

*На правах рукописи*



**Беляева Надежда Георгиевна**

**ФИТОЦЕНОТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ  
И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА  
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**03.02.08 – «Экология (в биологии)»**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург  
2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук

Научный руководитель доктор биологических наук,  
**Черненкова Татьяна Владимировна**

Официальные оппоненты: **Уланова Нина Георгиевна,**  
доктор биологических наук, доцент, Федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский  
государственный университет им. М.В. Ломоносова»,  
профессор

**Мирин Денис Моисеевич,**  
кандидат биологических наук, доцент, Федеральное  
государственное бюджетное учреждение высшего  
образования «Санкт-Петербургский государственный  
университет», заведующий кафедрой

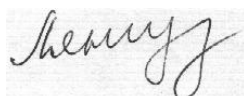
Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт географии Российской академии наук

Защита состоится «31» октября 2018 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета  
Д 002.211.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки  
Ботаническом институте им. В.Л. Комарова Российской академии наук по адресу:  
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.2.  
Тел. (812) 372-54-42, факс (812) 372-54-43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки Ботанического института им. В.Л.  
Комарова Российской академии наук, [dissovet.d00221102@binran.ru](mailto:dissovet.d00221102@binran.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» сентября 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук



Лянгузова Ирина Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Состав и пространственное соотношение лесных сообществ являются важнейшими характеристиками разнообразия лесов (MCPFE, 2002; Заугольнова, Ханина, 2004; Критерии и индикаторы..., 2009; Barbati *et al.*, 2007; Хански, 2010). Изучение экосистемного разнообразия, помимо аспекта инвентаризации, подразумевает выявление взаимосвязей, присущих компонентам экосистем. Именно это положение признано ключевым в рамках физической географии (Берг, 1915; Арманд, 1975), общей экологии (Уиттекер, 1980), ландшафтоведения (Сочава, 1978; Исаченко, 2003) и лесной науки (Морозов, 1949; Сукачев, 1972).

Выявление связи распределения типов леса с ландшафтными условиями является важным направлением исследований для определения характера и интенсивности современных хозяйственных мероприятий (Громцев, 2008; Хорошев, 2012). В этом случае одной из задач является анализ приуроченности различных типов сообществ к экологическим режимам местообитаний и ландшафтным условиям, что, в частности, позволяет адекватно дешифрировать их в спектральном пространстве космических изображений при цифровом картографировании.

Современный уровень исследований предопределяет использование методов статистического анализа, геоинформационных технологий и дистанционной информации для получения данных о ценотическом разнообразии растительного покрова и его отдельных компонентов (Reese *et al.*, 2002; McBratney *et al.*, 2003; Ustin *et al.*, 2004; Пузаченко, 2004; Ruefenacht *et al.*, 2008; Tomppo *et al.*, 2008; Крышень, Литинский, 2013; Белоновская и др., 2014). Разработка цифровых карт дает представление о пространственной неоднородности растительного покрова, позволяет анализировать особенности организации и динамику лесов в рамках природных и административных образований.

Сохранение экосистемного разнообразия лесов представляется весьма актуальной проблемой для Московской области, в том числе из-за положения территории вблизи мегаполиса. Для оценки состояния современного лесного покрова, а также тенденций развития лесных сообществ необходимы комплексные исследования с учетом природных и антропогенных факторов их формирования. В данной работе при исследовании фитоценотического разнообразия лесного покрова юго-западной части Московской области особое внимание уделено истории природопользования, экотопическим и ландшафтным условиям территории.

**Цель работы** состоит в выявлении современного фитоценотического разнообразия и условий формирования лесного покрова юго-западной части Московской области на примере Верейско-Можайского ландшафта. Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) оценка динамики лесного покрова за последние два столетия и его современного состояния с учетом характера природопользования;
- 2) выявление современного фитоценотического разнообразия лесов региона;

3) анализ экотопической приуроченности (условий местообитаний) лесных сообществ на основе количественных методов;

4) выявление пространственной организации лесного покрова с разработкой крупномасштабной карты модельной территории на основе методов многомерного анализа данных;

5) установление роли ландшафтных условий в дифференциации лесного покрова.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Характер хозяйственной нагрузки и ее высокая интенсивность на протяжении последних столетий в центральной части Русской равнины во многом обуславливают распределение лесных сообществ изучаемой территории. В конце XVIII в. подавляющее большинство лесов были сформированы березой и осиной. Показатель лесистости Верейско-Можайского ландшафта в пределах Наро-Фоминского района Московской области менялся от 16.4% (в конце XIX в.) до 56% (в настоящее время). Лишь 4% территории находились под лесом на всех временных срезах.

2. Лесные сообщества относятся к не менее чем 17 синтаксонам ранга групп ассоциаций, принадлежащих 11 формациям и 7 классам формаций, выделенных на основе эколого-фитоценотического подхода. Информативность выделенных синтаксонов как по видовому составу, так и по спектральным характеристикам сообществ подтверждена количественными методами.

3. Использование методов автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования и морфометрических переменных рельефа позволяет создать карту лесной растительности исследованной территории на иерархическом уровне групп ассоциаций с точностью 78% по данным проверки в полевых условиях.

4. Распределение всех групп сообществ на топологическом уровне может быть объяснено спецификой экологических условий занимаемых ими местообитаний. На ландшафтном уровне статистически доказана приуроченность к мезоформам рельефа лесных сообществ следующих групп ассоциаций: еловой мелкотравной, елово-сосновой мелкотравно-широкотравной, елово-осиново-березовой широкоотравной, дубовой широкоотравной, дубово-липово-березово-осиновой широкоотравной, осиновой широкоотравной, сосновой разнотравной, сероольховой широкоотравно-влажнотравной.

**Актуальность** исследования определяется высокой экологической и социальной значимостью подмосковных лесов. Для регулирования нагрузки на лесные экосистемы и поддержания выполняемых ими функций необходима информация о биоразнообразии лесного покрова в различных условиях местообитаний. Установление статистически значимых связей между условиями экотопа и особенностями организации лесных сообществ актуально при изучении как современного состояния лесов, так и направленности сукцессионных процессов. Вопрос значимости ландшафтообразующих факторов с учетом современной и предшествующей истории природопользования территории является важным направлением исследований в области изучения пространственного разнообразия и

организации лесных сообществ. Применение цифровых методов картографирования и анализа пространственного разнообразия отвечает современным подходам к изучению закономерностей распределения лесного покрова.

**Научная новизна.** Впервые дана детальная оценка динамики лесистости и видов хозяйственной деятельности за последние две сотни лет для представительной по площади территории, соизмеримой муниципальному образованию Московской области. При этом использованы архивные материалы, в том числе экономические примечания к планам генерального межевания. Выявлены статистически достоверные различия экологических режимов местообитаний сообществ, что позволило корректно интерпретировать выделенные на основе эколого-фитоценотического подхода классификационные единицы по данным дистанционного зондирования Земли. Новизна заключается в развитии и апробации количественных методов оценки ценотического разнообразия лесов, а также в выявлении факторов его формирования с использованием статистических методов анализа. Впервые для исследованной территории на основе методов многомерного анализа данных (пошаговый дискриминантный анализ) с использованием наземных и дистанционных данных разработана карта высокого разрешения актуального лесного покрова. На основе математической статистики доказана приуроченность половины анализируемых типов лесных сообществ к мезоформам рельефа.

**Практическая значимость.** Выявленные закономерности современного состава и распределения лесных сообществ естественного и искусственного происхождения в связи с условиями местообитаний позволяют определить спектр мероприятий и управленческих решений, направленных на поддержание экосистемного разнообразия лесов. Опыт применения в работе современных средств анализа, ГИС-технологий и математического аппарата может быть использован при осуществлении мониторинга состояния лесов Московской области, при проведении инвентаризационных работ и при создании тематических карт. Апробированная методика составления моделей распределения компонентов ландшафта может быть рекомендована для выявления закономерностей организации лесного покрова и выработки системы пространственных решений устойчивого природопользования на локальном и региональном уровнях.

**Апробация работы.** Результаты работы были представлены и обсуждены на научных конференциях: IV Международной научной конференции «Мониторинг и оценка состояния растительного мира» (Минск, 2013); Международной научной конференции «Растительность Восточной Европы и Северной Азии» (Брянск, 2014); Всероссийской научной конференции «Научные основы устойчивого управления лесами» (Москва, 2014); V Всероссийской геоботанической школе-конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 2015); VI Всероссийской конференции «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии» (Москва, 2016); Международной научной конференции «Современные фундаментальные проблемы классификации растительности» (Ялта, Республика Крым, 2016); Всероссийской научной конференции «Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги» (Петрозаводск, 2017).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 16 работ, 6 – в реферируемых журналах из списка ВАК, из которых 4 – в журналах из списка Web of Science и Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, выводов, списка литературы, двух приложений; изложена на 231 странице и включает 48 рисунков, 23 таблицы. Библиографический список содержит 262 источника, из которых – 38 на иностранном языке.

**Благодарности.** Выражаю искреннюю признательность своему научному руководителю – д.б.н. Т.В. Черненьковой за помощь и огромную поддержку при написании работы, к.б.н. С.Ю. Попову за помощь в работе с данными дистанционного зондирования и в среде ГИС, к.б.н. О.В. Морозовой за ценные советы и консультации при сборе и обработке материала; к.б.н. К.А. Корзникову за советы по статистической обработке данных и в процессе написания рукописи, к.ист.н. Д.А. Быкову за помощь в работе с архивными материалами; к.б.н. Р.Б. Сандлерскому за советы при анализе поверхности рельефа, д.б.н. В.Ю. Нешатаевой за советы при обработке геоботанического материала, а также к.б.н. Т.Ю. Браславской, к.т.н. Д.В. Ершову и Е.А. Гаврилюку за ценные замечания при подготовке работы. Благодарю также коллег, принимавших участие в сборе полевого материала: к.б.н. Е.В. Тихонову, к.б.н. М.А. Архипову и Н.Г. Кадетова. Работа поддержана грантами РФФИ № 16-34-50199 «мол\_нр» и № «16-35-00562 «мол\_а».

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **Глава 1. Физико-географическая характеристика территории исследований**

Территория исследований располагается в юго-западной части Московской области в Наро-Фоминском районе на границе с Калужской областью. Район охватывает бассейн р. Протвы (в её среднем течении) и занимает площадь 51.5 тыс. га.

Существенным фактором, влияющим на особенности природы территории, является ее положение вблизи двух границ – недалеко от южной границы зоны хвойно-широколиственных лесов и в краевой части московского оледенения. В результате территория исследований характеризуется сложной ландшафтной структурой, большим разнообразием местообитаний и высоким ценотическим разнообразием.

### **Глава 2. История изучения разнообразия лесов Московской области**

С начала XX века исследователями (Коновалов, 1929; Алехин, 1934, 1947; Работнов, 1939; Любимова, 1957; Курнаев, 1968; Савельева, 2000; Экосистемы..., 2006; Рысин, Савельева, 2007 и мн. др.) выполнен большой объем работ по оценке разнообразия лесов области. Большинство исследований проводилось с лесотипологических позиций, при этом основным объектом изучения были наименее нарушенные леса. Комплекс биогеоценологических исследований осуществлен в Серебряноборском опытном лесничестве (Рысин, 1968; 2007; Рысин и др., 1999;

2000), на Биогеоценологической станции «Малинки» (Бязров и др., 1971; Носова, Леонова, 2001; Носова и др., 2005), в лесопарковом поясе Подмосковья в различных ландшафтных условиях (Леса Восточного Подмосковья, 1979; Ильинская и др., 1982, 1985; Речан и др., 1993).

Изучение пространственной организации лесного покрова региона наиболее полно нашло отражение на карте «Растительность Московской области» (1996) (М 1:200 000) под ред. Г.Н. Огуреевой. В настоящее время внедрение в практику цифрового моделирования и количественных методов анализа дистанционной информации позволило создать ряд картографических продуктов, характеризующих ценоотическое разнообразие лесов области (Ершов, Гаврилюк, 2012; Черненкова и др., 2015а; Беляева и др., 2018).

Идея связи типов лесных насаждений с ландшафтной структурой территории (Смагин, 1980; Гельтман, 1982) нашла отражение в работах по выделению ландшафтных комплексов типов леса в московском регионе (Ильинская, 1980; Яралидарани, 2004; Огуреева, Булдакова, 2006; Обухова, Тихонова, 2007; Беляева, 2012). В большинстве предшествующих работ приведена качественная оценка распределения сообществ в зависимости от экотопических условий на локальном уровне (Бязров и др., 1971; Савельева, 2000 и др.), а также с учетом приуроченности к элементам рельефа на более высоком пространственном уровне (Курнаев, 1968; