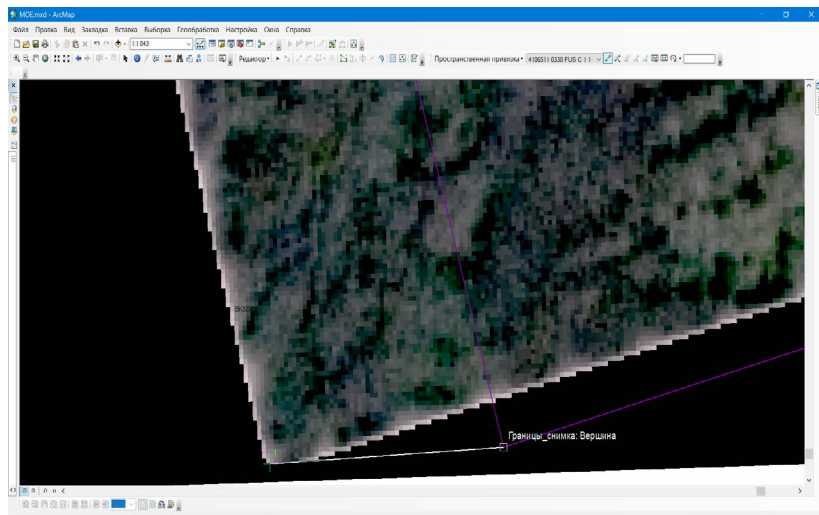


Рис. 3.4. Диалоговое окно соединения вершины границ снимка и шейп-файла

Получаем таким образом опорную точку, повторяем действия.

Путем трансформирования снимков получаем итоговый снимок в нужной нам системе координат (рис. 3.5).

Для получения цифровой планово-картографической основы на территорию сельскохозяйственной организации ОАО «Коптевская Нива», подключаем привязанный снимок и трансформированную карту границ ОАО «Коптевская Нива».

Границы полей оцифровали на базе информации, которая отображена на картах с учетом фактического отображения земной поверхности (Использован космоснимок БелКА).

Создаем слой шейп-файла **«границы»**, содержащий виды земель ОАО «Коптевская Нива». Начинаем редактирование и создание полигона (границ земель) (рис. 3.6).

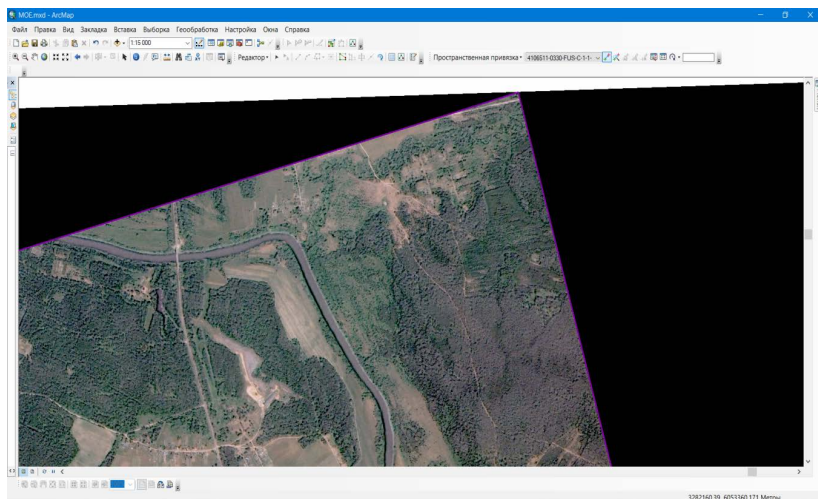


Рис. 3.5. Диалоговое окно с перепроецированным снимком



Рис. 3.6. Диалоговое окно с процессом нанесения границ землепользования

Повторяем действия на всей территории сельскохозяйственной организации. Итоговый результат оцифровки представлен ниже (рис. 3.7).

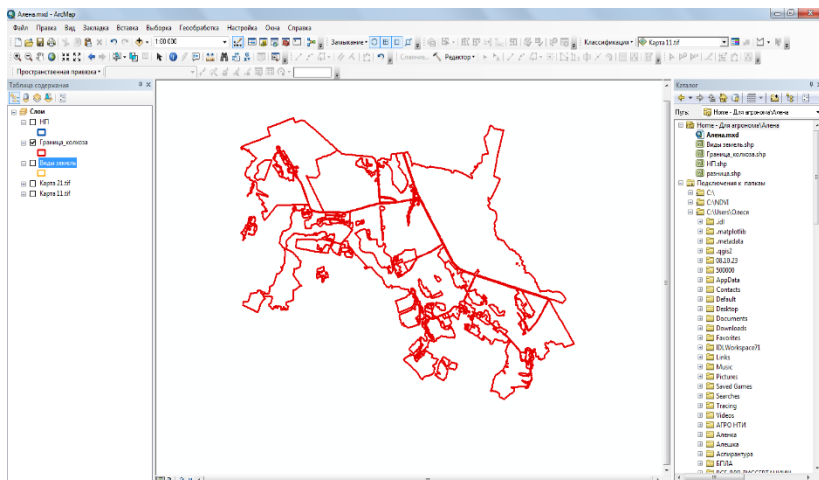


Рис. 3.7. Диалоговое окно с изображением границ землепользования

После создания общей границы хозяйства копируем данный слой в слой **Виды земель**, где отобразим качественный и количественный состав в разрезе видов земель Республики Беларусь (ст. 7 Кодекса о земле Республики Беларусь [2]). Далее выполнили оцифровку снимка в разрезе видов земель.

Векторизация растровых данных производится путем использования опции «Редактирование». Редактирование осуществляется в сеансе редактирования. В течение сеанса редактирования можно создавать или изменять векторные объекты или их атрибуты. Если необходимо что-нибудь отредактировать, то нужно начать сеанс редактирования (start edit session) и завершить его (end edit session), когда редактирование будет завершено. Редактирование выполняется для одной рабочей области в одном фрейме данных в ArcMap, где рабочая область может представлять базу геоданных или папку с шейп-файлами. Если в рабочем проекте более одного фрейма данных, можно осуществлять редактирование слоев только одного из них, даже если все данные хранятся в одной рабочей области. Несмотря на возможность производить редактирование данных в различных системах координат, наиболее целесообразным является одновременное редактирование классов объектов, имеющих одинаковую с фреймом данных систему координат.

Результат дешифрирования по видам земель представлен на рис. 3.8.

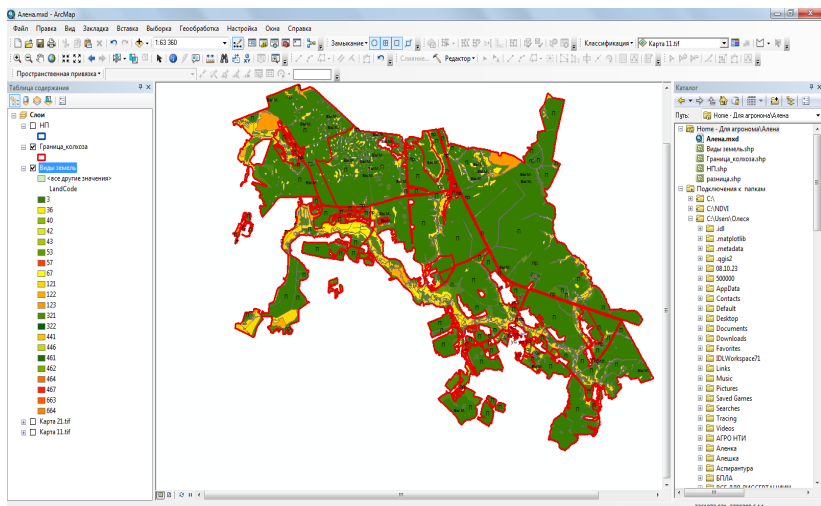


Рис. 3.8. Диалоговое окно с изображением видов земель в границах землепользования

Отдельно, для удобного ориентирования на местности, нанесли границы населенных пунктов на территории сельскохозяйственной организации (рис. 3.9).

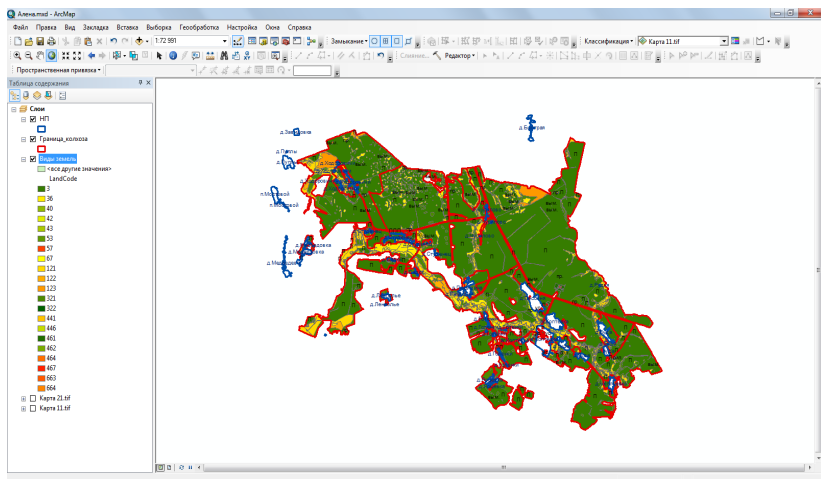


Рис. 3.9. Диалоговое окно с нанесенными границами АТЕ и ТЕ

По результатам оцифровки установлено, что общая площадь земель ОАО составляет 5761,1206 га в разрезе видов земель (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Видовой состав земель ОАО «Коптевская Нива»

№	Вид земель	Площадь, га	% от площади
1	Пахотные земли	4056,0231	70,40
2	Луговые земли	580,9739	10,08
3	Земли под древесно-кустарниковой растительностью (насаждениями)	692,3238	12,02
4	Земли под болотами	264,2874	4,59
5	Земли под поверхностными водными объектами (водотоки- реки, каналы, ручьи)	60,8843	1,06
6	Земли под поверхностными водными объектами (водоемы-озера, пруды)	9,2063	0,16
7	Земли под дорогами и иными транспортными коммуникациями	16,0718	0,28
8	Земли под застройкой	27,5212	0,48
9	Неиспользуемые земли	51,3382	0,89
10	Иные земли (бровки)	2,4907	0,04
Итого...		5761,1206	100,00

Далее переходим к созданию базы геоданных.

Для этого открываем ArcCatalog ГИС ArcGIS и создаем персональную базу геоданных ЗИС_ОАО_Коптевская_Нива в своей рабочей папке (рис. 3.10).

