

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»  
Факультет «Природообустройство и лесное хозяйство»  
Кафедра «Лесное хозяйство и лесомелиорация»

*На правах рукописи*

Горбунов Денис Евгеньевич

ВЗАИМОСВЯЗИ ОРОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ЛЕСНОЙ  
РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «КУМЫСНАЯ ПОЛЯНА»  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА 3-D МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Диссертация на соискание академической степени магистра лесного дела  
Направление: 250100.68 «Лесное дело»

Направление специальной подготовки: «Лесное хозяйство»

Научный руководитель: к.с.-х.н., доцент С.В. Кабанов

Саратов 2014

Работа выполнена на кафедре «Лесное хозяйство и лесомелиорация»  
Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова

Научный руководитель: кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
Кабанов Сергей Владимирович

Рецензент: кандидат сельскохозяйственных наук,  
консультант отдела работы с особо охраняемыми  
природными территориями Министерства  
экологии и природных ресурсов  
Саратовской области  
Ревякин Максим Александрович

Защита диссертации состоится 5 июля 2014 года на заседании государственной  
аттестационной комиссии в Саратовском государственном аграрном университете имени  
Н.И. Вавилова по адресу: 410060, ул. Советская, 60, ауд. 337

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале библиотеки Саратовского  
государственно аграрного университета имени Н. И. Вавилова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Использование информационных технологий в лесном хозяйстве является актуальным на протяжении последних нескольких десятилетий. Это связано как с динамичным ростом рынка информационных технологий, так и их востребованностью со стороны лесного хозяйства. Быстрое развитие и широкое применение на практике и в научно-исследовательских целях получили географические информационные системы (ГИС). Самыми востребованными стали разделы ГИС, связанные с использованием оборудования для спутниковой навигации (GPS- и ГЛОНАСС-технологии), созданием точных электронных карт, трехмерного моделирования (3D) земной поверхности, математическим моделированием динамики лесного фонда, оптимизации использования лесных ресурсов и ряд других. Актуальность применения ГИС-технологий, связанных с ними методов и подходов объясняется необходимым повышением качества мониторинга и управления лесными ресурсами.

При анализе распределения растительного покрова рельеф является одним из основных факторов его формирования, так как наиболее стабилен из всех компонентом лесных ландшафтов. Актуальность создания 3-D модели рельефа связана с возможностью её объединения с данными о лесной растительности и дальнейшего глубокого ГИС-анализа, что позволяет установить степень влияния показателей рельефа на лесную растительность.

Цель исследования – Выявить степень влияния некоторых показателей рельефа на лесную растительность с использованием возможностей ГИС-анализа на основе 3-D модели рельефа.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- создать геоинформационную систему природного парка «Кумысная поляна», позволяющую осуществлять пространственный анализ лесного покрова;
- создать 3-D модель рельефа Лысогорского плато;
- на основе созданной 3-D модели рельефа дать характеристику орографических условий;
- выявить связь лесных насаждений с морфометрическими характеристиками рельефа (абсолютная высота, экспозиция, уклон местности).

### Научная новизна.

Впервые для района исследований создана 3-D модель рельефа Лысогорского плато, на её основе дана характеристика орографических условий и описаны взаимосвязи морфометрических характеристик рельефа с породным составом лесных насаждений.

### Практическая ценность.

Созданная геоинформационная система природного парка "Кумысная поляна" может служить в качестве основы информационного обеспечения эффективного управления данной особо охраняемой природной территорией

регионального значения. Эта ГИС совместно, с созданной детальной 3-D моделью рельефа Лысогорского плато, будет использоваться на кафедре «Лесное хозяйство и лесомелиорация» в дальнейшей научной работе при изучении пространственных взаимосвязей рельефа и лесной растительности Приволжской возвышенности. Разработки, выполненные при написании магистерской диссертации, внедрены в учебный процесс подготовки специалистов в области лесного дела по дисциплине "Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесном деле".

#### Апробация работы.

Основные результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и магистрантов СГАУ имени Н.И. Вавилова (Саратов, 2012-2014 г.г.).

#### Публикации.

По теме диссертации опубликовано две работы.

Личный вклад автора заключается в обосновании темы, определении цели и задач исследований, разработке и уточнении методики исследований, создании 3-D модели рельефа, сборе из открытых источников пространственной информации, ее географической привязки, анализе, обобщении представленных в диссертации результатов.

#### Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 101 страницах печатного текста, включает в себя 9 таблиц, 68 рисунков. Список литературы включает 43 наименования.

#### Основные положения, выносимые на защиту.

1. ГИС природного парка «Кумысная поляна».
2. 3-D модель рельефа Лысогорского плато. Карты экспозиций и крутизны склонов Лысогорского плато.
3. Показатели пространственной связи характеристик лесных насаждений таксационных выделов с морфометрическими параметрами рельефа.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность исследования, его теоретическая и практическая значимость, сформулированы основные цели и задачи.

## **Глава 1. 3-D МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ: ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ (обзор литературы)**

Геоинформационные системы по сравнению с другими способами предоставления информации обладают массой преимуществ: наглядная визуализация данных, привязка данных к картографической информации, формирование запросов (в том числе пространственных), возможность синтеза карт из нескольких слоев, удобное хранение информации и т.д.

**Цифровая модель рельефа (ЦМР)** – средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных, как совокупности высотных отметок или отметок глубин и иных значений аппликат (координаты  $Z$ ) в узлах регулярной сети с образованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети или как совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний. Процесс цифрового моделирования рельефа включает создание ЦМР, их обработку и использование.

Источниками исходных данных для создания ЦМР служат: топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки и другие данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ), данные альтиметрической съемки, систем спутникового позиционирования, нивелирования и других методов геодезии.

Обработка ЦМР служит для получения производных морфометрических или иных данных, включая вычисление углов наклона и экспозиции склонов; профилей поперечного сечения; оценки формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечения и т.д.

ЦМР создаются с помощью таких современных программных комплексов как: GRASS, AutoDesk, GeoMedia, ArcGIS, SAGA, Surfer и др.

Рыжкова В. А., Корец М. А. и Черкашин В. П. (2004) средствами ГИС на топографической основе сформировали карту динамики растительности ключевых участков, расположенных в лесотундре (бассейн р. Хантайка), северной тайге (нижнее течение р. Нижняя Тунгуска) и южной тайге (южная часть Енисейского кряжа). По полученной цифровой модели рельефа авторы оценили и спрогнозировали изменение различных параметров экосистем на разных уровнях (от природной зоны до лесоустроительного выдела): скорость и направление восстановительных сукцессий, темпы восстановления исходного биоразнообразия, видовой состав возрастных стадий, тенденции динамики древесных запасов насаждений в восстановительных рядах в ходе сукцессии.

Исследования Ермакова Н. Б. и Поляковой М. А. (2007) выполнены в бассейне р. Салы на территории входящей в состав Саяно-Шушенского заповедника. По результатам прямого дешифрирования космического снимка авторами исследования получена модель распространения эколого-физиономических типов сообществ, с учетом специфики горного рельефа.

Алсынбаева К.С. и Ермаков Н.Б. (2008) провели моделирование поясно-зональных типов лесной растительности на основе результатов изучения

закономерностей их высотно-поясного и эколого-топографического распределения методами градиентного анализа, а также построением картографической модели пространственной организации разнообразия биотопов лесной растительности. Созданная ими модель представляет дифференциацию пространственных единиц лесной растительности в среде двух ведущих эколого-топографических факторов – высоты над уровнем моря и экспозиции склона.

Козлов Д.Н. (2006) в качестве объекта исследования в своей работе выбрал южнотаежные ландшафты территории Центрального Лесного заповедника Тверской области. Полученная им цифровая модель рельефа использовалась для расчета характеристик константных и переменных состояний земной поверхности с последующим построением карт состояний рельефа, анализа растительности и ландшафтного покрова.

## **Глава 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В соответствии с поставленными задачами, в программу исследований были включены следующие вопросы: 1) по литературным источникам изучить состояние вопроса и написать литературный обзор; 2) создать 3-D модель рельефа Лысогорского плато; 3) на основе созданной модели дать характеристику орографических условий по основным морфометрическим характеристикам рельефа; 4) сформировать имеющиеся пространственные и атрибутивные данные и наполнить ими геоинформационную систему природного парка «Кумысная поляна»; 5) выявить связь между лесной растительностью и морфометрическими характеристиками рельефа.

