

*На правах рукописи*

**ГОФАРОВ Михаил Юрьевич**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ  
БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО)**

25.00.36 - «Геоэкология»

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Москва – 2004

Работа выполнена в Институте экологических проблем Севера  
Архангельского научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук (Россия, Архангельск)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических  
наук **Кутинов Юрий Григорьевич**  
Официальные оппоненты: доктор географических наук  
**Новикова Нина Максимовна**,  
кандидат географических наук  
**Маркелов Данила Андреевич**  
Ведущая организация: Институт геоэкологии РАН (Россия,  
Москва)

Защита состоится «26» октября 2004 г. в 12<sup>00</sup> на заседании  
диссертационного совета Д 220.025.01 при Государственном  
университете по землеустройству Министерства сельского  
хозяйства Российской Федерации по адресу: 105064, г. Москва,  
ул. Казакова, 15.

Факс дисс. совета: (095) 261-71-13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Государственного университета по землеустройству  
Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по  
адресу: 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15.

Автореферат разослан «22» сентября 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук



**З.В. Козелкина**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

Считается, что при сомкнутом растительном покрове смыв на склонах почти не происходит (Проблемы ..., 1999). Однако вследствие антропогенного вмешательства сильно изменяется растительность и свойства грунтов, что обычно ведет к значительному увеличению темпов эрозии. Поэтому развитие эрозионных процессов хорошо изучено для территорий с большой площадью сельскохозяйственных угодий (Танасиенко и др., 1999), где проблема эрозии актуальна в связи с резким возрастанием скорости и интенсивности этих процессов на площадях с нарушенным почвенным и растительным покровом или испытывающим другие формы антропогенной нагрузки, а также высокой экономической значимостью таких земель.

В естественных северотаежных ландшафтах с низкой антропогенной нагрузкой эрозионные процессы протекают значительно медленнее и находят более слабое отражение в формах рельефа. В последнее время в связи с глобальными изменениями климата, приводящими к активизации экзогенных геологических процессов (ЭГП), увеличением масштабов интенсивной хозяйственной деятельности человека, стал актуальным вопрос изучения эрозионной устойчивости равнинных лесопокрытых территорий.

Среди всех факторов, влияющих на эрозию, особо выделяют свойства рельефа. Это связано с тем, что параметры рельефа, такие как длина и крутизна склонов, определяют само возникновение поверхностного стока (Михайлов, 2000), а также концентрацию взвешенных частиц, скорость течения и т.д. В связи с этим встает проблема получения и анализа этих параметров.

Анализ параметров рельефа, гидросети и заболоченности позволяет определить ведущие факторы мозаичности растительного покрова и оценить степень их значимости.

**Цель настоящей работы** – оценка морфологии ландшафтов, степени развития ЭГП и структуры биотического компонента (на примере Беломорско-Кулойского плато) для проведения геоэкологических исследований в северотаежных ландшафтах

Русской равнины с использованием технологий геоинформационных систем (ГИС).

Для достижения этой цели в процессе исследования решались следующие **задачи**:

- 1) определение наиболее адекватного метода моделирования рельефа для равнинных территорий по нерегулярной сети высотных отметок;
- 2) построение цифровой модели рельефа (ЦМР) выбранным методом;
- 3) выделение на основе ЦМР, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и картографической информации типов ландшафтов и местностей исследуемого района;
- 4) оценка и анализ развития эрозионных процессов и заболачивания в северотаежных ландшафтах.

#### **Научная новизна.**

На основе анализа и оценки большого количества способов построения среднемасштабной ЦМР для равнинных территорий по нерегулярной сети высотных отметок определен наиболее подходящий метод интерполяции. Построена среднемасштабная ЦМР территории Беломорско-Кулойского плато (БКП). Получены и проанализированы численные параметры рельефа района исследований, влияющие на развитие ЭГП в северотаежных ландшафтах. Выделены различия в протекании ЭГП в разных местностях БКП. На основе методов многомерного математического анализа установлены ведущие факторы, влияющие на пространственную структуру биотического компонента.

#### **Практическая значимость.**

Проведенное исследование алгоритмов и методов построения ЦМР, ее всестороннего анализа в ГИС может быть использовано для обобщения и прогноза состояния природной среды, для поддержки принятия всесторонне сбалансированных научных, управленческих и инвестиционных решений.



Рис. 1. Обзорная карта-схема района исследований (по: Савинов, 1968; Атлас Архангельской области, 1976). 1-6 – административные районы Архангельской области: 1 – Мезенский, 2 – Приморский, 3 – Онежский, 4 – Плесецкий, 5 – Холмогорский, 6 – Пинежский. А-Д – заказники: А – Лайский природный биологический; Б – Соянский природный биологический; В – Уемский природный биологический; Г – Голубинский природный комплексный; Д – Двинской природный биологический; Е – Пинежский заповедник. ☀ - группы кимберлитовых тел (1 – Золотицкая, 2 – Верхотинская).

На территории района исследований диссертационной работы находятся особо охраняемые территории, такие как Пинежский заповедник, Соянский и Голубинский заказники, природный карстово-геологический заказник «Железные ворота», а также природный парк «Приморский». Вблизи этих уникальных природных объектов осуществляется доразведка и разработка открытым способом разведанных месторождений алмазов имени Ломоносова, Карпинского, и др., разрабатывается проект размещения водозаборов централизованного водоснабжения г. Архангельска на площади развития кондиционных пресных вод в районе верхнего течения р. Пачуги и оз. Пачозеро (Малов, 2001), ведутся лесозаготовительные работы. Поэтому для прогноза изменений окружающей среды под действием этих факторов необходимо оценить фоновое состояние и динамику природных процессов. Таким образом, данные о ЭГП и структуре биотического компонента экосистем могут быть использованы для проведения экологической экспертизы подобных проектов и мониторинга состояния окружающей среды на территории БКП.

### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Для построения среднемасштабной ЦМР для равнинных территорий по нерегулярной сети высотных отметок наиболее оптимальным является метод интерполяции регуляризованными сплайнами с натяжением.
2. Интенсивность эрозионных процессов в северотаежных ландшафтах БКП невысока, причем процессы донной эрозии и плоскостного смыва наиболее развиты на территориях распространения зандровых песков и карстующихся осадочных горных пород, а процессы боковой эрозии – в областях развития конечно-моренных образований.
3. Гипсометрическое положение оказывает наибольшее влияние на формирование растительного покрова в местностях с широким распространением карбонатных и карбонатно-сульфатных пород, где наблюдается наиболее низкая энтропия растительного покрова.
4. Ведущими факторами, вносящими значимый и достоверный вклад в различия структуры растительного покрова между местностями БКП, служат: а) степень дренированности местности для площадной структуры растительности; б) степень эрозионной расчлененности рельефа – для экотонных зон.

**Апробация работы.** Материалы диссертационного исследования доложены и обсуждены на следующих научных конференциях: Ломоносовские научные студенческие конференции (г. Архангельск, Поморский государственный университет им. М.В.Ломоносова, 1997, 1998, 1999 гг.); X Ломоносовские научные чтения (г. Архангельск, Поморский государственный университет им. М.В.Ломоносова, 1998 г.); Региональная конференция «Экология – 98» (г. Архангельск, ИЭПС УрО РАН, 1998 г.); Межвузовская конференция «Экология» (Архангельск, Архангельский государственный технический университет, 1999 г.); Международная конференция «Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура» (Архангельск, ИЭПС УрО РАН, 2000 г.); Молодежная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» (г. Сыктывкар, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2001 г., 2004 г.); Региональная научно-практическая конференция «Ломоносова достойные потомки (к 290 летнему

юбилею М.В.Ломоносова)» (г. Архангельск, администрация Архангельской области, 2001 г.); Международная конференция «Экология северных территорий России» (г. Архангельск, ИЭПС УрО РАН, 2002 г.); Международная молодежная конференция «Экология 2003» (г. Архангельск, ИЭПС УрО РАН, 2003 г.); Всероссийская конференция «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов» (г. Архангельск, Институт экологических проблем Севера АНЦ УрО РАН, 2004 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ. 1 статья находится в печати.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Основной текст изложен на 146 страницах, включая 14 таблиц и 46 рисунков. Список литературы содержит 124 работы, из них 25 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор благодарен своему научному руководителю – директору ИЭПС УрО РАН, д.г.-м.н. Ю.Г. Кутинову, чье внимательное отношение в большой степени способствовало написанию этой диссертации. За помощь в решении поставленных задач, оказанную предоставлением материалов, автор благодарит к.г.н. Н.В. Коновалову и с.н.с. ИЭПС УрО РАН В.Н. Широкова. За неоценимую помощь в процессе сбора и обработки материалов для диссертационной работы автор благодарен зам. директора по научным вопросам ИЭПС УрО РАН, к.б.н. И.Н. Болотову и Ю.А. Швакову.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава I. Физико-географическая характеристика района исследований**

В главе описано положение исследуемого района в общей структуре физико-географического районирования Европейского Севера России (по А.Г. Исаченко, 1995), дано краткое описание его геологического строения и морфологии рельефа.

Рассмотрены климатические условия территории и отмечены важные характеристики (Захарченко, 1996), определяющие развитие ЭГП рассматриваемой территории – толщина снежного покрова (в среднем 45-60 см) и глубина сезонного промерзания

почв (варьирует от 30 до 134 см, составляя в среднем для суглинков 66 см).

Показано, что почвенный покров БКП очень разнообразен и отражает мозаичность и неоднородность строения рыхлого покрова, а также характер поверхностного рельефа и связанные с ним дренажные условия (Горячкин, 2000; Малов, 2000). В главе даются общие сведения о распространении различных типов почв по территории БКП.

Приведена краткая история формирования растительного покрова, его общая характеристика современного пространственного распределения в районе исследования, перечислены наиболее распространенные здесь естественные и антропогенные биогеоценозы.