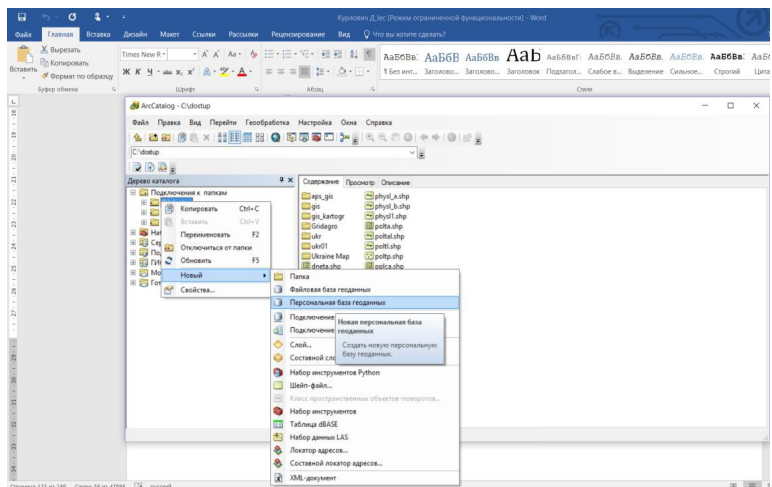


Рис. 3.10. Рабочее окно с выбранной функцией создания персональной базы геоданных

В созданной базе геоданных «ЗИС_Коптевская_Нива» создали набор классов пространственных объектов **Агрохимия**. Для этого щелкнули правой кнопкой мыши по базе геоданных «ЗИС Горки» и выбрали путь: «Новый» – «Набор классов объектов» (рис. 3.11).

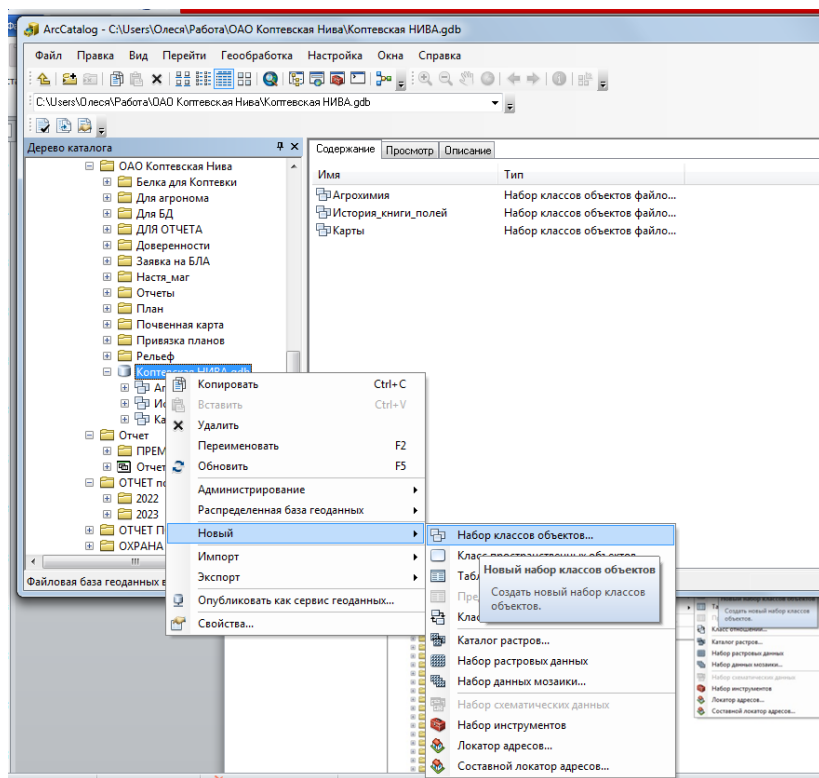


Рис. 3.11. Рабочее окно с выбранной функцией создания набора класса пространственных объектов

В появившемся диалоговом окне в поле «Имя» указали «**Агрохимия**» и нажать кнопку «Далее». Систему координат импортировали со слоя Lots земельно-информационной системы Горьковского района. Система координат на исследуемую территорию создается в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, вычисляемой в трехградусных зонах по параметрам эллипсоида Красовского, в прямоугольной системе координат 1963 г. (СК-63).

Далее в созданной базе геоданных «ЗИС Коптевская Нива» по аналогии с набором классов пространственных объектов **Агрохимия** создали набор классов пространственных объектов **Карты, Истории книги полей, Рельеф, почвенные карты** (рис. 3.12).

В наборе классов пространственных объектов **Агрохимия** создали следующие классы пространственных объектов **фосфор, калий, кислотность, гумус**.

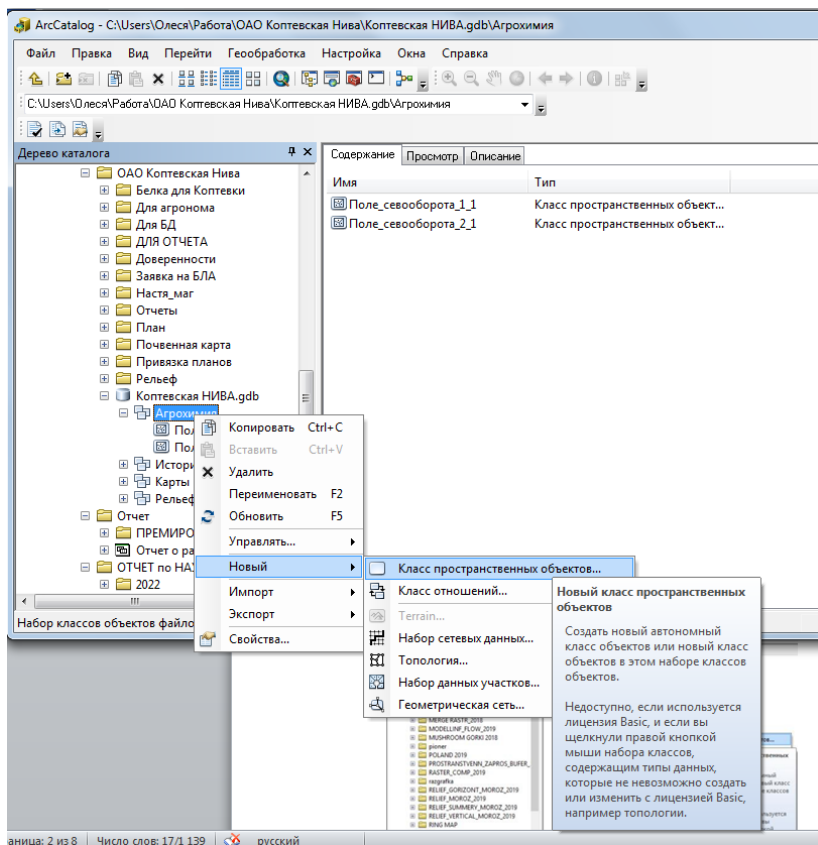


Рис. 3.12. Диалоговое окно создания класса пространственных объектов

Таким образом, создали наборы классов и наполнили их классами пространственных объектов (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Перечень наборов и классов пространственных объектов

№ п/п	Набор классов пространственных объектов	Классы пространственных объектов
1	Агрохимия	фосфор
		калий
		кислотность
		Гумус
2	История книги полей	2021
		2022
		2023
		2024
3	Карты	границы полей
		картограмма кислотности (карта 1)
		картограмма кислотности (карта 2)
4	Рельеф	Горизонтالي
		Уклоны
		Экспозиции
5	Почвенные карты	Почвы (контуры почвенных разностей)
		Почвы (подстиление)
		Почвы (увлажнение)

В диалоговом окне создаваемого класса пространственных объектов указали имена, псевдонимы для создания классов пространственных объектов (рис. 3.13).

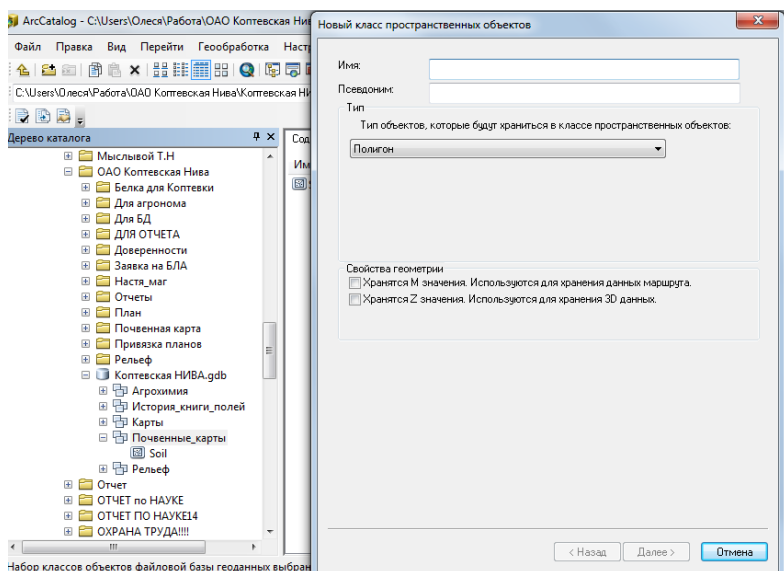


Рис. 3.13. Порядок создания класса пространственных объектов

В результате выполненных действий в диалоговом окне каталога появятся следующие классы пространственных объектов (рис. 3.14).

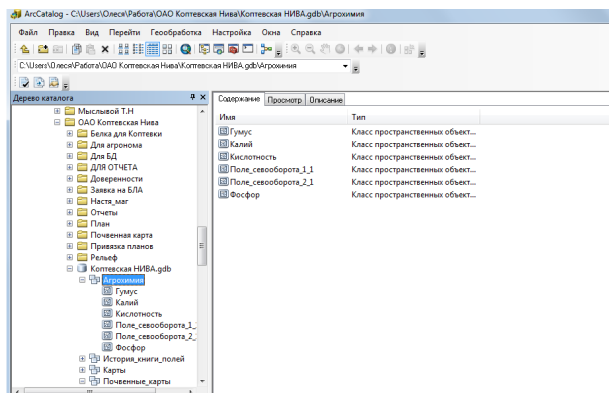


Рис. 3.14. Рабочее окно с созданными классами пространственных объектов в наборе классов пространственных объектов «Агрохимия»

Создали поля атрибутивной таблицы для класса пространственных объектов **Фосфор** из набора классов пространственных объектов **Агрохимия** (рис. 3.15).

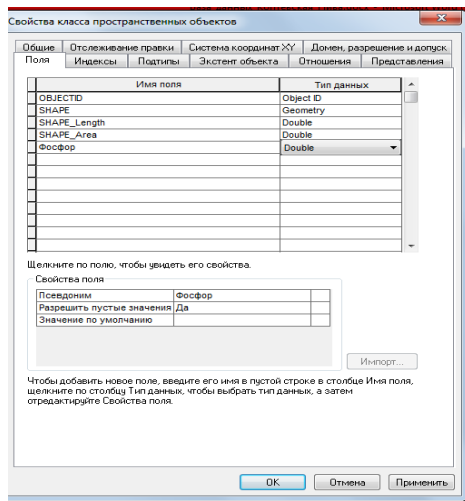


Рис. 3.15. Диалоговое окно с созданными полями атрибутивной таблицы класса пространственных объектов «Фосфор»

После создания Базы данных запустили ArcMap и загрузили «ЗИС_Коптевская_Нива». В каждый класс пространственных данных загрузили границы полей сельскохозяйственной организации (рис. 3.16).