Существуют различные способы создания 3-D моделей рельефа. Одним из самых простых, но трудоёмких, является способ, в котором сначала необходимо получить на основе имеющейся аналоговой карты данные для построения цифровой модели рельефа в виде набора объектов с координатами и высотными отметками, а затем импортировать их в программу, которая построит эту самую модель.

Для построения цифровой модели местности для ГИС «Кумысная поляна» была выбрана топографическая карта природного парка Лысогорского плато. Карта состояла из 64 фрагментов с подробным описанием топографии местности с шагом горизонталей рельефа в 1 м. Цифровой объём информации в полученной карте составил 1821313 кб, размер 31319 на 31280 пикселей, при горизонтальном и вертикальном разрешении 300 точек на дюйм и глубине цвета 32 бит.

Оцифровка горизонталей производилась в среде приложения ArcMap 10 программного комплекса ArcGIS, обладающего мощным функционалом для проведения анализа информации и создания 3-D модели рельефа. Данная операция для топографической карты, покрывающей площадь около 6000 га, заняла более 600 человеко-часов рабочего времени

Все операции с созданными и полученными на их основе слоями, проводились с помощью набора программных инструментов ArcMap 10 – Arc Toolbox. Наиболее востребованными оказались: 3D Analyst Tools, Conversional Tools и Spatial Analyst Tools.

После оцифровки всех горизонталей заносились данные о соответствующей высоте над уровнем моря. Формирование 3-D поверхности осуществлялось из слоя Изолинии, после создания его TIN-модели, с помощью процедуры Create Tin.

Чтобы оценить рельеф более наглядно, на каркас 3-D модели были наложены сверху растровые файлы в виде космоснимка и топографической карты. Для этого TIN-модель была привязана к географическим координатам этих растровых изображений методом трансформации векторных слоёв, с помощью основной панели Spatial Adjustment. Итог трансформации представлен на рисунке 2.1.

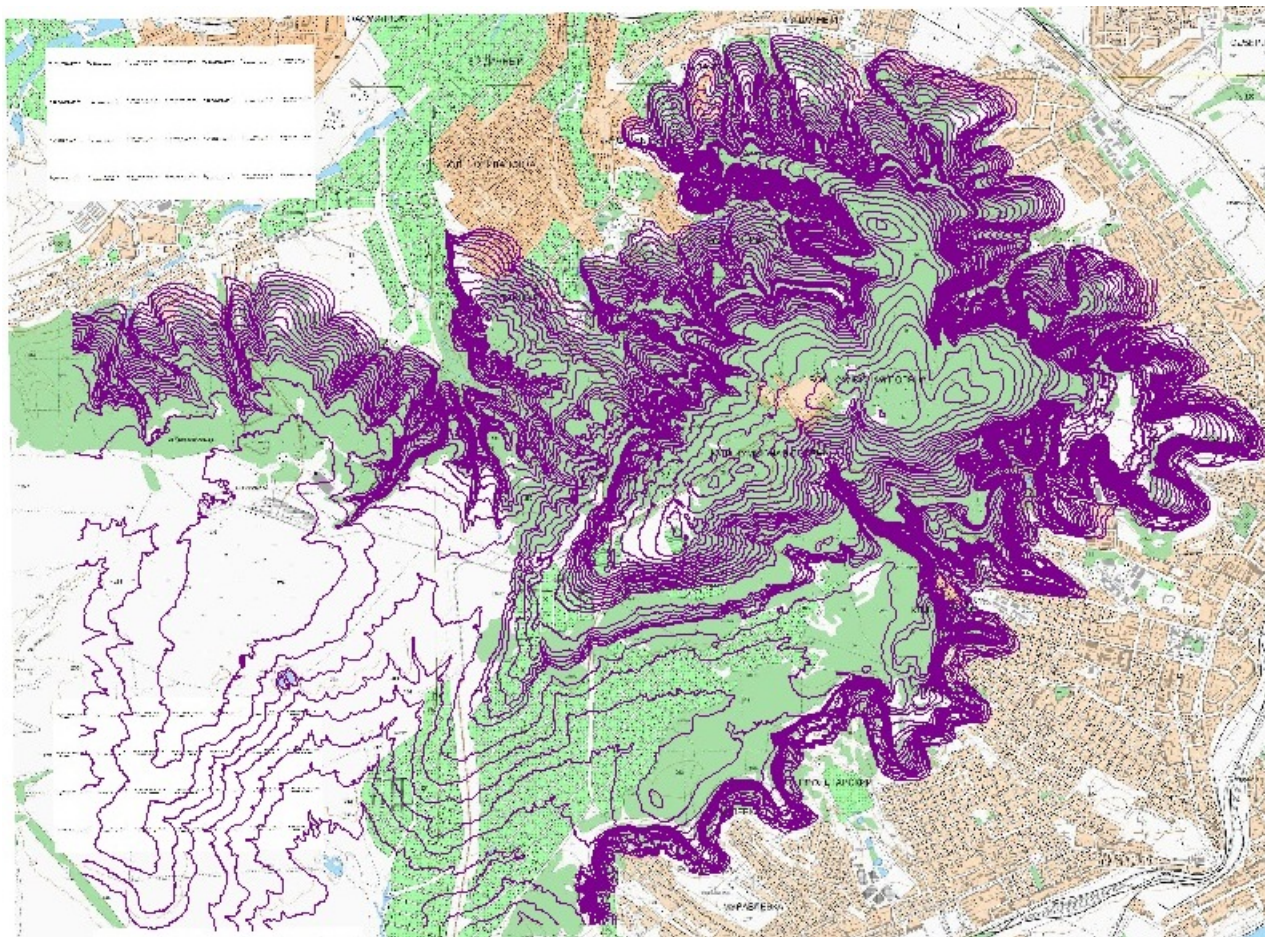


Рисунок 2.1 – Наложение слоя Изолинии на топографическую карту

Следующим шагом была привязка векторных слоев ГИС «Кумысная поляна» (theme 2\_2, theme1, themepp, theme4, theme7, theme2, защитность, зоны, инвазии), по вышеописанному методу.

Далее, на основе уже привязанных слоёв, вновь создаётся TIN-модель из слоя Изолинии и поверх неё натягивается космоснимок (рис 2.2).



Рисунок 2.2 – 3-D модель с наложенным космоснимком и слоя Кварталы

Для статистического анализа полученной 3-D модели использовался слой theme2\_2, к которому присоединялись поэтапно базы данных (рис. 2.3), содержащие сведения об одной из 5 выбранных преобладающих пород: дуба (Д), берёзы (Б), клены (Кл), липы (Лп) и осины (Ос).