## **Глава II. Методики и материалы исследования**

### **2.1. Материалы исследования**

Векторные карты водотоков, озер и горизонталей были построены автором оцифровкой растровых изображений карт масштаба 1:200000 и 1:100000. Основой для построения ЦМР послужили векторные карты горизонталей (высота сечений рельефа 20 м), отметок высот и урезов воды согласно методическим рекомендациям (Методическое руководство ..., 1972; Руководство ..., 1986). Частично были использованы цифровые карты, любезно предоставленные к.г.н. Н.В. Коноваловой. Вспомогательными материалами для построения и коррекции ЦМР также послужили векторные карты речной сети и озер. Продольное сечение рек с сильно врезанными долинами уточнялось путем линейной интерполяции по урезам воды и вычисленным при первом построении ЦМР высотам истоков.

Выделение границ ландшафтов проводилось на основе геоэкологической карты БКП, составленной с.н.с. ИЭПС УрО РАН В.Н. Ширококовым. Также использовались геологические карты Архангельской области, данные ДЗЗ и предварительно построенная диссертантом ЦМР. Для среднемасштабных картографических исследований (на уровне ландшафтов и местностей) в таежной зоне хорошо подходят данные, получаемые с искусственного спутника Земли Landsat-7

(Гофаров, 2002), которые и были использованы для подготовки настоящей работы (снимки 2000 г.).

Кроме того, использованы материалы многолетнего мониторинга состояния компонентов природной среды в Пинежском заповеднике (Летописи природы Пинежского заповедника за 1977-2002) и данные Архангельской лесоустроительной экспедиции (Комплексные системные исследования ..., 2003) по состоянию и динамике лесных сообществ на территории дельтовой части р. Северная Двина и Беломорско-Кулойского плато.

## **2.2. Методики анализа данных**

### ***Обзор и сравнение методов создания и анализа ЦМР***

Был проведен визуальный анализ трехмерных моделей и сравнение количественных показателей точности ЦМР (табл. 1) построенных различными методами. Исследование показало, что большинство методов, реализованных в распространенных ГИС-пакетах, непригодно для создания среднемасштабных ЦМР равнинных территорий из оцифрованных изолиний и отметок высот (Гофаров, Болотов, 2003). Сглаженная поверхность, которая должна соответствовать среднемасштабному представлению рельефа на карте, была получена только с помощью методов интерполяции сплайнами и кригинга. Методы интерполяции сплайнами без натяжения имели недопустимую неточность, а метод кригинга создавал в ЦМР естественно выглядящие артефакты не отраженные в исходных данных.

**Таким образом, для построения среднемасштабной ЦМР равнинных территорий из оцифрованных изолиний и отметок высот наиболее оптимальным методом является метод интерполяции регуляризованными сплайнами с натяжением (*regularised spline with tension*) (первое защищаемое положение).**

Это является следствием того, что плотность данных, полученных из векторного материала, очень неоднородна, что сильно ухудшает качество построения ЦМР такими методами, как TIN и IDW. В сравнении с методом кригинга примененный метод дает более точные результаты по нерегулярной сети высотных отметок при моделировании ЦМР на исследуемую территорию.

Таблица 1

**Количественные показатели точности ЦМР, полученных с помощью различных методов интерполяции**

Метод интерполяции	1	2	3	4
Обратно взвешенные расстояния	1,5126	60,0000	2,3361	100,0000
Триангуляция Делоне	1,5707	60,2557	1,6577	120,0000
Сплайнами с натяжением	1,5779	59,8927	2,3168	21,5234
Полностью регуляризованными сплайнам	1,5968	60,2179	0,9918	100,0000
Регуляризованными сплайнами с натяжением	2,0878	56,7185	1,0201	18,6397
Кригинг	6,5655	42,0918	2,5978	12,9767

1-4 – количественные показатели точности ЦМР (в метрах): 1 – среднеквадратичная ошибка (RMSE) отклонений значений высот в исходных изолиниях рельефа; 2 – максимальная ошибка отклонений значений высот в исходных изолиниях рельефа; 3 – RMSE отклонений значений высот в изолиниях рельефа, полученных по рассчитанной модели; 4 – максимальная ошибка отклонений значений высот в изолиниях рельефа, полученных по рассчитанной модели.

Для оценки влияния рельефа на некоторые виды ЭГП были проанализированы распределения углов наклона поверхности, профильной кривизны и коэффициента топографии с учетом экспозиции. Так же были вычислены такие параметры речной сети, как густота, извилистость и средний угол наклона водотоков (в промилле).

***Подготовка данных ДЗЗ и их дешифрирование***

Дешифрирование материалов ДЗЗ проводилось в ГИС-пакете GRASS методом кластерного анализа без обучения. Для каждой местности кластеризация выполнялась отдельно. Это необходимо в связи с тем, что для каждой сцены характерны свои яркостные и контрастные параметры. И хотя выбранные сцены имеют близкие временные и атмосферные условия, неравномерность выбора элементов для обучения может исказить результаты кластеризации: в разные классы могут попасть сходные местообитания, имеющие неравномерное распределение в отличающихся по яркости и контрастности сценах. Кроме того, такой подход упрощает анализ классификации с использованием априорных данных и визуального дешифрирования (ERDAS, 1997).