Рис. 3.16. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации

Заполнили таблицы атрибутов по каждому агрохимическому показателю (среднее значение) и визуализировали данные (рис. 3.17).

Рис. 3.17. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации по средней кислотности на каждом поле севооборота

Однако картограммы кислотности представлены в разрезе элементарных участков. В связи с чем каждое поле разрезали на элементарные участки и детализировали значения показателей (рис. 3.18).

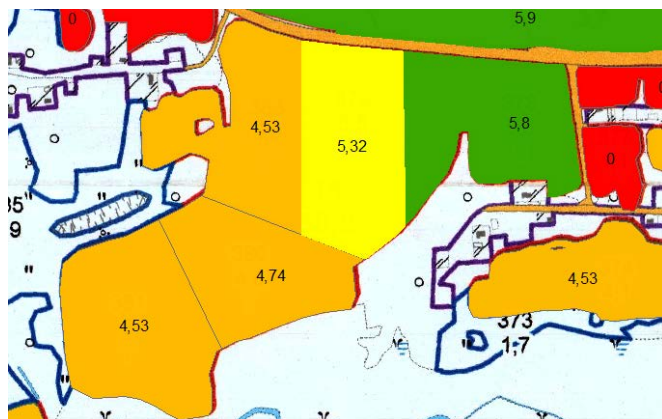


Рис. 3.18. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации по средней кислотности в разрезе элементарных участков

Аналогично выполнили с калием, фосфором и гумусом (рис. 3.19–3.21).

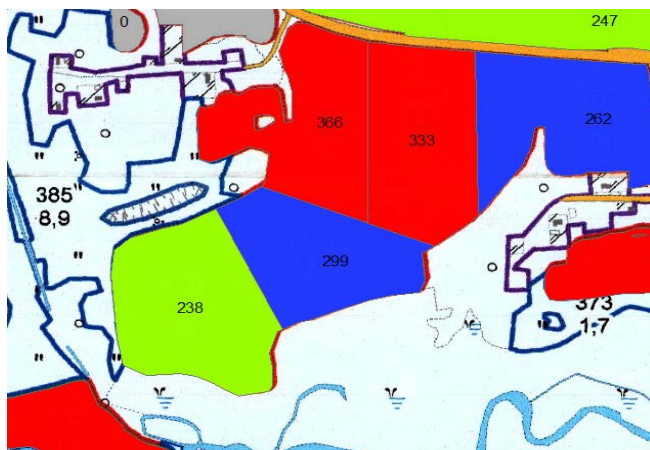


Рис. 3.19. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации по содержанию фосфора в разрезе элементарных участков

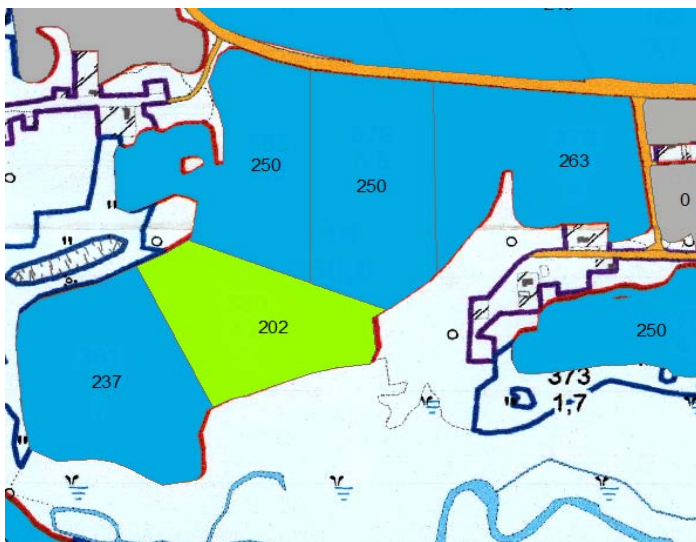


Рис. 3.20. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации по содержанию калия в разрезе элементарных участков

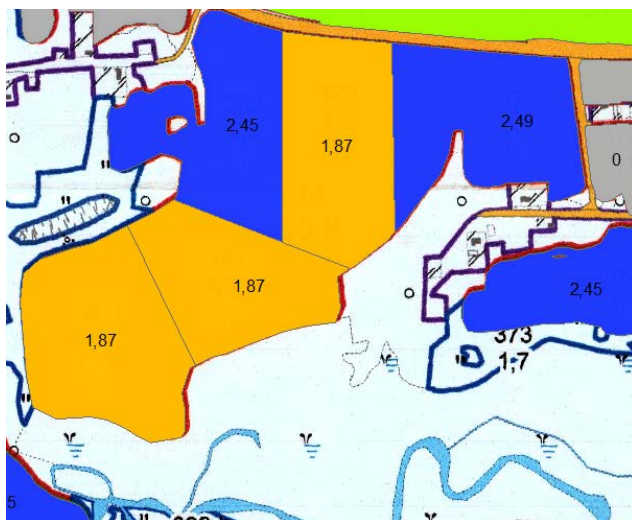


Рис. 3.21. Диалоговое окно с загрузкой границ полей сельскохозяйственной организации по содержанию гумуса в разрезе элементарных участков

На территорию сельскохозяйственной организации из материалов Земельно-информационной системы Горьковского района получена почвенная карта в цифровом виде, которая является составной частью базы геоданных (рис. 3.22).

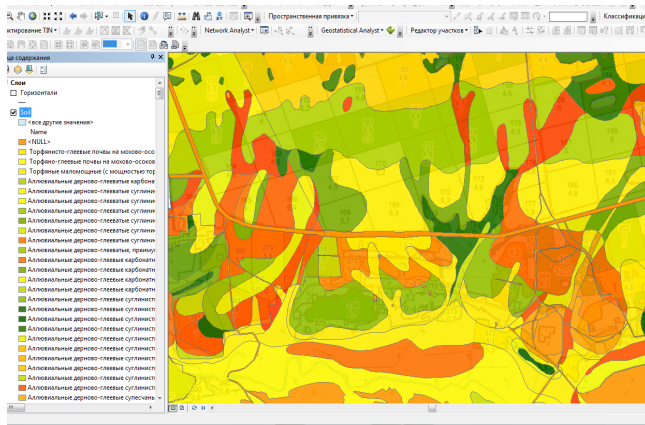
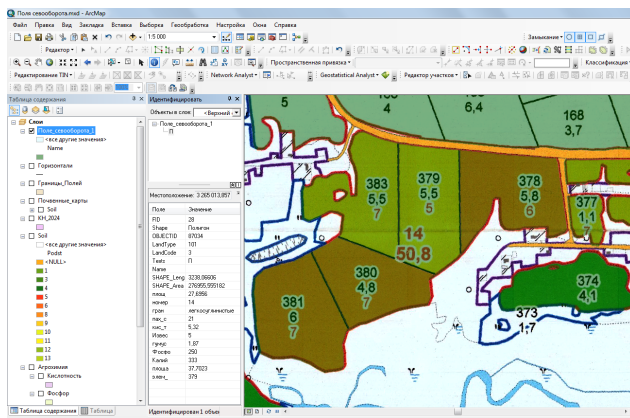


Рис. 3.22. Фрагмент почвенной карты с указанием почвенных разновидностей

Созданная на территории сельскохозяйственной организации база геоданных с цифровым планово-картографическим материалом позволяет получать наглядную, количественную и качественную информацию о любом поле севооборота (рис. 3.23).



При размещении полей севооборота, с целью исключения смыва питательных веществ, содержащихся в почве, а также исключения процесса эрозии необходимо учитывать рельеф местности.

В настоящее время наиболее востребованными при цифровом картографировании являются цифровые модели рельефа (ЦМР).

Получение высокоточной модели рельефа на сельскохозяйственное предприятие представляет собой трудоемкий и длительный процесс. На этапе предварительных исследований рельефа можно ограничить анализом фрагмента глобальной модели рельефа на рассматриваемый объект.

4. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

4.1. Теоретические аспекты формирования цифровой модели рельефа

Квази-глобальные цифровые модели рельефа (ЦМР) SRTM DEM [17] и ASTER GDEM [13] с разрешением 1" (~30 м на экваторе) были созданы по материалам космических съемок. ASTER GDEM была создана на основе стереоснимков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, полученных сенсором ASTER с борта КА Terra. На протяжении многих лет эти ЦМР доступны бесплатно через сеть Интернет и, в этой связи, широко применяются в науках о Земле, в частности – для моделирования рельефа при проведении почвенных, геоморфологических, геоботанических и геологических исследований [18, 19]. Недавно стала доступны и другие квази-глобальные ЦМР. Среди них AW3d30 DSM [20] с разрешением 1", созданная на основе стереоснимков в видимом диапазоне спектра, полученных сенсором PRISM с борта КА ALOS. Эту ЦМР рассматривают как альтернативу SRTM DEM и ASTER GDEM. С развитием миссии Copernicus Европейского космического агентства появилась квази-глобальная цифровая модель рельефа COPDEM 30. Используя методы машинного обучения, в модели COPDEM 30 были устранены погрешности высот, связанные с наличием зданий и деревьев. В результате такой корректировки был получен набор данных FABDEM. Этот набор данных доступен в диапазоне от 60° Ю.Ш. до 80° С.Ш. с пространственным разрешением 1 угловая секунда (~30 м).

Несмотря на наличие моделей с лучшим пространственным разрешением и с меньшей погрешностью высот, их использование вызывает сложности. Сами модели представлены на сайтах западных организаций. Модель COPDEM 30 представлена на сайте Европейского космического агентства. Но администрацией сайта запрещен доступ с территории Республики Беларусь к большинству размещенных там данных. По этой причине для дальнейших исследований использовались данные SRTM1 DEM.

В основе большинства современных DEM лежат данные радиолокационной интерферометрии в С- и Х-диапазонах частот сантиметровых длин волн, полученные радаром с борта космического аппарата.

Аббревиатура SRTM расшифровывается как Shuttle Radar

Topographic Mission – радиолокационная топографическая миссия шаттла. Речь идет о миссии STS-99, выполненной в феврале 2000 г. космическим челноком «Endeavour». В течение 11 дней, с 11 по 22 февраля 2000 г., «Endeavour» выполнял радиолокационную съемку, совершив 176 витков вокруг Земли. Внешний вид съемочной аппаратуры Space Shuttle Endeavour представлен на рис 4.1.