1	ID2	SV	Zemly	PrPoroda	Sostav	A	H	D	KassA	GruppaA	Bonitet	TipLesa	TLRU	P	M	KlassTov	Qc	R
2	1.6	0.6	покр_лесом	Ос	60с4Лп	60	18	20	6	4	3	ДОС	Д2	7	16	3	6	
3	7.2	0.9	покр_лесом	Ос	80с2Лп	60	19	20	6	4	3	ДОС	Д2	7	18	3	8	
4	8.6	0.7	покр_лесом	Ос	10Ос	70	20	20	7	4	3	ДОС	Д2	7	20	3	10	
5	10.5	2.1	покр_лесом	Ос	70с2Лп1д	45	14	14	5	4	3	ДБМ	С1_2	7	10		7	
6	14.8	0.5	покр_лесом	Ос	60с2Д2Лп	60	15	18	6	4	4	ДБМ	С1_2	8	14	3	6	
7	16.2	0.6	покр_лесом	Ос	70с3Лп	45	14	16	5	4	3	ДОС	Д2	7	11	3	7	
8	22.8	2.3	покр_лесом	Ос	50с3Лп2д	55	16	18	6	4	3	ДОС	Д2	7	13	3	5	
9	23.1	2.8	покр_лесом	Ос	50с3Лп2д	55	16	18	6	4	3	ДОС	Д2	8	15	3	5	
10	23.12	2.2	покр_лесом	Ос	50с1д3Лп1Кл	55	16	16	6	4	3	ДОС	Д2	7	13	3	5	
11	24.3	1	покр_лесом	Ос	50с3Лп2д	55	16	18	6	4	3	ДОС	Д2	8	15	3	5	
12	24.8	17	покр_лесом	Ос	60с3Лп1д	45	15	14	5	4	3	ДОС	Д2	9	16	3	6	
13	27.2	2.5	покр_лесом	Ос	70с3Лп	45	14	16	5	4	3	ДОС	Д2	8	13	3	7	
14	28.1	3.5	покр_лесом	Ос	80с1д1Лп	40	12	14	4	3	4	ДБМ	С1_2	9	12	3	8	
15	28.3	5.2	покр_лесом	Ос	80с1д1Лп	50	14	16	5	4	4	ДБМ	С1_2	9	14	3	8	
16	28.5	1.7	покр_лесом	Ос	80с2Д	40	12	16	4	3	3	ДБМ	С1_2	7	9	3	8	
17	29.7	0.3	покр_лесом	Ос	80с2Лп	50	17	18	5	4	3	ДОС	Д2	8	17	3	8	
18	35.13	0.5	покр_лесом	Ос	60с2Д2Лп	55	14	16	6	4	4	ДБМ	С1_2	7	11	3	6	
19	36.2	0.7	покр_лесом	Ос	60с3Лп1д	45	16	16	5	4	3	ДБМ	С1_2	7	13	3	6	
20	43.4	0.6	покр_лесом	Ос	80с2Лп	45	15	18	5	4	3	ДОС	Д2	8	14	3	8	
21	43.6	0.8	покр_лесом	Ос	80с2Лп	45	15	18	5	4	3	ДБМ	С1_2	8	14	3	8	
22	44.2	0.2	покр_лесом	Ос	90с1д	45	14	16	5	4	3	ДБМ	С1_2	9	14	3	9	
23	44.4	0.6	покр_лесом	Ос	80с2Д	40	12	16	4	3	4	ДБМ	С1_2	7	9	3	8	
24	47.11	0.5	покр_лесом	Ос	60с2Д2Лп	50	16	18	5	4	3	ДБМ	С1_2	8	17	3	6	
25	48.9	2.6	покр_лесом	Ос	40с3Кл2Лп1Олч	60	19	22	6	4	3	ДБМ	С1_2	7	20	3	4	
26	48.12	2.3	покр_лесом	Ос	60с2Лп1д1Б	50	19	20	5	4	2	ДБМ	С1_2	8	18	3	6	
27	48.13	1.7	покр_лесом	Ос	70с2Лп1Кл	50	19	20	5	4	2	ДОС	Д2	7	16	3	7	
28	52.16	0.6	покр_лесом	Ос	70с3Лп	40	17	16	4	3	2	ДОС	Д2	8	17	3	7	
29	53.5	2.3	покр_лесом	Ос	60с3Лп1д	50	17	20	5	4	2	ДОС	Д2	8	15	3	6	
30	53.10	1.4	покр_лесом	Ос	70с3Лп	45	17	16	5	4	2	ДОС	Д2	8	17	3	7	
31	55.7	6.5	покр_лесом	Ос	50с3Лп2д	45	14	16	5	4	3	ДОС	Д2	8	13	3	5	
32	57.5	1.2	покр_лесом	Ос	80с2Лп	45	14	18	5	4	3	ДПКЛ	Д1	7	12	3	8	

Рисунок 2.3 – База данных одной из преобладающих пород в среде табличного процессора Microsoft Excel



Затем, для каждой породы определялись морфометрические показатели занимаемых ими участков рельефа: абсолютной высоты (Height), экспозиции (Aspect) и крутизны (Slope) склонов.

Все данные сохранялись в среде табличного процессора Microsoft Excel и анализировались (рис. 2.4).

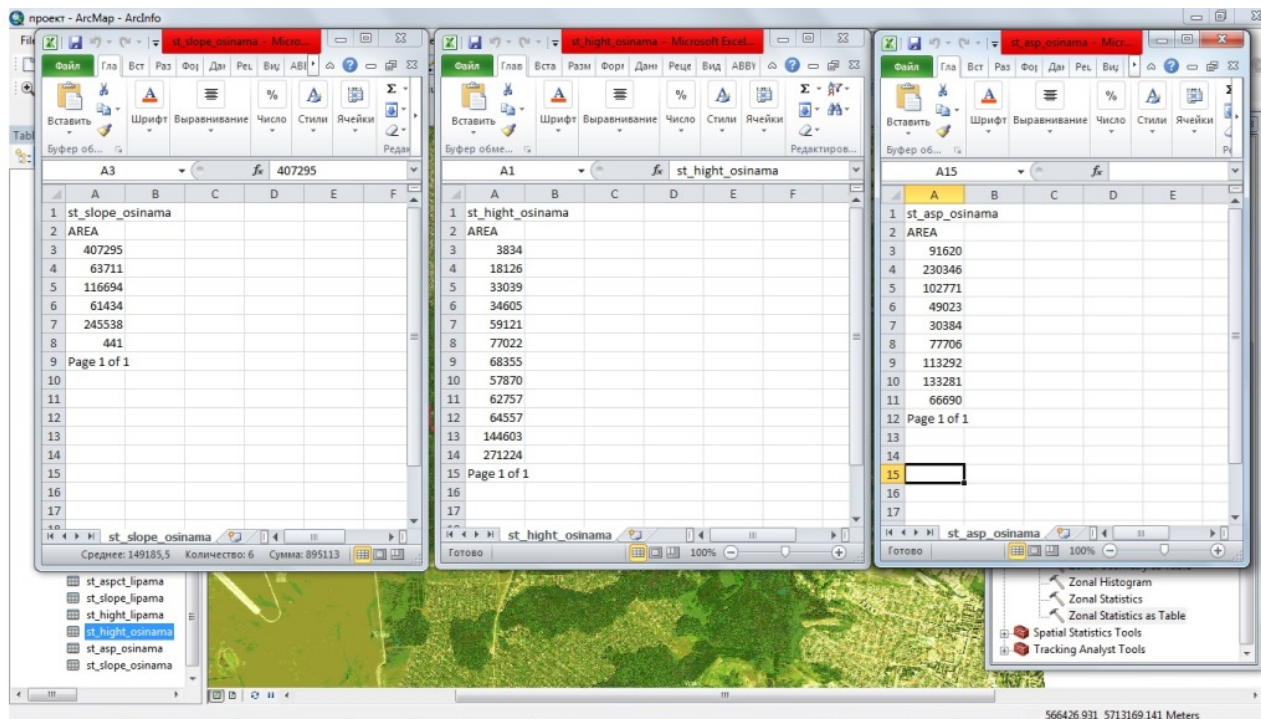


Рисунок 2.4 – Данные анализа морфометрических показателей рельефа занимаемого одной из преобладающих пород

Последним этапом анализа, проводимого в среде ArcMap 10 стало установление корреляционных зависимостей между основными показателями древостоя, такими как: бонитет, ТЛРУ, тип леса, полнота и преобладающая порода и морфометрическими показателями рельефа – абсолютной высотой, экспозицией и крутизной склонов. Установка корреляционных связей проводилась с помощью процедуры Principal Component. Все данные сохранялись в среде текстового редактора Блокнот и анализировались (рис. 2.5).

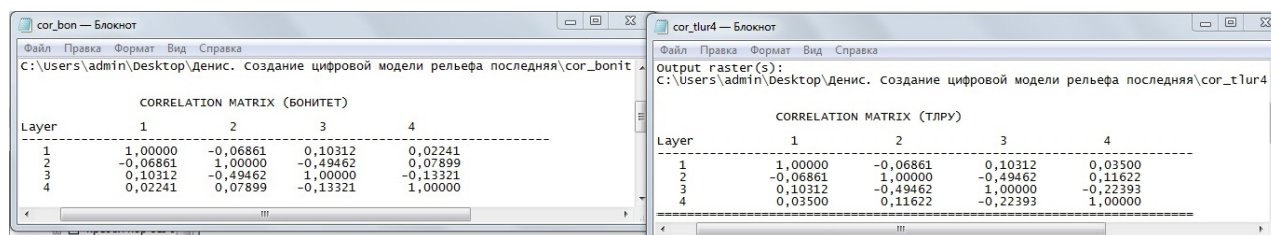


Рисунок 2.5 – Некоторые корреляционные зависимости, открытые в среде текстового редактора Блокнот

### Глава 3. ГИС ПРИРОДНОГО ПАРКА «КУМЫСНАЯ ПОЛЯНА»

В соответствии с одним из определений, ГИС – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о необходимых объектах. Следовательно, ГИС «Кумысная поляна» должна содержать позиционные (географические) и непозиционные (атрибутивные) данные, заложенные в растровых и векторных слоях, табличные данные, являющиеся наполнением ГИС. Так же, не одна современная ГИС не может обойтись без программной среды, позволяющей визуализировать и упростить анализ данных, хранящихся в ГИС. В качестве такой программной среды для ГИС «Кумысная поляна» был выбран программный комплекс ArcGIS, сочетающий в себе мощный функционал по визуализации и анализу данных.

В качестве растровых слоёв, при наполнении ГИС «Кумысная поляна» были выбраны топографическая карта и космоснимок. Оба растровых файла получены с помощью программы SAS.Планета (Release 121010), причём топографическая карта получена с базы данных Генштаб ТопоКарта (Маршруты.ру), а космоснимок – со спутника Яндекс (Яндекс.Карты) Характеристики вышеописанных растров следующие:

1) топографическая карта Кумысной поляны – файл, формата JPEG, объёмом данных 102601 кб, размером 16929 на 13347 пикселей, горизонтальным и вертикальным разрешении 300 точек на дюйм и глубиной цвета 32 бит (слой Genshtabtopomap 2.jpg);

2) космоснимок Кумысной поляны – файл, формата JPEG, объёмом данных 185030 кб, размером 16929 на 13313 пикселей, горизонтальным и вертикальным разрешении 300 точек на дюйм и глубиной цвета 32 бит (слой Yandexmap 2.jpg). Оба файла имеют географическую привязку, а следовательно, на их основе можно производить точные измерения на местности, с помощью инструментов измерения, заложенных в функционале программной среды ArcGIS.

Векторные слои, содержащиеся в ГИС «Кумысная поляна» (рис 3.1), по методу создания, следует разделить на: а) созданные с использованием табличных баз данных; б) оцифрованные по графической подложке; в) полученные с помощью процедур ArcGIS.

С использованием табличных баз данных созданы:

- 1) слой, содержащий данные об инвазиях (инвазии);
- 2) слой, содержащий данные о пробных площадях (пробы);
- 3) слой, содержащий данные о маршрутах описания возрастных парцелл (theme 7);
- 4) слой, содержащий данные о пунктах изучения микроклимата (микроклимат).

Векторные слои, созданные оцифровкой по графической подложке, характеризующие территорию природного парка «Кумысная поляна»:

- 1) слой, содержащий данные о лесных кварталах;
- 2) слой, содержащий данные о таксационных выделах, расположенных на территории природного парка «Кумысная поляна» (их площадях, покрытых и непокрытых лесной растительностью землях, породном составе и его характеристиках: средние значения диаметра, высоты и возраста, бонитет, тип леса, ТЛУР и полноты (theme 2\_2);
- 3) слой, содержащий данные о классе пожарной опасности (theme 1);
- 4) слой, содержащий данные о назначении лесов (themerr);
- 5) слой, содержащий данные о водных объектах (theme 4);
- 6) слой, содержащий данные об асфальтовых дорогах (асфдороги);
- 7) слой, содержащий данные о категориях защитных лесов (защитность);
- 8) слои, содержащие данные о функциональных зонах природного парка (зоны, зоны\_контур);
- 9) слой, содержащий данные о рельефе (горизонталях с сечением рельефа 1 м).

Растровые слои, полученные с помощью процедур ArcGIS, характеризующие территорию природного парка «Кумысная поляна»:

- 1) слой, содержащий данные об экспозиции местности (Aspect\_all);
- 2) слой, содержащий данные о крутизне склонов (Slope\_all);
- 3) слой, содержащий данные о высоте над уровнем моря (Hight\_all)
- 4) слой, содержащий данные о 3-D модели местности (Тинка).

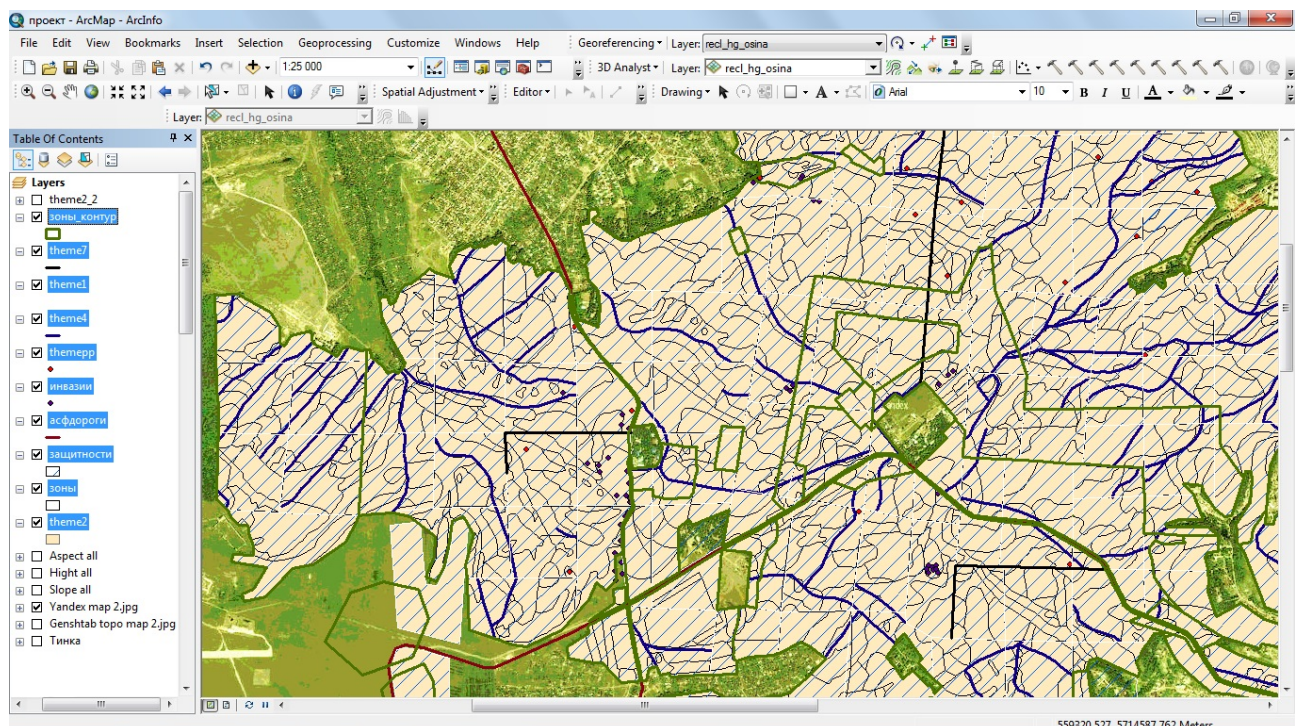
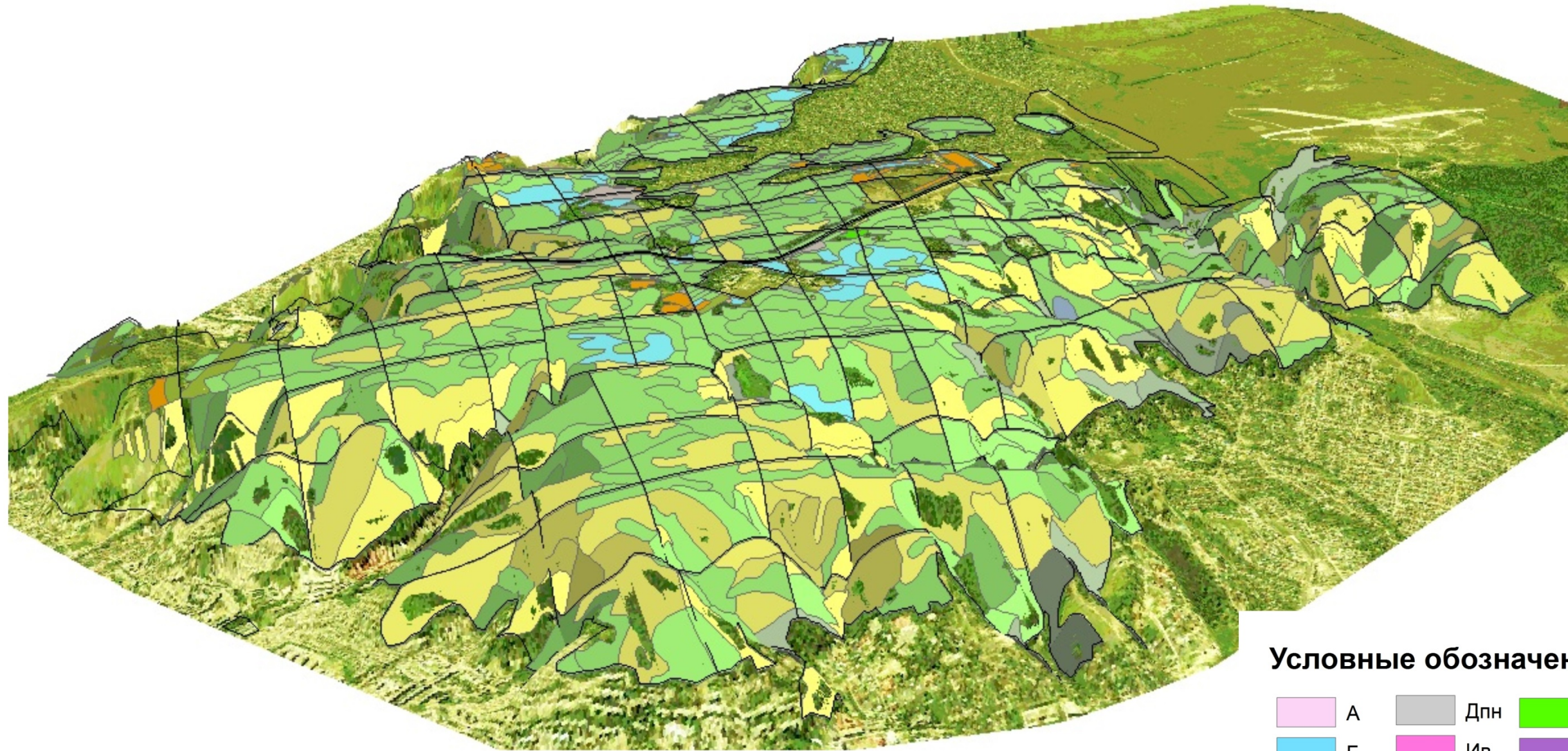