***Методы анализа результатов дешифрирования данных ДЗЗ***

Неоднородность биотического компонента анализировалась с использованием данных, полученных применением модулей ГИС-пакета GRASS под общим префиксом r.le. Это индекс Шеннона, средняя энтропия, количество и площадь выделов

различных растительных сообществ, анализ экотонов различного уровня.

Выделение основных факторов, влияющих на формирование структуры природно-территориальных комплексов БКП, проводилось с использованием кластерного, компонентного и корреляционного методов анализа.

### **Глава III. Морфологические характеристики ландшафтов северной тайги**

В этой главе подробно описаны выделенные природно-территориальные комплексы (ПТК) в ранге ландшафтов и местностей. Проанализированы их основные морфологические характеристики.

Основанием для выделения типов ландшафтов послужили различные типы ледниковых и водноледниковых отложений с учетом влияния воздымающих неотектонических движений. Эти генетические отличия определили индивидуальные для каждого типа ландшафта формы рельефа, различный характер дренажа и, следовательно, рисунок гидросети и разные особенности распространения растительных формаций. Было выделено три типа ландшафтов (рис. 2): плоская столообразная возвышенность северной тайги на зандровых песках; холмисто-грядово-западинная денудационно-аккумулятивная возвышенность северной тайги; полого-волнистая денудационно-аккумулятивная наклонная равнина северной тайги.

Средняя высота БКП составляет 96 м. Наиболее высокое гипсометрическое положение занимает плоская столообразная возвышенность северной тайги в центральной части БКП со средней высотой 138 м. Более низкое гипсометрическое положение занимают участки развития биогенных отложений холмисто-грядово-западинной денудационно-аккумулятивной возвышенности северной тайги. Средняя высота местности 2в (обозначения расшифрованы в подписи к рис. 2) выше таковой в двух других местностях этого ландшафта.