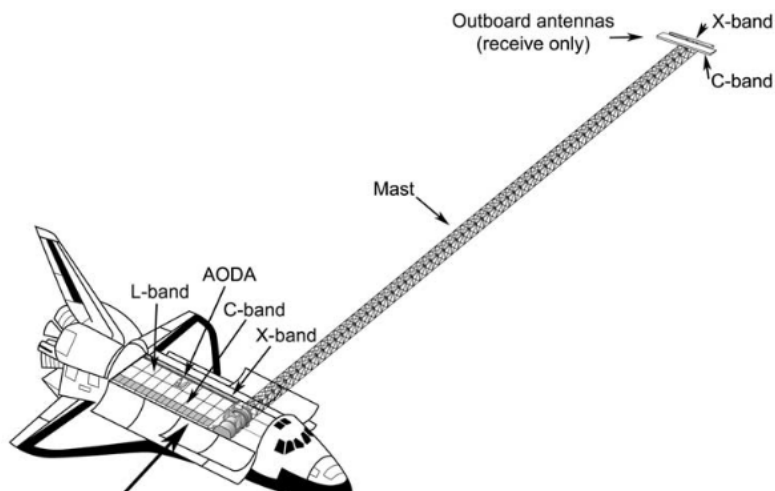


Рис. 4.1. Внешний вид аппаратуры, установленной на космическом корабле Space Shuttle Endeavour, используемой при создании модели рельефа SRTM

По результатам длительной обработки материалов съемки сформирована модель рельефа SRTM в растровом формате с размерами трапеции $1^\circ \times 1^\circ$ (рис. 4.2). Сейчас доступна третья поколение результатов обработки данных. По мере выхода новых редакций модели улучшалось пространственное разрешение и повышалась точность модели.

В первой редакции модели высокое пространственное разрешение (30 м) было реализовано только для территории США. В последующих моделях оно стало доступно для всего мира. Также примерно в два раза были снижены относительные погрешности высот, в настоящее время они составляют порядка 5–7 м для европейской части.

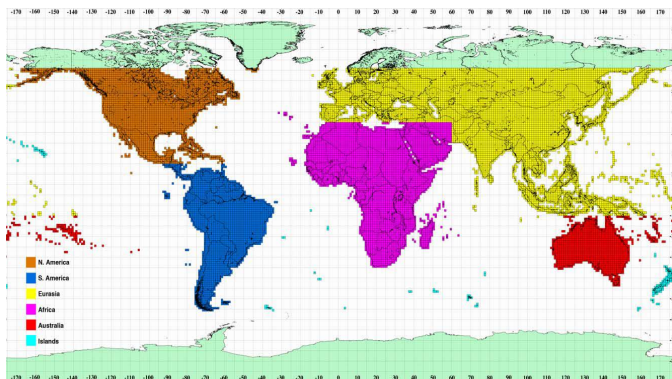


Рис. 4.2. Зонирование данных цифровой модели данных SRTM

Доступ к данным SRTM можно получить через сайт геологической службы США, интерфейс доступа к данным представлен на рис. 4.3.

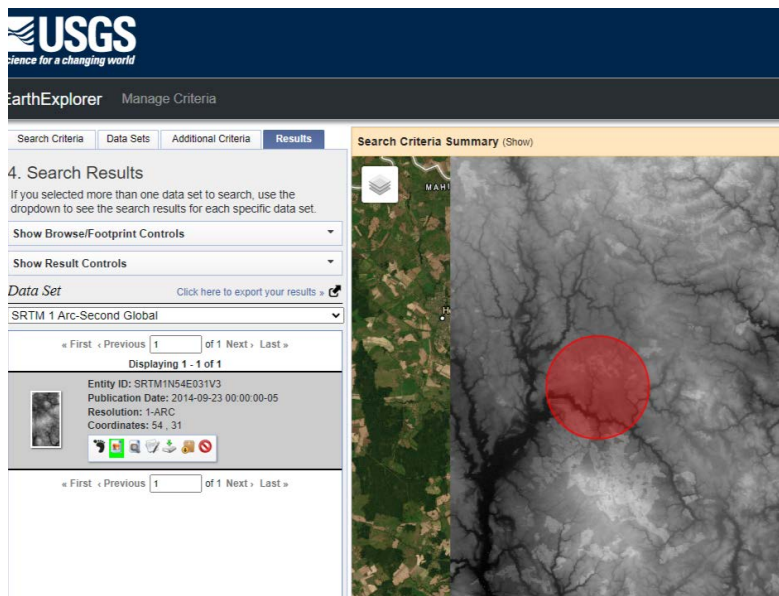


Рис. 4.3. Результат поиска растра высот рассматриваемой территории на сайте геологической службы США

С сайта геологической службы был скачан файл **SRTM1N54E031V3** с пространственным разрешением 30 м. Размер растра соответствует трапеции $1^\circ \times 1^\circ$ в географической системе координат (см. рис. 4.2).

После скачивания указанного файла для него была выполнена трансформация растра с изменением системы координат с географической на систему прямоугольных координат Гаусса-Крюгера. Это связано с тем, что функции анализа растра могут давать неправильный результат вычислений если исходные данные будут в географической системе координат.

С точки зрения геоинформационных систем под цифровой моделью рельефа (ЦМР) (Digital Elevation Model – DEM) – понимают цифровое представление топографической поверхности в виде растра или регулярной сети ячеек заданного размера.

ЦМР являет собой цифровое представление 3-мерных пространственных объектов (непрерывных поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных с координатами X, Y, Z, расположенных:

- в узлах регулярной сетки с образованием матрицы высот (растровая модель);

- в узлах нерегулярной треугольной сети (TIN-модель).

Цифровые модели рельефа используют для:

- расчета «элементарных» морфометрических показателей: углов наклона (уклонов) и экспозиций склонов;

- оценки формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечений;

- генерации сети тальвегов и водоразделов (сепаратрисс) и других особых точек и линий рельефа, нарушающих его «гладкость»;

- подсчета положительных и отрицательных объемов относительно заданного горизонтального уровня в пределах границ участка;

- построения профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии;

- аналитической отмывки рельефа;

- трехмерной визуализации рельефа, в том числе виртуально-реальных, например, путем драпировки поверхности рельефа цифровыми космо- или аэрофотоизображениями;

- оценки зон видимости или невидимости с заданной точки (точек) обзора (анализ видимости/невидимости);

- построения изолиний по множеству отметок высот (например, генерация горизонталей);

- интерполяции значений высот, других трансформаций исходной модели (например, осреднение, сглаживание, генерация, фильтрация);
- ортотрансформирования аэро- и космических снимков.

По результатам проведения исследований, была создана маска для территории ОАО «Коптевская Нива», по которой производилась обрезка растра с использованием функциональных возможности набора инструментов Spatial Analyst ГИС ArcGis. В результате было получено изображение следующего вида (рис. 4.4).

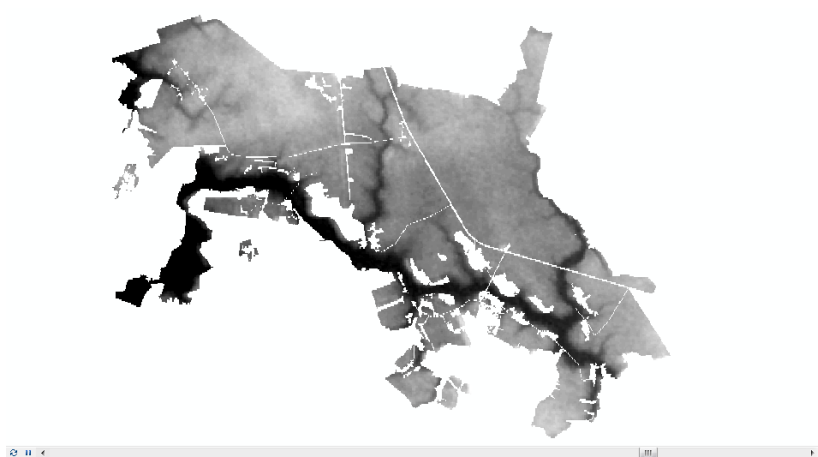


Рис. 4.4. Результаты применения опции вырезания по маске

В пределах растра всегда имеются локальные пики или понижения, которые возникают из-за не слишком большого разрешения данных или округления высот до ближайшего целого значения. Перед проведением морфометрического анализа все локальные понижения должны быть заполнены для обеспечения более корректного выделения бассейнов и водотоков. Если локальные понижения не заполнены, расположенная в пределах ЦМР гидрологическая сеть может иметь разрывы. Поскольку на используемой цифровой модели рельефа территории имеются водотоки и понижения, была выполнена корректировка ЦМР для заполнения локальных понижений в растре поверхности для удаления всех небольших ошибок и неточностей, присущих данным.

В результате выполненных действий было получено изображение следующего вида (рис. 4.5).

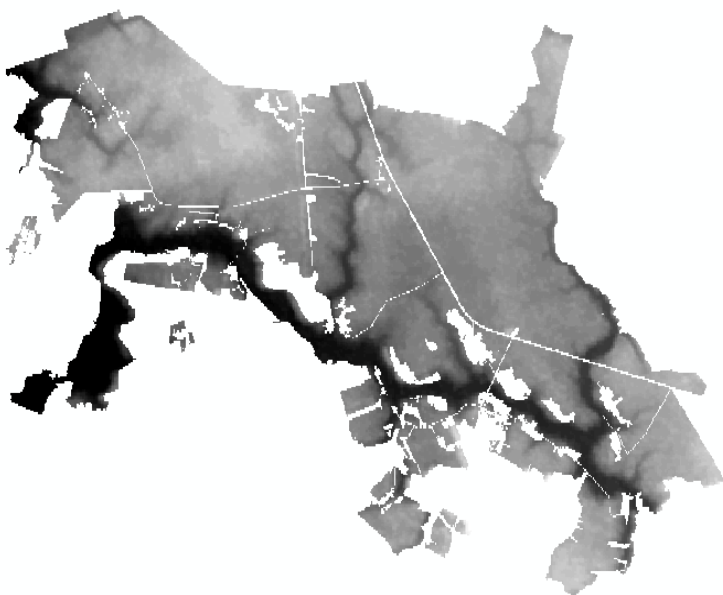


Рис. 4.5. Результаты применения опции «Заполнение»

Изолинии – это линии, которые соединяют местоположения с равным значением в наборе растровых данных, который представляет непрерывное явление, например, рельеф. Распределение линий изолинии показывает, как значения меняются по поверхности. Там, где значение меняется не сильно, линии расположены дальше друг от друга, а там, где значения возрастают или убывают быстро, линии расположены ближе друг к другу.

Изолинии также являются полезным представлением поверхности, поскольку они позволяют одновременно визуализировать плоские и крутые области (расстояние между изолиниями), а также хребты и равнины (сходящиеся и расходящиеся полилинии).

Для извлечения изолиний использованы функциональные возможности набора инструментов Spatial Analyst. В извлечения изолиний было получено изображение следующего вида (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Результат настроек отображения подписей высот
сглаженных горизонталей

4.2. Определение морфометрических характеристик с использованием цифровой модели рельефа

Крутизна склона является углом между горизонтальной и тангенциальной плоскостями в определяемой точке земной поверхности. Результатом вычислений уклона является GRID-модель, определяющая скорость максимального изменения значений высоты для каждой ячейки поверхности растра. Крутизна склона определяет скорость потоков, перемещающихся вдоль земной поверхности под действием гравитации.

Диапазон выходных значений зависит от типа единиц измерения. Для градусов диапазон значений уклона составляет от 0 до 90. Для процентного увеличения диапазон составляет от 0 до бесконечности. Плоская поверхность соответствует значению 0 процентов, уклон поверхности в 45 градусов соответствует 100 процентам подъема, и по мере того, как поверхность становится более вертикальной, процент подъема все больше и больше увеличивается. Величина значения Z-фактора указывается как единица, если все данные представлены в одних и тех же единицах измерения.

В результате расчета кривизны, было получено изображение следующего вида (рис. 4.7).

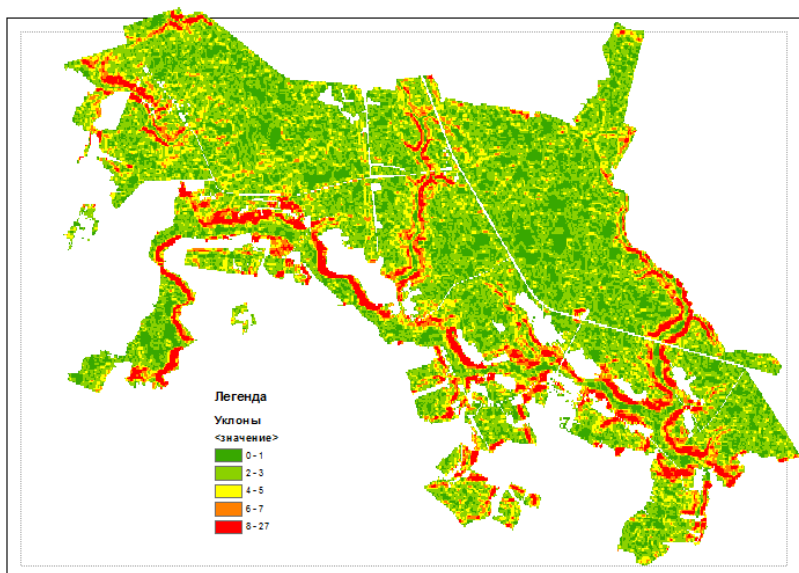


Рис. 4.7. Результаты вычисления уклона поверхности

Экспозиция – угол по часовой стрелке между направлением на север и проекцией внешней нормали на горизонтальную плоскость в определяемой точке земной поверхности, который определяет направление уклона поверхности. Экспозиция выражается положительными значениями градусов от 0 до 359,9, измеряемыми по часовой стрелке от направления на север. Плоским областям, не имеющим направления вниз по склону, присваивается значение –1.

Экспозиция влияет на водный режим почв, во многом определяя величину инсоляции и эвапотранспирации: в северном полушарии наиболее влажными являются северные склоны, затем западные, восточные, а самыми сухими – южные.

Уклон и экспозиция склона контролируют перераспределение зимних осадков по земной поверхности, поэтому эти морфометрические величины влияют на дифференциацию и динамику промерзания и оттаивания почвы и, следовательно, на дифференциацию накопления в почве запасов влаги.

С помощью вычисленной экспозиции возможно также:

- найти все направленные на север уклоны на горе при поиске лучших уклонов для лыжных трасс;
- вычислить солнечное освещение для каждой ячейки района при определении разнообразия жизни на каждом участке;

- найти все южные склоны в горных районах для выявления тех местоположений, где снег тает раньше, для определения тех населенных мест, которые первыми пострадают от водного потока;

- определить области плоской поверхности, чтобы найти область для посадки самолета в случае чрезвычайной ситуации.

Экспозицию склона была рассчитана с использованием функциональных возможностей набора инструментов Spatial Analyst.

В результате было получено изображение следующего вида (рис. 4.8).

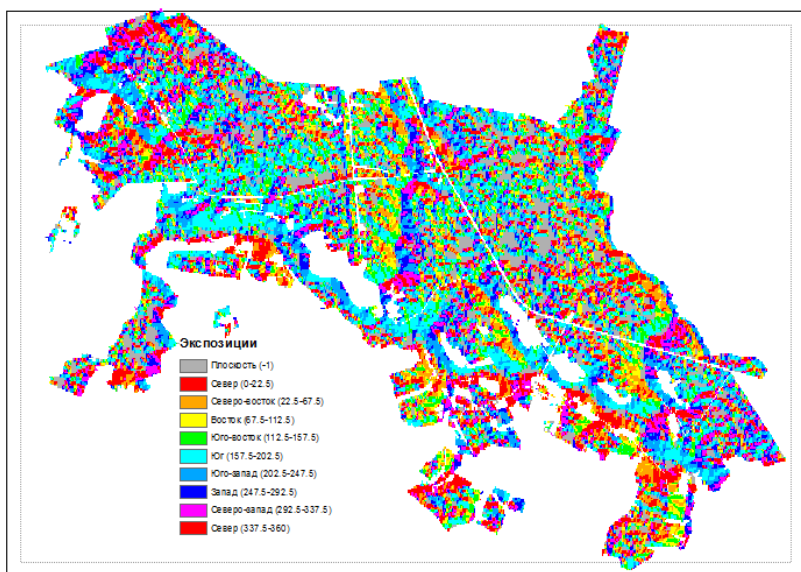


Рис. 4.8. Результаты вычисления экспозиции склона

Кривизна – это вторая производная поверхности (то есть уклон уклона). С помощью инструмента Кривизна набора инструментов Spatial Analyst можно рассчитать среднюю, вертикальную (профильную) и горизонтальную (плановую) кривизну.

Средняя кривизна рассчитывается как полусумма вертикальной и горизонтальной кривизны в заданной точке. Положительное значение средней кривизны указывает на то, что поверхность в этой ячейке выпуклая. Отрицательное значение средней кривизны указывает на то, что поверхность в этой ячейке вогнутая, а значение 0 указывает на то, что поверхность плоская.

В выходных данных профильной или вертикальной кривизны отрицательное значение указывает на то, что поверхность в этой ячейке выпуклая, положительное значение профильной кривизны указывает на то, что поверхность в этой ячейке вогнутая, а значение 0 – указывает, что поверхность плоская. В выходных данных плановой или горизонтальной кривизны положительное значение указывает на то, что поверхность в этой ячейке выпуклая. Отрицательное значение плановой кривизны указывает на то, что поверхность в этой ячейке вогнутая, а значение 0 указывает, что поверхность плоская.

Единицы измерения выходного растра кривизны, так же, как и единицы измерения дополнительного выходного растра профильной кривизны и дополнительного выходного растра плановой кривизны, – одна сотая Z единицы (1/100). Приемлемые значения всех трех выходных растров для холмистого рельефа, как правило, находятся в диапазоне от $-0,5$ до $0,5$; в то время, как для территорий с крутыми, скалистыми горами значения могут варьировать от -4 до 4 .

С точки зрения прикладного применения, выходные данные инструмента Кривизна могут быть использованы для описания физических характеристик водосборного бассейна, которые могут помочь в понимании направления процессов эрозии и поверхностного стока. Уклон влияет на общую скорость движения вниз по склону, а экспозиция определяет направление потока. Профильная кривизна влияет на ускорение или замедление потока, и, следовательно, влияет на эрозию и депонирование осадков. Плановая кривизна (кривизна в плоскости) влияет на конвергенцию и дивергенцию потока (рис. 4.9).

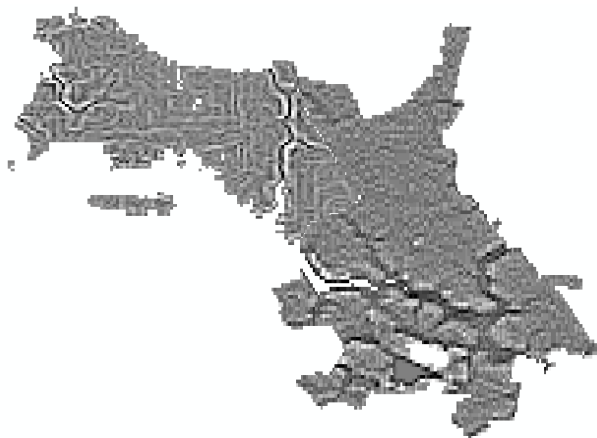


Рис. 4.9. Результат вычисления средней кривизны поверхности территории

Комплексный морфометрический анализ территории с помощью ГИС, на основе данных радарной интерферометрической топографической съемки SRTM может быть использован при проведении оперативной и эффективной оценки критических свойств рельефа для целей прогнозирования и землеустройства. Изучение морфометрических показателей рельефа имеет важную роль для выполнения межхозяйственного землеустройства, а полученные в результате его выполнения данные могут быть использованы также и при прогнозировании использования земель и функциональном зонировании территории.

5. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В настоящее время информатизация свойственна всем сферам деятельности. Результаты информатизации агропромышленного комплекса страны подтверждается очень скромными результатами, внедрение элементов системы точного земледелия носят фрагментарный характер [21].

В современных технологиях выделено самостоятельное крупное направление – геоинформационные системы.

При разработке проектов землеустройства на земли сельскохозяйственной организации требуется использование геоданных, которые необходимо преобразовать в цифровые карты и модели, а также тематические модели в области землеустройства.

Но для эффективного управления земельными ресурсами сельскохозяйственной организации невозможно ограничиться геоданными только в области землеустройства. Необходимо создать интегрированную геоинформационную основу, в которой будут отражены геоданные из разных предметных областей, полученные различными методами.

При выполнении НИР по формированию пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации сформирована земельно-информационная система, которая позволяет послойно на территорию сельскохозяйственной организации иметь тематический планово-картографический материал с базой геоданных: ортофотоплан, цифровой планово-картографический материал, почвенная карта, результаты агрохимического обследования земель, цифровая модель рельефа на поле севооборота, картограмма эродированности земель, цифровой проект внутрихозяйственного землеустройства.

Формирование пространственной основы (земельно-информационной основы на земли сельскохозяйственной организации) в общем виде включает следующие этапы:

1. Подготовительные работы.

Подготовительные работы включают сбор, систематизацию и анализ исходных картографических, землеустроительных, земельно-кадастровых материалов, ортофотопланов, справочных и иных материалов и данных.

При землеустроительном проектировании обязательно учитывают рельеф местности, в частности – при размещении полей севооборотов.

Имея цифровую модель рельефа, с использованием ГИС определяют морфометрические показатели, которые используют при формировании полей севооборотов с целью исключения проявления эрозионных процессов.

Рассмотрим методику создания цифровой модели рельефа в программном комплексе CSoft GeoniCS.

Создание цифровой модели рельефа осуществляется из тех исходных данных, которые обычно имеются у проектировщиков генплана или изыскателей. Перечислим три наиболее распространенных варианта исходных данных:

- ✓ Текстовый файл с координатами и отметками точек съемки, полученный в результате обработки полевых наблюдений.
- ✓ Топографический план на местности (на твердом носителе – бумага, планшет).
- ✓ Топографический план в виде DWG-файла, примитивы которого имеют нулевую отметку по оси Z.
- ✓ Данные дистанционного зондирования Земли, то есть отдельные космические и аэроснимки или их серии, покрывающие всю территорию исследования.

Одним из самых простых вариантов использования исходных данных при создании цифровой модели рельефа, является текстовый файл с координатами и отметками точек съемки. Рассмотрим методику построения цифровой модели рельефа на основе этих данных.

Запускаем GeoniCS и создаем проект, в которых GeoniCS сохраняет модели поверхностей, созданных по данному объекту, базу точек съемки и т. д.

Для этого выбираем в Панели навигатора (рис. 5.2) команду **Открыть проект**. В появившемся одноименном окне указываем путь для хранения папки проекта и нажимаем кнопку **Создать проект**. Открывается окно Детали проекта: здесь нужно ввести имя проекта (как правило, оно соответствует названию объекта). Имя проекта становится и именем папки, которая образуется по указанному пути.

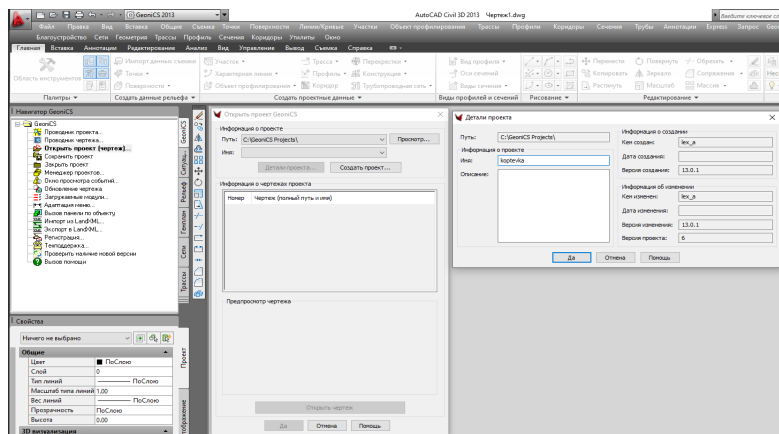


Рис. 5.2. Создание проекта

Сохраняем чертеж в подпапке DWG нашего проекта. Операция выполняется средствами AutoCAD (**Файл** → **Сохранить**).

Текстовый файл, с координатами точек приводим к формату данных GeonICS (рис. 5.3).

АkelPad - [D:\Коптевка\отметки участок 2.txt]			
Файл Правка Вид Избранное Настройки Окно Плагины Справка			
отметки участок 2.txt			
1229	3270336.668	5997147.223	188.38
1230	3270361.163	5997147.223	188.98
1325	3270312.172	5997122.714	188.3
1326	3270336.668	5997122.714	188.61
1327	3270361.163	5997122.714	189.02
1328	3270385.659	5997122.714	189.26
1422	3270312.172	5997098.204	188.52
1423	3270336.668	5997098.204	188.76
1424	3270361.163	5997098.204	189.17
1:1 Ins Win 1251 (ANSI - кириллица)			

Рис. 5.3. Текстовый файл с исходными данными

Мы видим здесь пять колонок данных, разделенных пробелами. В первой колонке – номер точки съемки, во второй – координата X, в третьей – Y, в четвертой – высотная отметка, в пятой – описание точки (не обязательно).

Выбор формата для импорта данных из текстового файла осуществляется во вкладке **Рельеф** → **Импорт-экспорт геоточек** → **Менеджер форматов** (рис. 5.4).

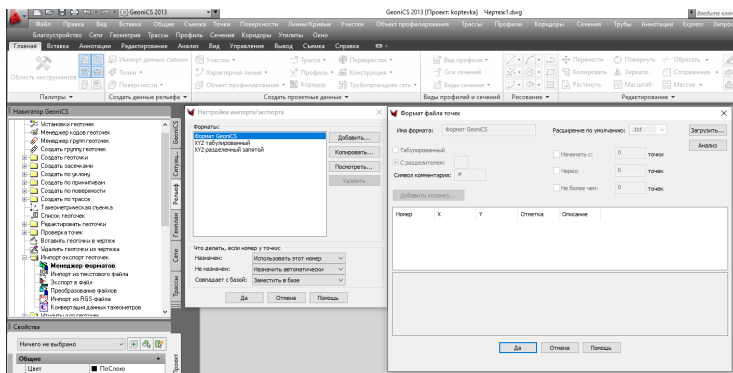


Рис. 5.4. Выбор формата импорта данных

Импортируем точки из текстового файла. Выбираем команду **Импорт** из текстового файла и в появившемся окне указываем (через кнопку выбора) имя импортируемого файла и формат импорта (Формат GeonCS).

Создаем группу точек и вставляем геоточки в чертеж, отметив соответствующие пункты меню (рис. 5.5).

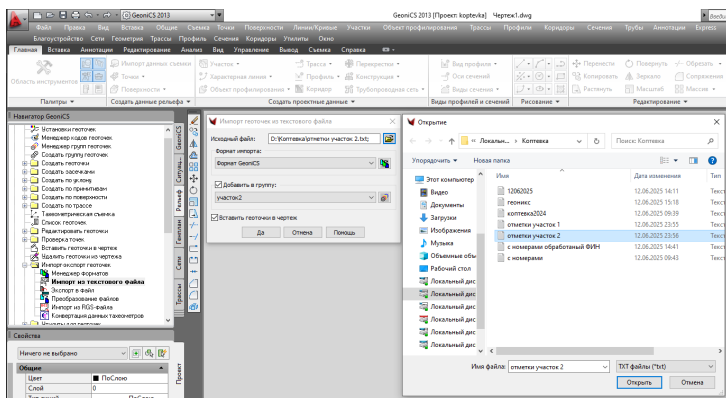


Рис. 5.5. Создание группы геоточек

Создаем в нашем проекте модель поверхности. Для этого выбираем в Панели навигатора команду **Проводник проекта** и в открывшемся окне указываем **Создать поверхность** (соответствующее контекстное меню появится при нажатии правой клавиши на папке Поверхности). Имя поверхности задается в окне **Создать поверхность** (рис. 5.6).

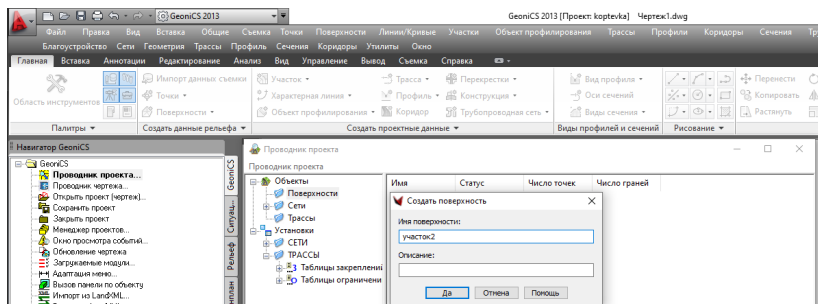


Рис. 5.6. Создание модели поверхности

Добавляем группу точек в данные поверхности (рис. 5.7)

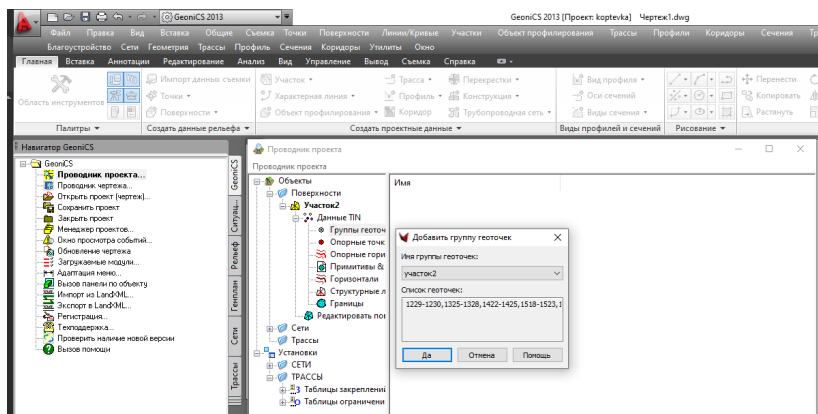


Рис. 5.7. Добавление группы точек в данные поверхности

Отрисовываем внешние и внутренние границы поверхности, или определяем их по примитивам чертежа (рис. 5.8).

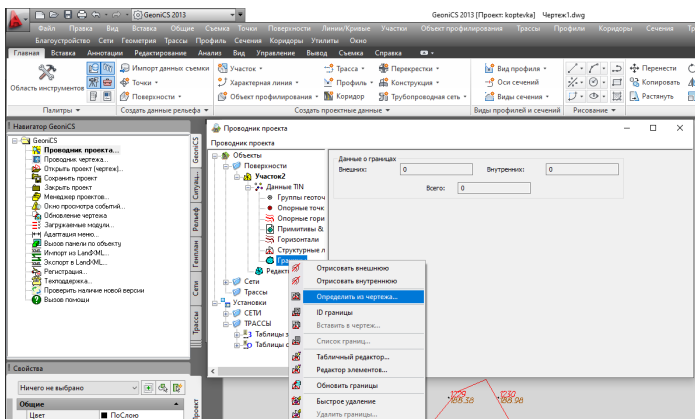


Рис. 5.8. Определение границ поверхности по примитивам чертежа

Инструментом **Полилиния** соединяем геоточки границы, после выбираем **Примитив** и указываем полученную линию (рис. 5.9).

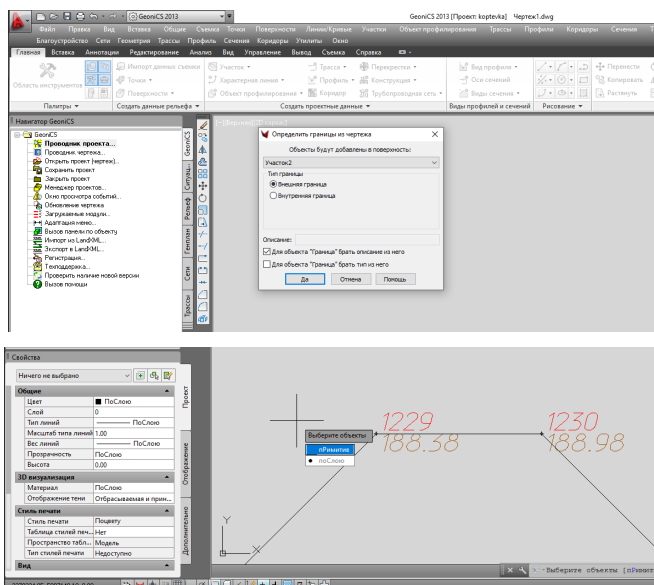


Рис. 5.9. Построение полилинии

Строим модель поверхности, отметив в окне **Свойства поверхности** (рис. 5.10) опцию **Добавить данные с высотой больше чем ...**, если в импортированном файле содержались точки без отметок (ситуационные), и эта опция отфильтрует их.

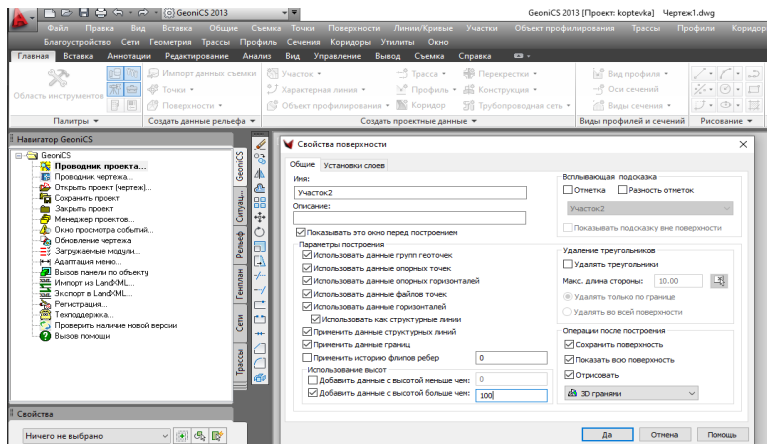


Рис. 5.10. Определение свойств поверхности

Отрисовываем горизонтали во вкладке **Рельеф** → **Создать горизонтали** (рис. 5.11). В окне **Создать горизонтали** указываем сечение и другие параметры.

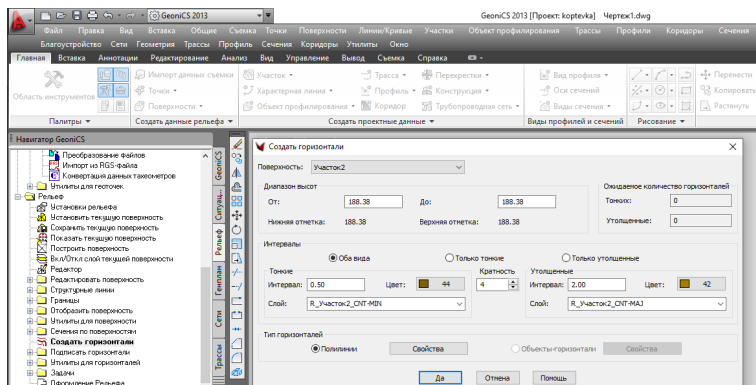


Рис. 5.11. Определение параметров горизонталей

Подписываем горизонтали во вкладке **Рельеф** → **Подписать горизонтали** → **Подписать автоматически**. Выбрать Прimitives и указать толстую горизонталь (рис. 5.12).

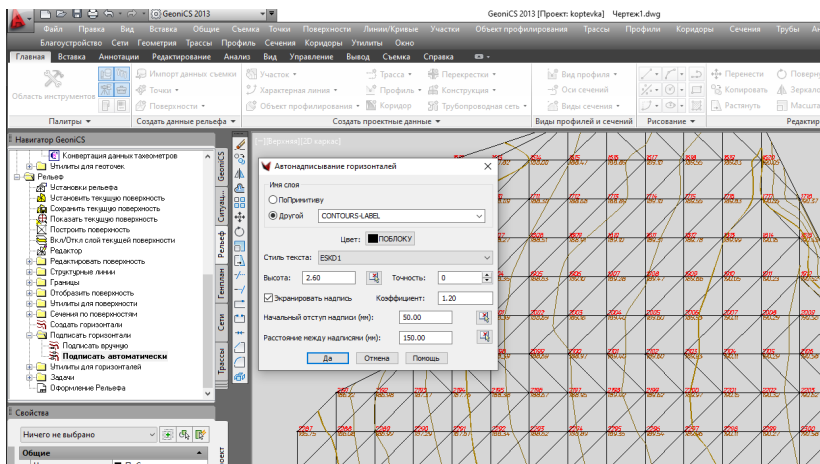


Рис. 5.12. Выполнение подписывания горизонталей

Отключаем лишние слои (геоточки, треугольники и др.) и редактируем горизонтали средствами САПР AutoCAD, при необходимости (рис. 5.13).

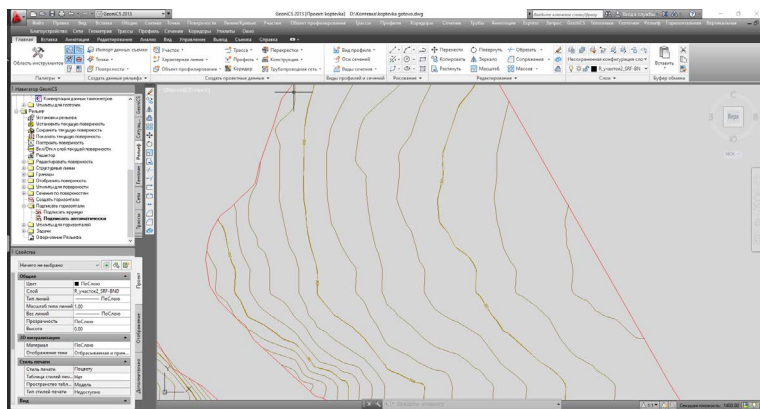


Рис. 5.13. Фрагмент построения горизонталей

Используя данную методику, выполнено построение цифровой модели рельефа на поле севооборота ОАО «Коптевская Нива» с сечением рельефа 0,5 м (рис. 5.14).

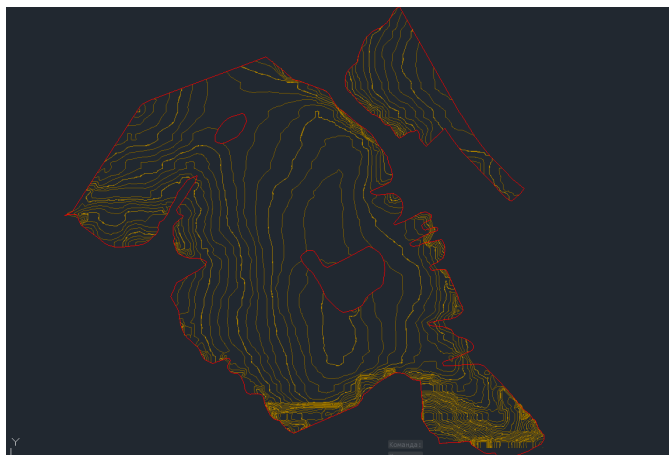


Рис. 5.14. Цифровая модель рельефа в границах поля севооборота

Выполнено построение картограммы эродированности земель на территорию ОАО «Коптевская Нива» (рис. 5.15).

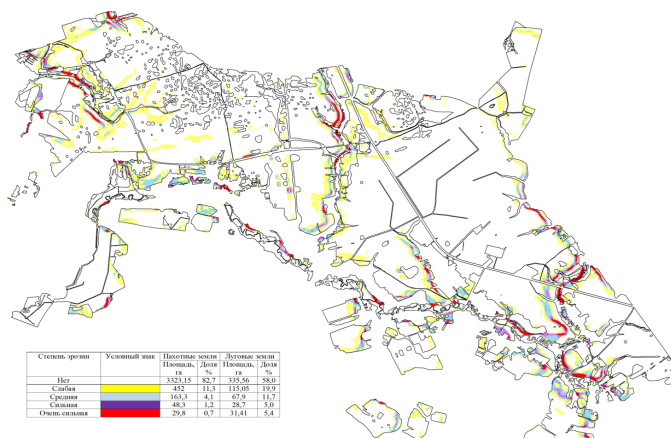


Рис. 5.15. Картограмма эродированности земель ОАО «Коптевская Нива»

6. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Для целей эффективного управления земельными ресурсами сельскохозяйственной организации необходимо создать отдельную локальную ГИС – земельно-информационную систему с базой геоданных на земли сельскохозяйственной организации, а для возможности внедрения элементов точного земледелия, эта земельно-информационная система должна быть создана с точностью масштаба не мельче 1:2 000, при этом она должна содержать атрибутивные данные, используемые при решении производственных задач на земли сельскохозяйственного назначения.

Результаты эмпирических исследований по созданию крупномасштабной геоинформационной основы на земли сельскохозяйственного назначения с формированием базы геоданных и ее наполнением позволили разработать структурную модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации с отдельными элементами, имеющими взаимосвязь между собой. Приведем ее описание.

С целью обоснования необходимости формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства необходимо на основании отчетов сельскохозяйственной организации (за 5 последних лет) выполнить анализ производственной деятельности сельскохозяйственной организации.

На основании данного анализа делается научное обоснование необходимости формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства. В случае успешной производственной деятельности сельскохозяйственной организации (внедрении передовых технологий, наличии цифрового крупномасштабного планово-картографического материала и др.) отсутствует необходимость формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства. О принятом решении научные сотрудники информируют руководство сельскохозяйственной организации. В ином случае проводятся работы по формированию пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства.

Первый этап – подготовительные работы. На данном этапе выполнения работ осуществляется сбор планово-картографического материала на территорию сельскохозяйственной организации (проект внутрихозяйственного землеустройства – при наличии, картограммы кислотности, почвенные карты и др.). Для выполнения аэрофотосъемочных работ необходимо в границах сельскохозяйственной организации

выполнить подготовку техзадания на выполнение аэрофотосъемочных работ с использованием беспилотного летательного аппарата. В данном случае съемка с использованием БЛА выполнена сторонней организацией. По результатам выполнения данного вида работ осуществляется обработка полученных данных дистанционного зондирования Земли (создание ортофотоплана, геопривязка).

Следующим этапом является оцифровка данных дистанционного зондирования Земли. Оцифровка осуществляется в следующем порядке:

1. Нанесение границ землепользования.
2. Нанесение границ административно-территориальных и территориальных единиц.
3. Векторизация земель сельскохозяйственной организации по видовому составу.

Далее переходим к формированию цифровой крупномасштабной планов-картографической основы на территорию сельскохозяйственной организации. На данном этапе осуществляем анализ видового состава земель сельскохозяйственной организации, выполняем определение площадей с использованием цифровой крупномасштабной планово-картографической основы, формируем цифровую модель рельефа.

Сформированная цифровая крупномасштабная планово-картографическая основа на территорию сельскохозяйственной организации позволяет осуществить переход к созданию базы геоданных на земли сельскохозяйственного назначения, первым этапом которой является создание набора классов пространственных объектов, в данном случае – карты, истории книги полей, рельеф и почвенные карты.

Данный набор классов пространственных объектов наполняем классами пространственных объектов.

В структуру карт входят слои с отображением границ полей, картограммы кислотности, агрохимия – послойно по содержанию фосфора, калия, гумуса.

В истории книги полей указываем предшественников культур по полям севооборота за 5 последних лет.

По рельефу – отображаем горизонтالي, уклоны и экспозиции.

В структуру почвенных карт входят карты с контурами почвенных разновидностей, подстилающие породы и увлажнение.

Далее в каждом классе пространственных объектов осуществляется создание и заполнение имеющейся информацией атрибутивных таблиц классов пространственных объектов.

В результате проведенной работы имеем крупномасштабную земельно-информационную систему с базой геоданных на земли сельскохозяйственной организации, которую необходимо использовать при работе в сельскохозяйственной организации, а также структурную модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации (рис. 6.1).