Рисунок 3.1 – Слои ГИС «Кумысная поляна»

3-D модель Лысогорского плато с нанесённым векторным слоем Преобладающая порода



**Условные обозначения:**

А	Дпн	Лщ
Б	Ив	Олч
Бх	Ивд	Ос
В	Ил	С
Вм	Кл	Ск
Д	Л	Тч
Дпв	Лп	Яз
		Яо

## Глава 4. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С МОРФОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕЛЬЕФА

Созданная 3D модель рельефа Лысогорского плато позволила получить детальную характеристику орографических условий.

Лысогорское плато характеризуется высотными отметками от 170 до 300 метров над уровнем моря, крутизна склонов изменяется в пределах от 0,6 до 45°.

Построены карты высот над уровнем моря, экспозиций и крутизны склонов, которые приводятся ниже. При построении карт морфометрические показатели рельефа разбивались на классы.

В таблицах 4.1 – 4.3 приводится распределение всей территории Лысогорского плато и той его части, которая занята лесными насаждениями, по принятым градациям классов высот над уровнем моря, крутизны и экспозиции склонов.

Таблица 4.1 – Распределение территории по классам абсолютных высот

Класс	Численное значение высоты н.у.м, м	Вся территория Лысогорского плато, га	Территория Лысогорского плато под лесной растительностью, га
1	170 – 180	29,74	76,62
2	180 – 190	98,61	72,55
3	190 – 200	261,02	108,24
4	200 – 210	252,61	136,37
5	210 – 220	253,17	160,60
6	220 – 230	257,47	179,75
7	230 – 240	392,87	213,08
8	240 – 250	688,20	297,58
9	250 – 260	834,32	389,12
10	260 – 270	1154,74	494,11
11	270 – 280	1339,66	491,77
12	280 – 290	482,43	449,82
13	290 – 300	564,71	564,71

Таблица 4.2– Распределение территории по классам уклонов склонов

Класс	Наименование	Численное значение, град	Вся территория Лысогорского плато, га	Территория Лысогорского плато под лесной растительностью, га
1	Равнина	0 – 2	3516,43	1449,17
2	Очень пологий склон	2 – 4	847,89	537,75

3	Пологий склон	4 – 8	758,42	491,66
4	Склон средней крутизны	8 – 15	774,63	547,27
5	Крутой склон	15 – 35	697,27	594,08
6	Очень крутой склон	35 – 45	14,91	14,39

Таблица 4.3 – Распределение территории по классам экспозиции

Класс	Ориентация	Численное значение, град.	Вся территория Лысогорского плато, га	Территория Лысогорского плато под лесной растительностью, га
1	Север (North)	337.5-22.5	855,04	497,30
2	Северо-Восток (Northeast)	22.5-67.5	872,26	531,84
3	Восток (East)	67.5-112.5	772,72	449,70
4	Юго-восток (Southeast)	112.5-157.5	952,88	474,35
5	Юг (South)	157.5-202.5	936,17	485,65
6	Юго-Запад (Southwest)	202.5-247.5	610,89	311,03
7	Запад (West)	247.5-292.5	829,07	432,21
8	Северо-Запад (Northwest)	292.5-337.5	780,52	452,24

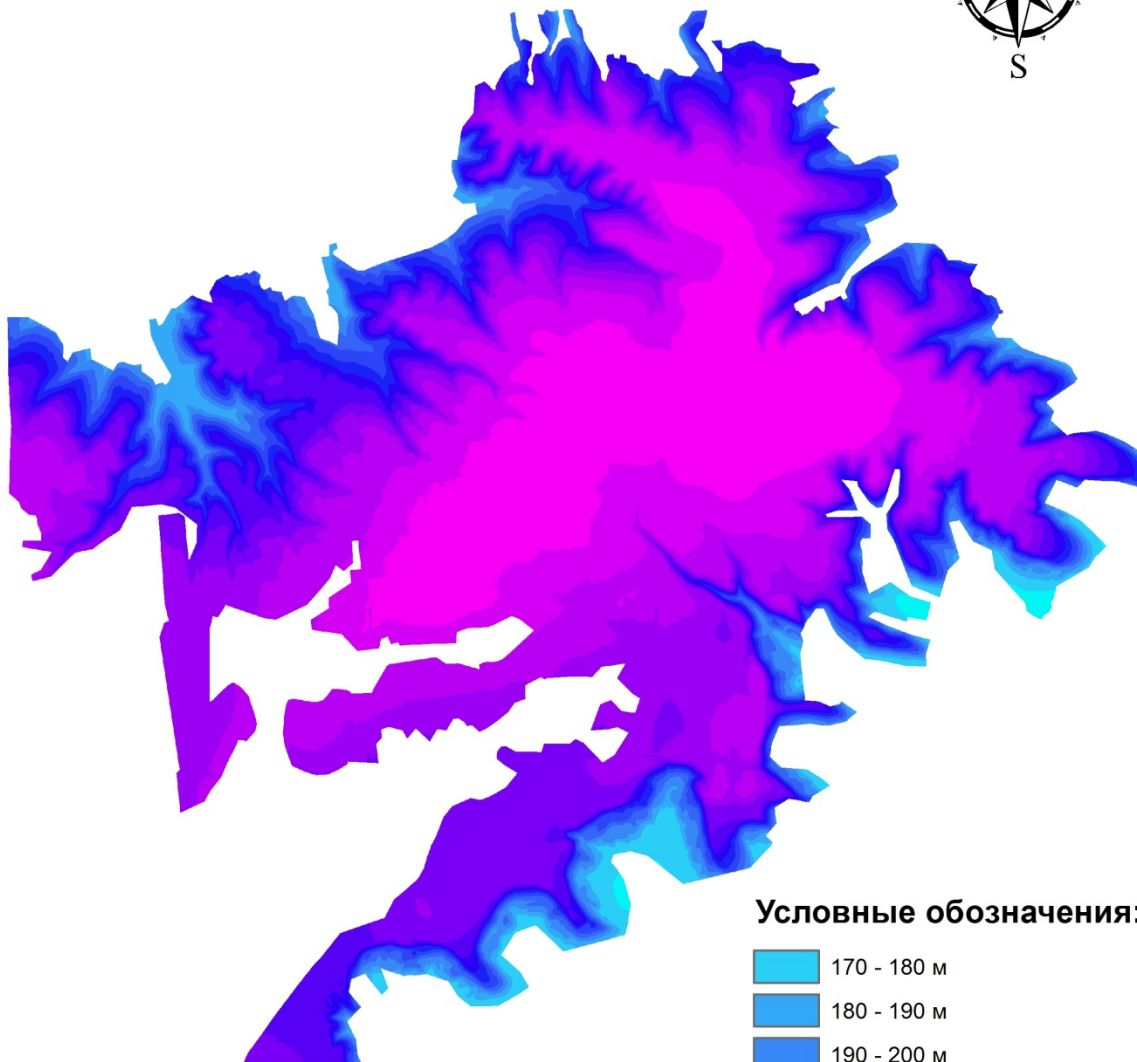
Анализируя общую территорию Лысогорского плато, можно отметить, что наибольшую площадь занимает выровненные поверхности (53%), находящаяся на высоте 250 – 280 м над уровнем моря (50%). Остальная территория примерно пропорционально распределена между склонами крутизной 2 – 35° и преимущественно расположена в высотных поясах 230 – 250 м и 280 – 300 м. Площадь склонов разной экспозиции равномерно распределяется между всеми сторонами света, с незначительным преобладанием Южных и Юго-восточных экспозиций.

Наибольшая площадь под лесной растительности природного парка располагается на участках с высотой над уровнем моря 250 – 300 м (65,7 %), на выровненных поверхностях (40%). Облесённость участков с увеличением крутизны склонов увеличивается.

Лесная растительность на склонах примерно в равных долях распределяется между очень пологими, пологими, средней крутизны и крутыми склонами. Площадь участков, занятых лесной растительностью в зависимости от экспозиции склонов достаточно равномерно распределена между всеми сторонами света, с незначительным преобладанием Северных и Северо-Восточных склонов.

# Тематическая карта абсолютной высоты

М 1:50 000

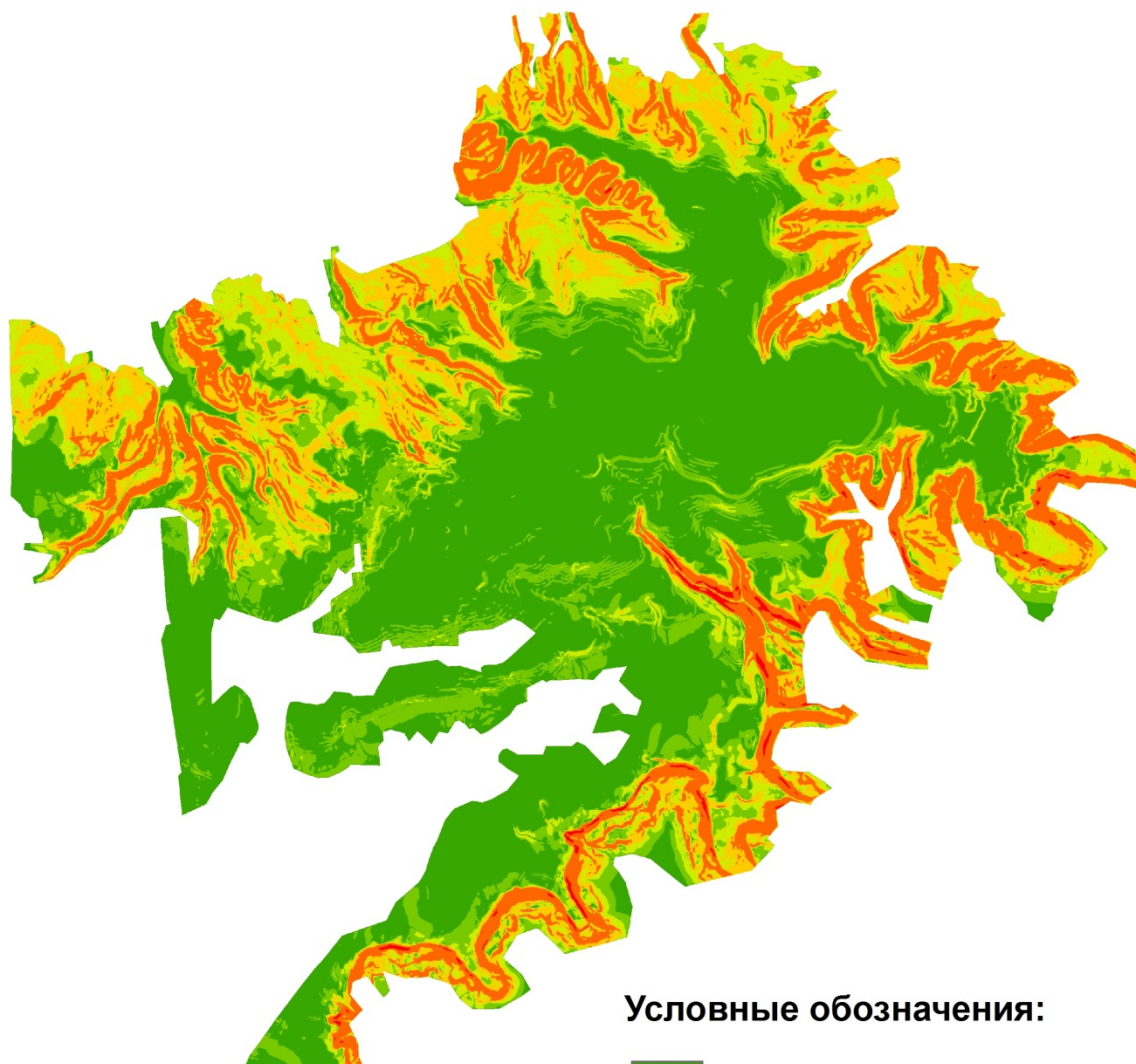


## Условные обозначения:







	170 - 180 м
	180 - 190 м
	190 - 200 м
	200 - 210 м
	210 - 220 м
	220 - 230 м
	230 - 240 м
	240 - 250 м
	250 - 260 м
	260 - 270 м
	270 - 280 м
	280 - 290 м
	290 - 300 м

# Тематическая карта крутизны склонов

М 1:50 000



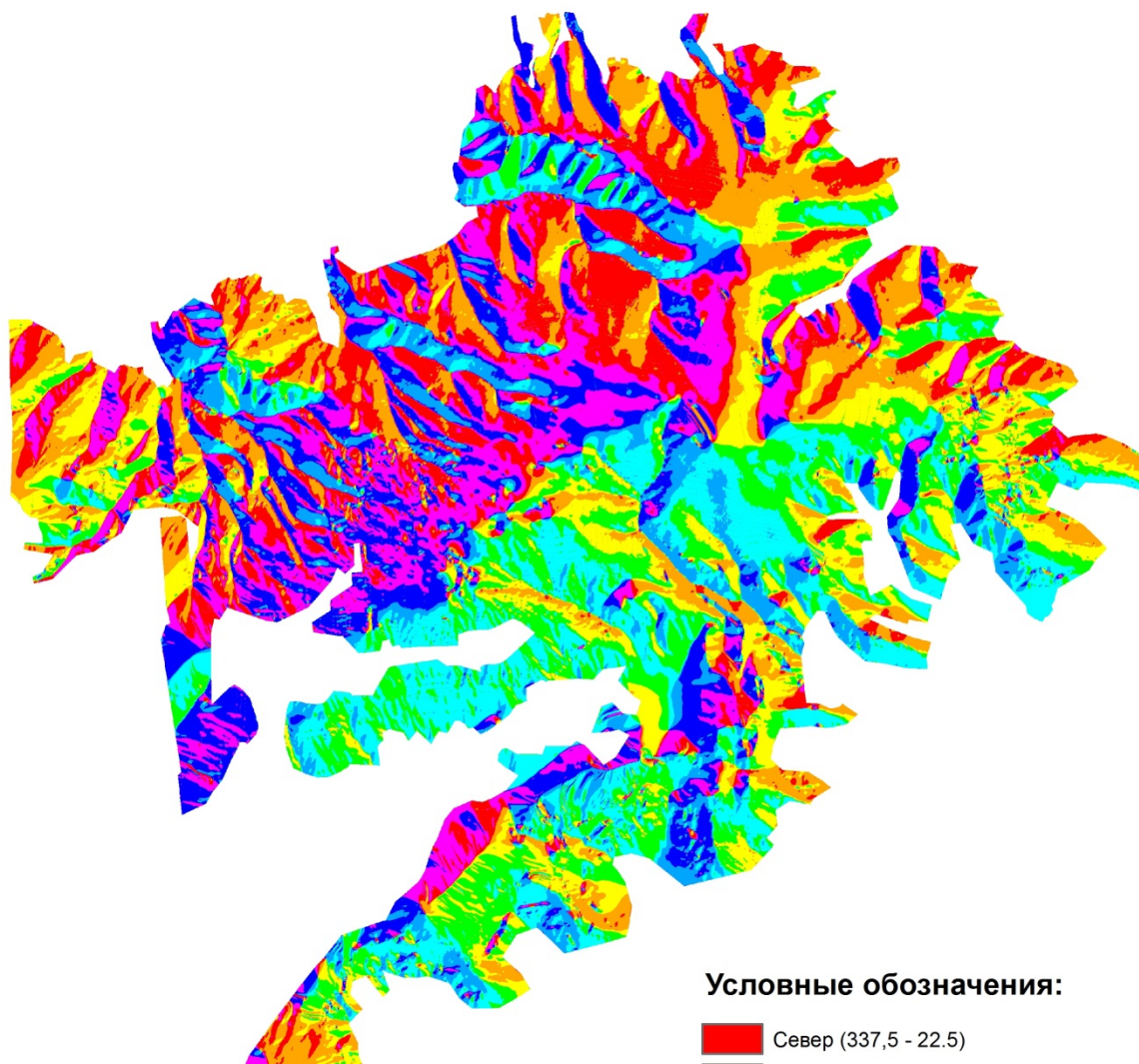
## Условные обозначения:

-  0 - 2 град. (плоскогорье)
-  2 - 4 град. (очень пологий склон)
-  4 - 8 град. (пологий склон)
-  8 - 15 град. (склон средней крутизны)
-  15 - 35 град. (крутой склон)
-  35 - 45 град. (очень крутой склон)



# Тематическая карта экспозиции склонов

М 1:50 000



## Условные обозначения:

-  Север (337,5 - 22,5)
-  Северо-Восток (22,5 - 67,5)
-  Восток (67,5 - 112,5)
-  Юго-Восток (112,5 - 157,5)
-  Юг (157,5 - 202,5)
-  Юго-Запад (202,5 - 247,5)
-  Запад (247,5 - 292,5)
-  Северо-Запад (292,5 - 337,5)

Далее, приводятся показатели пространственной связи характеристик лесных насаждений таксационных выделов с морфометрическими параметрами рельефа

Рельеф земной поверхности формирует зоны аккумуляции и движения веществ, различные климатические и метеорологические характеристики, свойства и состав почвенного и растительного покровов (Moore, Grayson, Landson, 1991; Shary, Sharaya, Mitusov, 2002).

В настоящее время, при создании пространственных моделей рельефа и расположенной на нём лесной растительности, широко используются ЦМР (цифровая модель рельефа), которые обладают достаточной точностью (Мкртчян, 2006). ЦМР представляет собой совокупность значений отметок высоты рельефа над уровнем моря, приуроченных к узлам достаточно мелкой регулярной сети, и является цифровым выражением высотных характеристик рельефа на топографической карте.

Компьютерный анализ ЦМР предоставляет возможность использовать производные морфометрические, гидрологические и иные характеристики, полученные путем применения к ЦМР того или иного алгоритма, для косвенного определения характеристик почвы, растительности, микроклимата и других компонентов ландшафта (Мкртчян, 2006; Хромых, 2007; Сысуев, Шарый, 2000).

На формирование разнообразия местообитаний и растительного покрова, по мнению многих авторов (Tom, Miller, 1987; Козлов, 2006, 2009; Vogiatzakis, 2003; Погорелов, Думит, Куркина, 2008 и др.), влияет ряд основных топографических факторов, таких как абсолютная высота, уклон и кривизна поверхности, экспозиция склона. Так, абсолютная высота определяет вертикальную зональность почв и растительности в горных районах. Крутизна и ориентация склонов контролируют скорость и направление поверхностных потоков, интенсивность испарения осадков, снеготаяния и некоторые свойства почв (Козлов, 2009). Горизонтальная и вертикальная кривизны в значительной степени контролируют распределение и перераспределение в почве влаги, органического вещества, что в свою очередь, влияет на растительность, микроклимат, водный баланс, экологические условия местопроизрастания (Сысуев, 2000; Козлов, 2009). Следовательно, все вышеописанные показатели влияют и на состав лесных насаждений, произрастающих на различных формах рельефа.

При выборе морфометрических характеристик необходимо учитывать особенности рельефа конкретной территории, специфику механизмов его влияния на процессы дифференциации растительного покрова. Степень исследования разных характеристик не достаточна, в связи с чем, рекомендовать универсальный список морфометрических параметров, пригодных для любых целей исследования и для любых территорий проблематично. Значит, для выбора объективных морфометрических параметров и оценки возможности их использования в лесном хозяйстве должен применяться комплексный анализ ЦМР, космоснимков и полевых материалов.

Многими исследователями (Мкртчян, 2008; Данилова, Рыжкова, Корец, 2010; и др.) используются топографические переменные в комбинации со спектральными характеристиками космоснимков для пространственного моделирования преобладающего растительного покрова. На основе этих исследований выяснилось, что различные растительные сообщества часто показывают подобные спектральные характеристики, а их специфическое топографическое местоположение может помочь в отличии одного от другого. На основе построенной ординационной модели, выявлен характер связей растительных сообществ с ведущими экологотопографическими факторами - абсолютной высотой над уровнем моря и экспозицией склонов (Ермаков, 2006). Эти выявленные закономерности легли в основу преобразования абстрактной модели ординации в картографическую модель пространственных единиц лесного покрова.

Однако в различных регионах влияние рельефа на дифференциацию свойств растительности проявляется различным образом. Так же следует учитывать, что не все свойства почвенного и растительного покровов связаны с параметрами рельефа, а при переходе от одного масштаба к другому характер этих зависимостей может меняться. Неточности при моделировании организации растительности, которые не могут быть вычислены по топографическим показателям или спектральным характеристикам, могут быть выявлены при использовании дополнительной информации, например, климатических характеристик территории.

Для анализа взаимосвязи характеристик лесных насаждений с морфометрическими характеристиками рельефа Лысогорского плато, на котором расположен природный парк «Кумысная поляна», были исследованы корреляционные зависимости некоторых показателей лесных насаждений в границах таксационных выделов и ряда топографических факторов, таких как, абсолютная высота, уклон и экспозиция склона.

В природном парке 16 лесообразователей, основными являются дуб, липа, береза, клен, осина. Бонитет древостоев варьирует в интервале от 1а до 5а бонитета, полнота от 0,3 до 0,9. Отмечено 16 типов леса и 12 эдапов лесорастительных условий - от С0 до С5, и от Д0 до Д4

Оценка корреляции производилась методом «Главных компонент», описанным в главе «Программа и методика исследований». Результаты приведены в таблице 4.4.

Как видно из таблицы, наибольшая корреляция из сравниваемых пар показателей отмечена между высотой над уровнем моря и типом лесорастительных условий (22,4%). Остальные корреляционные зависимости ещё слабее и лишь у нескольких пар коэффициент корреляции превышает 10%. Наименьшая корреляция зафиксирована между уклоном местности и полнотой древостоя (0,6%). Таким образом, достоверных статистических взаимосвязей между основными характеристиками лесных насаждений таксационных выделов и морфометрическими параметрами рельефа нам получить не удалось.

Таблица 4.4 – Показатели пространственной корреляции характеристик лесных насаждений с морфометрическими параметрами рельефа

Характеристики лесных насаждений	Параметры рельефа		
	Экспозиция	Уклон	Высота над уровнем моря
Преобладающая порода	0,01733	-0,05936	0,04473
Бонитет	0,02241	0,07899	-0,13321
Полнота	-0,03163	0,00640	0,10245
Тип ЛРУ	0,03500	0,11622	-0,22393
Тип леса	0,02736	0,07494	-0,14454

Пространственные взаимосвязи между рельефом и лесной растительностью на самом деле существуют, в том числе и в природном парке "Кумысная поляна". Об этом свидетельствуют, например, исследования ИТ.Х. Хайрова (2012), С.В. Кабанова (2013).

Причины, по которым нам не удалось выявить взаимосвязи с использованием ГИС-анализа, заключаются в основном в используемых нами данных. Напомним, что сведения о растительности были взяты нами из повидельной базы данных материалов лесоустройства 1994 года. И дело не только в том, что это очень устаревшие данные.

Границы выделяемых при лесоустройстве таксационных выделов в большей части случаев не соответствуют природным территориальным комплексам (ПТК), т.к. при их выделении не учитывается структура ландшафта и границы природных комплексов. Границы выделов проведены, как это принято в лесоустройстве, по преобладающим породам. В природном парке очень часто склоны одного оврага вместе с донной его частью объединены лесоустроителями в один таксационный выдел, в отдельные выделы не обособляются малые по площади, ленточные по форме сообщества вдоль водотоков и по дну оврагов. Кроме того, границы лесных сообществ значительно трансформированы хозяйственной деятельностью – рубками прошлых лет, созданными участками лесных культур.

Большую приуроченность насаждений к тому или иному положению в рельефе можно понять по данным, приведенным в таблице 4.5. Они приводятся для пяти основным лесообразующих пород природного парка.

Таблица 4.5 – Морфометрические показатели рельефа, наиболее характерные для основных лесообразователей природного парка

Преобладающая порода	Морфометрический показатель						Общая площадь, занимаемая породой, га
	Уклон местности, °	Доля от общей занимаемой площади, %	Абсолютная высота, м	Доля от общей занимаемой площади, %	Экспозиция склона	Доля от общей занимаемой площади, %	
Дуб	0 - 2°	44	280 - 290	16,2	Юго-Восток (112.5-157.5)	15,6	1767,3
			290 - 300	16,3	Юг (157.5-202.5)	15,8	
Берёза	0 - 2°	81	290 - 300	32,2	Запад (247.5-292.5)	22,5	121,0
					Северо-Запад (292.5-337.5)	21,6	
Клён	8 - 15°	29,9	200 - 210	15,9	Север (375.5-22.5)	20,8	92,2
			210 - 220	16,0	Северо-Восток (22.5-67.5)	21,0	
Липа	0 - 2°	24,6	270 - 280	13,5	Север (375.5-22.5)	22,6	716,6
	8 - 15°	24,9	290 - 300	13,0	Северо-Восток (22.5-67.5)	23,3	
Осина	0 - 2°	45,5	290 - 300	30,3	Северо-Восток (22.5-67.5)	25,7	89,5

Насаждения дуба, березы и осины чаще всего встречаются на выровненных поверхностях (0 – 2°), клена – на склонах крутизной 8 – 15°. Насаждения липы одинаково часто встречаются как на выровненных поверхностях, так и на склонах крутизной 8 – 15°.

Существенных различий в значениях высот над уровнем моря между породами не отмечается. Исключением является только клен, который больше приурочен к высотным отметкам 200 – 220 м. На днищах глубоких оврагов действительно чаще всего формируются сообщества с господством клена остролистного.

Южные и юго-восточные экспозиции склонов преимущественно заняты дубом, западные и северо-западные – берёзой, а на северных и северо-восточных большая часть породного состава представлена клёном, липой и осинной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магистерская работа содержит результаты исследований и разработок автора, которые можно рассматривать как решение важной научной задачи по развитию методов природоохранного планирования на локальном уровне (участкового лесничества). По результатам работы можно сделать следующие основные выводы:

1. В современных реалиях создание геоинформационной системы является необходимым этапом работы по повышению качества мониторинга окружающей среды, управления лесными ресурсами и изучения

пространственной организации растительного покрова. В качестве данных наполнения ГИС могут выступать как общедоступные источники информации, так и платные, содержащие более подробные сведения по интересующим нас территориям.

2. При выборе геоинформационных системах необходимо руководствоваться полнотой наборов инструментов и процедур, позволяющих проводить глубокий ГИС-анализ.

3. Различные методы создание 3-D модели рельефа отличаются трудоёмкостью и конечной точностью. Наиболее точным методом является ручная оцифровка, однако, она является самой трудоёмкой. На оцифровку поверхности рельефа Лысогорского плато площадью 5000 га потребовалось более 600 человеко-часов времени.

4. Использование 3-D модели в составе ГИС природного парка «Кумысная поляна» позволяет проанализировать распределение породного состава лесных насаждений по элементам рельефа, оценить крутизну, экспозицию и абсолютную высоту любого интересующего нас участка.

5. Наибольшая площадь лесной растительности природного парка располагается на участках с высотой над уровнем моря 250 – 300 м (65,7 %), на выровненных поверхностях (40%). Облесённость участков с увеличением крутизны склонов возрастает. Лесная растительность на склонах примерно в равных долях распределяется между очень пологими, пологими, средней крутизны и крутыми склонами. Площадь участков, занятых лесной растительностью в зависимости от экспозиции склонов достаточно равномерно распределена между всем сторонами света, с незначительным преобладанием Северных и Северо-Восточных склонов.

6. Дифференциация лесных насаждений с преобладанием различных древесных пород относительно экспозиции, крутизны склонов и абсолютной высоты над уровнем моря носит выраженный характер. Насаждения дуба, березы и осины чаще всего встречаются на выровненных поверхностях (0 - 2°), клена – на склонах крутизной 8 – 15°. Насаждения липы с одинаково часто встречаются как на выровненных поверхностях, так и на склонах крутизной 8 – 15°.

7. Южные и юго-восточные экспозиции склонов преимущественно заняты дубом, западные и северо-западные – берёзой, а на северных и северо-восточных большая часть породного состава представлена клёном, липой и осинкой. Существенных различий в значениях высот над уровнем моря между породами не отмечается. Исключением является только клен, который больше приурочен к высотным отметкам 200 – 220 м.

8. Использование для установления показателей пространственной корреляции между растительностью и рельефом таксационных баз данных для условий с выраженным мезорельефом не целесообразно, ввиду большой площади выделов и существенного не совпадения их границ с границами природных территориальных комплексов. Перспективным является получение сведений о растительности на основе использования космических снимков.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Горбунов, Д.Е. Основные источники данных, использованные для создания ГИС природного парка «Кумысная поляна» /. Материалы Третьей Всероссийской конференции по итогам научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2013 год. // Д.Е. Горбунов. – Саратов: СГАУ, 2014.– С. 21-24.

Горбунов, Д.Е. Практическая точность GPS-навигаторов / Материалы Всероссийской практической конференции с международным участием. «Формирование культуры безопасности жизнедеятельности у участников образовательного процесса» / под ред. А.В. Викулова, Н.В. Тимушкиной / Д.Е. Горбунов. – Саратов: Саратовский источник, 2014.– С. 15-18.