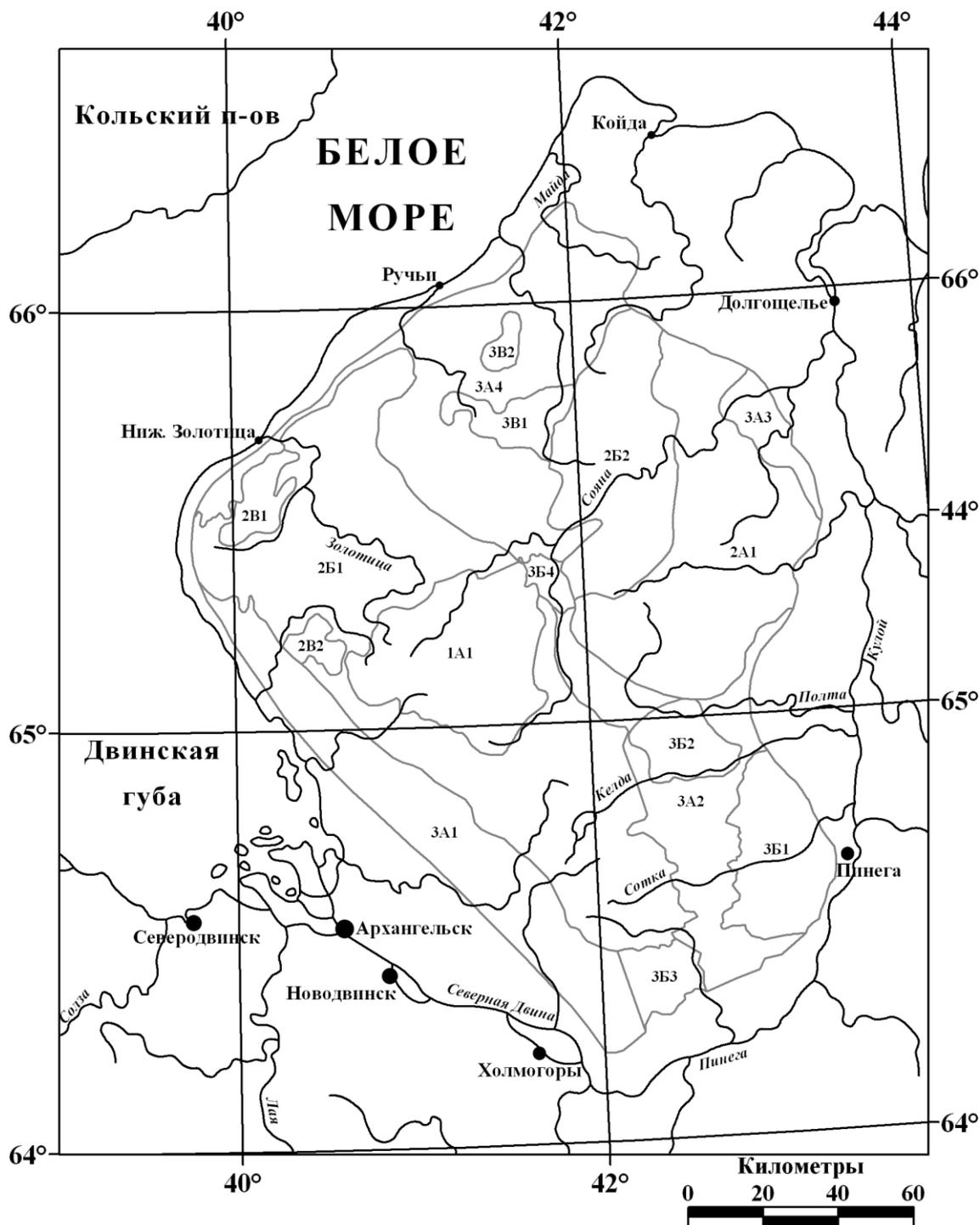


Рис. 2. Схема ландшафтно-типологического районирования Беломорско-Кулойского плато (по: Болотов, Гофаров, 2003). Местности БКП: 1 – плоская столообразная возвышенность северной тайги развитая на зандровых песках; 2а – холмисто-грядово-западинная денудационно-аккумулятивная возвышенность северной тайги развитая на зандровых песках; 2б – холмисто-грядово-западинная денудационно-аккумулятивная возвышенность северной тайги развитая на конечной морене; 2в – области развития биогенных отложений холмисто-грядово-западинной денудационно-аккумулятивной возвышенности северной тайги; 3а – полого-волнистая денудационно-аккумулятивная наклонная равнина северной тайги развитая на конечной морене; 3б – полого-волнистая денудационно-аккумулятивная наклонная равнина северной тайги развитая на карбонатно-сульфатных породах; 3в – области развития биогенных отложений полого-волнистой денудационно-аккумулятивной наклонной равнины северной тайги.

Две других местности холмисто-грядово-западинной денудационно-аккумулятивной возвышенности (2а и 2б) занимают более низкое гипсометрическое положение – 116 и 110 м соответственно. В третьем типе ландшафтов БКП особенно заметно влияние воздымающихся неотектонических движений. Это проявилось в аномально высоком среднем гипсометрическом положении полого-волнистой денудационно-аккумулятивной наклонной равнины северной тайги, развитой на карбонатно-сульфатных породах. Ее средняя высота составляет 86 м, что на 17 и 18 м выше местностей 3в и 3а соответственно.

Мозаичность и разнообразие растительного покрова на территории БКП слабо зависят от гипсометрического положения местности и очень сильно – от условий дренажа и характера рельефа. Местности, имеющие низкие базисы эрозии и развитые на зандровых песках, карбонатных или сульфатных породах (такие как 1, 2а и 3б) отличаются низкими значениями разнообразия и мозаичности растительности. В структуре ландшафта это проявляется в повышенных средних площадях выделов этих местностей и увеличении площади и доли самого крупного выдела.

Основными выявленными факторами, увеличивающими разнообразие и мозаичность растительного покрова местностей на территории БКП, являются большая площадь долин рек и наличие различных стадий восстановления зональной растительности, связанной главным образом с сукцессионными процессами на гарях и территориях хозяйственной деятельности человека (по лесоустроительным данным, на территории БКП вырубки не превышают 2% от общей площади района). Эти факторы ведут к увеличению доли мелколиственных и смешанных лесов, а в случае лесозаготовительной деятельности также к увеличению площади заболоченных территорий.

Одним из современных факторов техногенного воздействия на ландшафты центральной части БКП является разработка месторождений алмазов открытым способом. Работа водопонижительных скважин приведет к существенному понижению уровня подземных вод и образованию депрессионной воронки диаметром более 15 км (Малов, 2003).

Очень четко прослеживаются различия между местностями БКП по распределению доли площади, занимаемой растительными формациями в пределах класса в зависимости от гипсометрического положения. Кривые распределения растительности в основном близки по форме к гипсометрической кривой, но иногда и обладают значительными отличиями. Для местностей, развитых на конечной морене, разница в долях площади растительных формаций составляет около 7 – 9%, причем отсутствуют заметные отклонения от формы гипсометрической кривой. В областях с широким распространением карбонатных и карбонатно-сульфатных пород (1, 2а, 3б) разница между долями площади растительных формаций может достигать 22%, часты отклонения от формы гипсометрической кривой. Это говорит о большем влиянии гипсометрического положения на условия формирования растительности в этих местностях.

Наибольшие различия в распределении растительных формаций наблюдаются в пределах группы высот. Это отражает влияние характера рельефа и подстилающих пород на распределение классов растительных формаций внутри местности, причем на них прослеживается индивидуальная картина распределения для каждого типа местностей.

Таким образом, хотя распределение растительных формаций на уровне местностей Беломорско-Кулойского плато слабо зависит от гипсометрического положения, внутри классов растительности и групп высот этих местностей такая зависимость существует. Растительный покров является наиболее значимым и достоверным индикатором природно-ландшафтных условий местности. Он четко отражает условия, создаваемые рельефом, подстилающими породами и климатом, которые обуславливают специфику увлажнения и теплообеспеченности местностей и определяют почвообразовательные процессы. В главе 5 эта особенность проанализирована на уровне местностей с помощью многомерных статистических методов.

#### **Глава IV. Пораженность северотаежных ландшафтов экзогенными геологическими процессами**

В данной главе рассмотрены такие параметры рельефа, как

средний наклон дневной поверхности,  $LS$ -фактор, профильная ( $dx$ ) и тангенциальная ( $dy$ ) кривизны поверхности, а также особенности их пространственного распределения в местностях. В результате комплексного анализа этих данных установлено, что рельеф района исследований в большей мере способствует процессам седиментации, чем процессам эрозии (табл. 2).

Таблица 2

Показатели, характеризующие степень развития эрозионных процессов на территории БКП

Показатели	Местности*							БКП
	1	2а	2б	2в	3а	3б	3в	
Площадь, км <sup>2</sup>	1727,88	3035,18	7693,51	404,30	7893,01	1882,23	464,54	23100,66
Средняя высота поверхности, м	138	116,26	109,56	120,53	67,52	86,39	68,57	95,68
Средний наклон поверхности, град.	1,26	2,18	1,37	0,86	1,26	1,8	0,76	1,45
Доля плоских поверхностей и сингулярных точек, %	41,92	36,17	33,96	37,62	40,51	41,55	40,50	37,90
Среднее значение $LS$ фактора	47,1	85,95	51,28	37,41	49,37	65,41	35	56,9
Доля территорий со значимым $LS$ фактором, %	18,23	25,74	22,34	14,93	18,77	23,00	12,97	20,99
Доля территорий с положительным значением $dx$ , %	5,18	10,70	5,72	2,68	4,79	7,80	1,98	6,06
Доля территорий с положительным значением $dy$ , %	5,54	10,16	12,20	3,16	5,23	8,29	2,35	6,32
Средний уклон водотоков, град.	1,42	2,76	2,17	1,58	1,58	2,01	1,28	1,92
Густота речной сети, км/км <sup>2</sup>	0,31	0,37	0,40	0,45	0,48	0,28	0,57	0,41
Общая извилистость водотоков	1,17	1,21	1,28	1,23	1,30	1,20	1,23	1,27

\* - Обозначения местностей приведены в подписи к рис. 2.

Это является следствием сочетания малых углов наклона и преобладания вогнутой формы склонов. Процессы эрозии интенсивно идут в основном вдоль сильно врезуемых водотоков. Но и на этих участках рельеф не оказывает сильного влияния на увеличение интенсивности эрозионных процессов. Это происходит вследствие двух особенностей формирования склонов. С одной стороны, вершины склонов с выпуклой формой склонов занимают малую плановую площадь и характеризуются низким значением  $LS$ -фактора. С другой стороны, основания склонов, занимающие большую плановую площадь и характеризующиеся большими значениями  $LS$ -фактора, обладают

в основном вогнутой формой склонов. Более того, даже склоны с большим углом наклона в большинстве случаев покрыты лесом, что практически устраняет интенсивное развитие эрозионных процессов. Исключения составляют местности с широким распространением карстующихся карбонатных (2а) и сульфатно-карбонатных пород (3б), где склоны нередко лишены древесной растительности и часты обнажения коренных пород.

Экспозиция склонов в зависимости от местности может оказывать значительное влияние на благоприятность условий развития того или иного типа растительных формаций. Это влияние особенно заметно для тех типов растительных формаций, которые не являются типичными для этой местности. Для территорий развития биогенных отложений (2в, 3в) такой тип определить трудно, для остальных же местностей это светлохвойные и смешанные леса, болотные и луговые ассоциации. На интенсивность эрозионных процессов экспозиция склонов в масштабе местности не влияет. Проявлению такой зависимости мешает слабый общий наклон исследуемой территории, а так же то, что большая площадь территории со значительными углами наклона является лесопокрытой.

Эрозионная работа водотоков, направленная на углубление речной долины, на большей территории БКП выражена в средней степени: для таких территорий характерны сильно врезанные и умеренно извилистые долины рек с углом наклона потока около двух градусов. Наибольшее влияние на увеличение интенсивности процессов донной эрозии оказывает повышенное по отношению к прилегающим территориям гипсометрическое положение и пересечение долинами рек участков распространения карстующихся карбонатных (2а) и сульфатно-карбонатных пород (3б).

Около 67% территории БКП занято местностями, водотоки которых характеризуются как умеренно извилистые. Основной причиной увеличения извилистости является распространение подстилающих пород, обладающих более низкими дренирующими возможностями и в слабой степени подверженных размыванию. Местности со слабо извилистыми водотоками расположены на участках относительных поднятий, обладающих малой густотой речной сети.

Суммируя вышеизложенное (гл. III, IV) следует отметить, что:

- интенсивность эрозионных процессов в северотаежных ландшафтах БКП невысока, причем процессы донной эрозии и плоскостного смыва наиболее развиты на территориях распространения зандровых песков и карстующихся осадочных горных пород, а процессы боковой эрозии – в областях развития конечно-моренных образований (второе защищаемое положение);

- в местностях с широким распространением карбонатных и карбонатно-сульфатных пород, где наблюдается наиболее низкая энтропия растительного покрова, гипсометрическое положение оказывает наибольшее влияние на формирование растительного покрова (третье защищаемое положение).

## Глава V. Мозаичность биотического компонента ландшафтов северной тайги

В этой главе проведена оценка роли геологических и геоморфологических факторов в формировании мозаичности биотического компонента ландшафтов БКП.

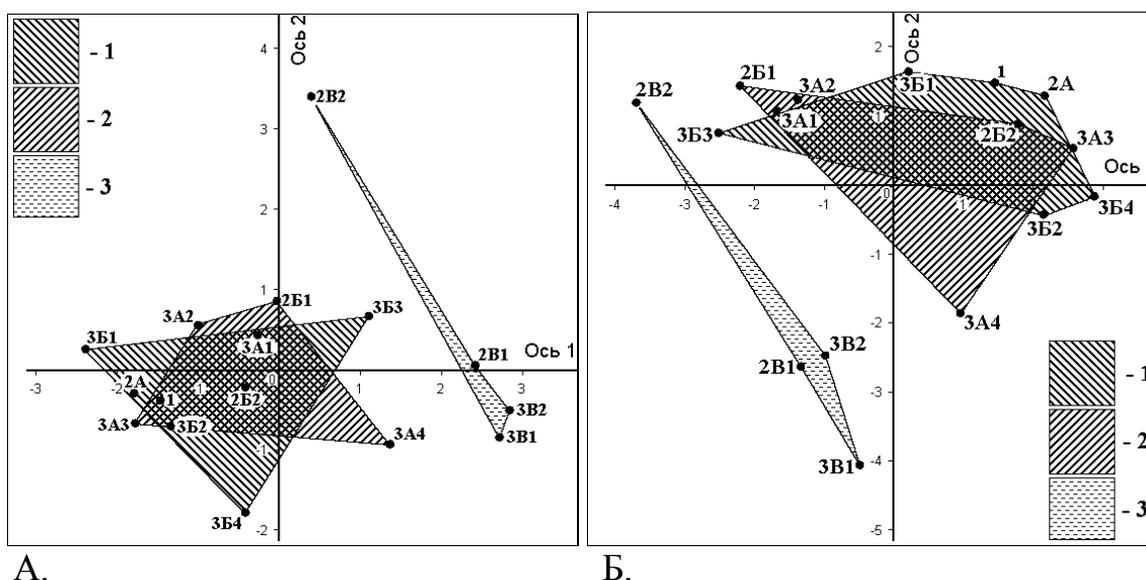


Рис. 3. Ординационные диаграммы анализа главных компонент структуры растительного покрова (А) и экотонных зон (Б) природно-территориальных комплексов БКП. Полигоны: 1 – местности, развитые на зандровых песках с широким распространением карбонатных и карбонатно-сульфатных пород; 2 – местности, развитые на конечной морене; 3 – области развития биогенных отложений. Точки на схеме соответствуют местностям, обозначения которых приведены в подписи к рис. 2.

Применение кластерного и компонентного анализов позволило выделить основные структурообразующие факторы растительного покрова БКП (рис. 3).

Наибольшую значимость имеют степень дренированности местности для площадной структуры растительности (объясняет около 50 % дисперсии) и эрозионной расчлененности рельефа – для экотонных зон (около 40 %). На втором месте находятся комплекс факторов, влияющих на заболоченность плоских междуречий, и густота гидросети (приблизительно по 30 %) соответственно. Третье место по значению в обоих случаях занимает комплекс факторов, влияющих на заболоченность западин мезорельефа (около 20 % и 15 %).

**Таким образом, ведущими факторами, вносящими значимый и достоверный вклад в различия структуры растительного покрова между местностями БКП, служат: а) степень дренированности местности для площадной структуры растительности; б) степень эрозионной расчлененности рельефа – для экотонных зон (четвертое защищаемое положение).**

## **ВЫВОДЫ**

1. Для построения среднемасштабной ЦМР для равнинных территорий по нерегулярной сети высотных отметок наиболее подходящим является метод интерполяции регуляризованными сплайнами с натяжением.
2. Наиболее высокое гипсометрическое положение занимает плоская столообразная возвышенность северной тайги в центральной части БКП со средней высотой 138 м, а наиболее низкое – участки развития биогенных отложений холмисто-грядово-западинной денудационно-аккумулятивной возвышенности северной тайги. Влияние воздымающихся неотектонических движений особенно заметно в третьем типе ландшафтов БКП. Это проявилось в аномально высоком среднем гипсометрическом положении полого-волнистой денудационно-аккумулятивной наклонной равнины северной тайги развитой на карбонатно-сульфатных породах.

3. На основании анализа среднего наклона дневной поверхности, *LS*-фактора и кривизны поверхности установлено, что рельеф района исследований в большей мере способствует процессам седиментации, чем процессам эрозии. Это является следствием сочетания малых углов наклона и преобладания вогнутой формы склонов. Процессы эрозии интенсивно идут в основном вдоль сильно врезанных водотоков. Но и на этих участках рельеф не оказывает сильного влияния на увеличение интенсивности эрозионных процессов. Исключения составляют местности с широким распространением карстующихся карбонатных и сульфатно-карбонатных пород, где склоны нередко лишены древесной растительности и часты обнажения коренных пород.
4. Эрозионная работа водотоков, направленная на углубление речной долины, на большей части территории БКП выражена в средней степени: для таких территорий характерны сильно врезанные и умеренно извилистые долины рек с углом наклона потока около двух градусов. Наибольшее влияние на увеличение интенсивности процессов донной эрозии оказывает повышенное по отношению к прилегающим территориям гипсометрическое положение и пересечение долинами рек участков распространения карстующихся карбонатных и сульфатно-карбонатных пород.
5. Около 67% территории БКП занято местностями, водотоки которых характеризуются как умеренно извилистые. Основной причиной увеличения извилистости является распространение подстилающих пород, обладающих более низкими дренирующими возможностями и в слабой степени подверженных размыванию. Местности с незначительным проявлением процессов боковой эрозии расположены на участках относительных поднятий, обладающих малой густотой речной сети.
6. Экспозиция склонов в зависимости от местности может оказывать значительное влияние на благоприятность условий развития того или иного типа растительных формаций. Это влияние особенно заметно для тех типов

растительных формаций, которые не являются типичными для этой местности. Для территорий развития биогенных отложений такой тип определить трудно, для остальных же местностей это светлохвойные и смешанные леса, болотные и луговые ассоциации. На интенсивность эрозионных процессов экспозиция склонов в масштабе местности не влияет.

7. При анализе данных внутри отдельных местностей выявлено, что гипсометрическое положение оказывает наибольшее влияние на формирование растительного покрова в местностях с широким распространением карбонатных и карбонатно-сульфатных пород, где наблюдается наиболее низкая энтропия растительного покрова.
8. При сравнительном анализе данных по местностям показано, что мозаичность и разнообразие растительного покрова на территории БКП слабо зависят от средней высоты местности и очень сильно – от условий дренажа и характера рельефа. Местности, имеющие низкие базисы эрозии и развитые на зандровых песках, карбонатных или сульфатных породах отличаются низкими значениями разнообразия и мозаичности растительности. В структуре ландшафта это проявляется в повышенных средних площадях выделов этих местностей и увеличении площади и доли самого крупного выдела.
9. По результатам кластерного и компонентного анализов выделены основные структурообразующие факторы растительного покрова БКП. Наибольшую значимость имеют степень дренированности местности для площадной структуры растительности (объясняет около 50 % дисперсии) и эрозионной расчлененности рельефа – для экотонных зон (около 40 %). На втором месте находятся комплекс факторов, влияющих на заболоченность плоских междуречий и густота гидросети (приблизительно по 30 %) соответственно. Третье место по значению в обоих случаях занимает комплекс факторов, влияющих на заболоченность западин мезорельефа (около 20 % и 15 %).

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Гофаров М.Ю.** Устойчивость ландшафтов к экзогенным процессам // Материалы региональной науч.-практ. конф. «Ломоносова достойные потомки». Архангельск, 2001. С. 14-15.
2. **Гофаров М.Ю.** Трансформация ландшафтов Беломорско-Кулойского плато под влиянием хозяйственной деятельности человека в XX веке // Актуальные проблемы биологии и экологии. Материалы докл. конф. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2002. С. 21-24.
3. **Гофаров М.Ю.** Применение ГИС-технологий для определения устойчивости ландшафтов Беломорско-Кулойского плато к экзогенным процессам // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз, ситуации, пути развития, решения. Материалы докл. конф. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2002. Т. 2. С. 20-24.
4. **Гофаров М.Ю., Болотов И.Н.** Ландшафтно-геоэкологические исследования на севере Русской равнины с использованием ГИС-пакета GRASS 5.0.0 // Сергеевские чтения. Вып. 5. Материалы докл. межд. конф. М.: ГЕОС, 2003. С. 462-467.
5. **Болотов И.Н., Гофаров М.Ю.** Применение ГИС для изучения гамма-разнообразия наземных насекомых // Сергеевские чтения. Вып. 5. Материалы докл. межд. конф. М.: ГЕОС, 2003. С. 452-457.
6. **Гофаров М.Ю., Кутинов Ю.Г., Болотов И.Н.** Эрозионные процессы в северотаежных ландшафтах Беломорско-Кулойского плато // Экология-2003. Тез. докл. межд. науч. конф. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2003. С. 16.
7. **Гофаров М.Ю.** Основные структурообразующие факторы растительного покрова // Актуальные проблемы биологии и экологии. Материалы докл. конф. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. С. 67-69.
8. **Гофаров М.Ю.** Основные закономерности мезомасштабной неоднородности растительного покрова // Геоэкология и геодинамика. Материалы докл. конф. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. С. 199-202.
9. **Гофаров М.Ю., Кутинов Ю.Г., Болотов И.Н.** Оценка развития эрозионных процессов в северотаежных ландшафтах Русской равнины с применением ГИС-технологий // Геоэкология, 2005 (в печати).