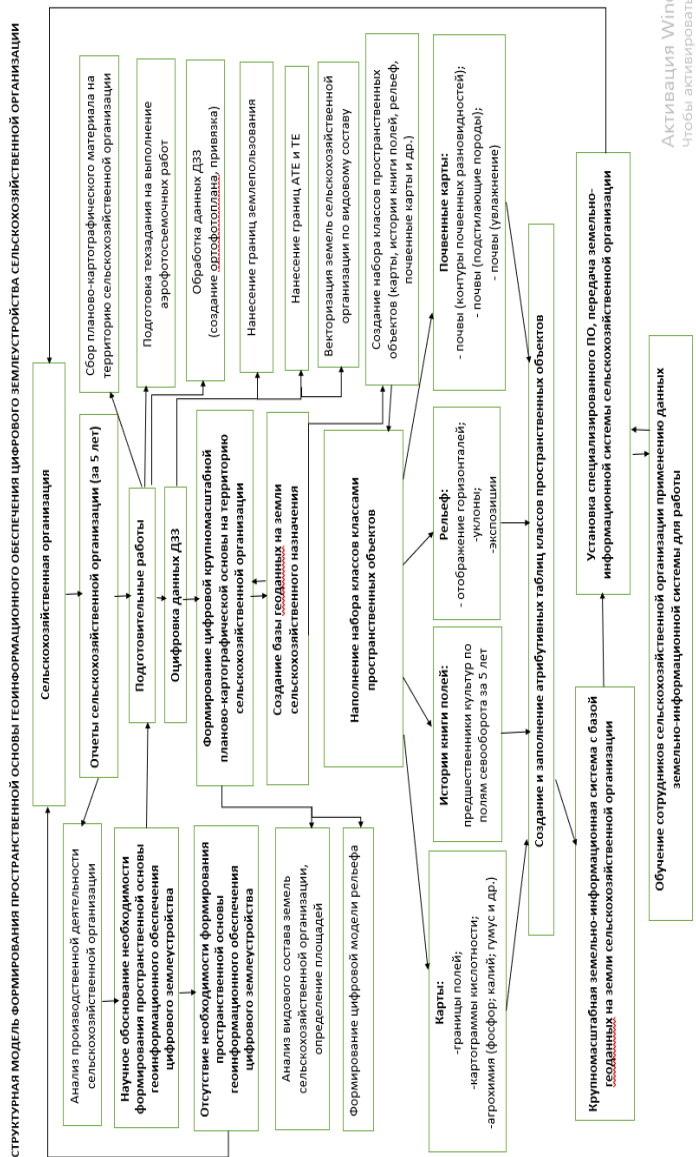


Рис. 6.1. Структурная модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью проведения исследований по формированию пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации, выполнен обзор научной литературы по получению цифрового планово-картографического материала методом ГИС-картографирования.

Выявлено, что наиболее эффективными методами являются методы, основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли. При этом, остается актуальным метод ГИС-картографирования на основе планово-картографического материала с учетом определенных требований.

Формирование пространственной основы геоинформационного обеспечения невозможно без создания базы геоданных. В результате проведенных исследований определены основные структурные единицы базы геоданных. Рассмотрено создание базы геоданных на примере цифровой почвенной карты сельскохозяйственной организации.

При реализации проекта в ГИС любой предметной области необходимо сделать обоснованный выбор платформы для его реализации.

С указанной целью выполнен анализ ГИС. По результатам анализа сделан вывод, что при формировании пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации будет сделан выбор в пользу «свободной» ГИС, которая получила наибольшее распространение – QGIS, так как данная ГИС способна поддерживать картографические сервисы и системы пространственных баз данных, а также является русскоязычной программой, что обеспечивает быстрое обучение специалистов.

Выполнен обзор научной литературы по получению цифрового планово-картографического материала методом ГИС-картографирования, построению цифровых моделей рельефа. Выявлено, что наиболее эффективными методами являются методы, основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли, в том числе и для построения цифровых моделей рельефа, и по определению морфометрических характеристик.

Цифровая модель рельефа позволяет использовать ГИС, в частности выполнять морфометрический анализ территории, при формировании полей севооборотов с целью исключения проявления эрозионных процессов.

В качестве объекта исследований определено ОАО «Коптевская Нива» Горьковского района Могилевской области.

С целью формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации выполнены подготовительные работы по сбору и изучению исходных материалов для выполнения аэрофотосъемочных

работ по объекту исследований. Составлено техническое задание на выполнение лётно-съёмочных работ.

Выполнены расчеты точности определения площадей полей севооборота сельскохозяйственной организации, точность положения отдельной контурной точки поля севооборота. Эмпирическим путем доказана необходимость и целесообразность изготовления цифровой крупномасштабной планово-картографической основы на территорию сельскохозяйственной организации. Выполнен анализ экономической деятельности сельскохозяйственной организации ОАО «Коптевская Нива».

Получены материалы съёмки с беспилотного летательного аппарата (БЛА) на территорию ОАО «Коптевская Нива» Горьковского района Могилевской области, на основе которых выполнено формирование крупномасштабной пространственной основы в масштабе 1:1 000.

Разработан алгоритм формирования базы геоданных на земли сельскохозяйственной организации с наполнением цифровым планово-картографическим материалом, что позволило разработать методику формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации.

С использованием данных дистанционного зондирования Земли выполнено построение цифровой модели рельефа на территорию сельскохозяйственной организации с целью определения морфометрических характеристик, а именно: уклонов, экспозиции склонов, средней кривизны поверхности территории.

Сформирована пространственная основа геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства, создана крупномасштабная земельно-информационная система с базой геоданных на земли сельскохозяйственной организации, что позволит выявить недостатки в землепользовании, более рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения.

Разработана структурная модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации.

Для работы с указанной земельно-информационной системой необходимо выполнить установку специализированного программного обеспечения, имеющегося в свободном доступе, осуществить передачу земельно-информационной системы в сельскохозяйственную организацию и провести обучение сотрудников сельскохозяйственной организации по применению данных локальной земельно-информационной системы для работы в сельскохозяйственной организации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа «Земельно-имущественные отношения, геодезическая и картографическая деятельность» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100055>. – Дата обращения: 05.05.2023.
2. Кодекс Республики Беларусь о земле от 23 июля 2008 г. № 425-З [Электронный ресурс]: Информационно-поисковая система Эталон-онлайн. – https://etalonline.by/document/?regnum=hk0800425&q_id=10574517. – Дата обращения: 12.04.2024.
3. Матчин, В. А. Базы геоданных / В. А. Матчин // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 3 (20). – С. 100–108.
4. Цифровое сельское хозяйство Республики Беларусь / А. В. Пилипук [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова; Национальная академия наук Беларуси, Институт системных исследований в АПК. – Минск: Беларус. навука, 2024. – 552 с.
5. Кашенко, Н. А. Геоинформационные системы: учеб. пособие для вузов / Н. А. Кашенко, Е. В. Попов, А. В. Чечин; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с.
6. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания, ведения (эксплуатации и обновления): ТКП 610-2023 (33520). – Введ. 19.10.2023. – Минск: Гос. комитет по имуществу Респ. Беларусь, 2024. – 113 с.
7. Берлянт, А. М. Картоведение / А. М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 486 с.
8. Бахарева, Н. А. Геоданные как инструмент управления / Н. А. Бахарева // The State counsellor. – 2016. – № 2. – С. 23–27.
9. Основы геоинформатики: в 2 кн.: учеб. пособие для студ. вузов / под ред. В. С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
10. Карандеев, А. Ю. Географические информационные системы. Практикум. Базовый курс: учеб. пособие для вузов / А. Ю. Карандеев, С. А. Михайлов. – Липецк, 2012. – 111 с.
11. Бикбулатова, Г. Г. Технологии точного земледелия / Г. Г. Бикбулатова // Омский научный вестник. – 2008. – № 2 (71). – С. 45–49.
12. О геодезической и картографической деятельности: Закон Респ. Беларусь от 14 июля 2008 г. № 396-З [Электронный ресурс]: Информационно-поисковая система Эталон-онлайн. – https://etalonline.by/document/?regnum=hk0800425&q_id=10574517. – Дата обращения: 12.04.2024.
13. Разработка проекта внутрихозяйственного землеустройства [Электронный ресурс]: https://www.belgiprozem.by/vidy_deyatelnosti/razrabotka_proektov-vnutrihozjaystvennogo-zemleustrojstva. – Дата обращения: 12.03.2024.
14. Цифровые карты местности. Порядок создания и обновления цифровых топографических карт и планов: ТКП 014-2005 (04030). – Введ. 24.10.2005. – Минск: Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Сов. Мин. Респ. Беларусь, 2024. – 19 с.
15. Писецкая, О. Н. О способах и точности определения площадей административно-территориальных и территориальных единиц / О. Н. Писецкая, Я. В. Исаева // Земля Беларуси. – 2015. – № 2. – С. 25–28.
16. Геодезическое обеспечение земельно-кадастровых работ: учеб. пособие / О. Н. Писецкая, П. В. Другаков, О. А. Куцаева, А. А. Титюркина. – Горки: БГСА, 2024. – 202 с. : ил.
17. Farr T. G., Rosen P. A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M.,

Burbank D., Alsdorf D. The Shuttle Radar Topography Mission // *Reviews of Geophysics*. – 2007. – Vol. 45. – № 2. – RG2004.

18. Hengl T., Reuter H. I. (eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. – Amsterdam: Elsevier, 2009. – 796 p.

19. Florinsky, I. V. *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. – 2nd ed. – Amsterdam: Academic Press, 2016. – 486 p.

20. Tadono, T. Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by ALOS PRISM / T. Tadono, H. Nagai, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2016. – Vol. XLI. – Pt. B4. – P. 157–162.

21. Семизоров, С. А. Системные цифровые решения в развитии точного земледелия / С. А. Семизоров, Н. В. Абрамов, И. Н. Топорков // *Вестник Курганской ГСХА*. – № 3 (51). – 2024. – С. 28–36.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Общие сведения о геоинформационных системах и методах получения планово-картографических материалов по данным дистанционного зондирования Земли	6
2. Обоснование необходимости создания земельно-информационной системы на земли сельскохозяйственной организации.....	27
2.1. Анализ внедрения цифровых технологий в АПК.....	27
2.2. Методы создания цифровых крупномасштабных планов и карт. База геоданных	32
2.3. Точность создания цифрового планово-картографического материала	38
3. Методика формирования базы геоданных	43
4. Создание цифровой модели рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли	59
4.1. Теоретические аспекты формирования цифровой модели рельефа	59
4.2. Определение морфометрических характеристик с использованием цифровой модели рельефа.....	65
5. Методика формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации.....	70
6. Структурная модель формирования пространственной основы геоинформационного обеспечения цифрового землеустройства сельскохозяйственной организации	80
Заключение	83
Библиографический список.....	85

Научное издание

Писецкая Ольга Николаевна
Другаков Павел Владимирович
Куцаева Олеся Алексеевна и др.

ФОРМИРОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОСНОВЫ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ

Монография

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 19.12.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4,15.
Тираж 100 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.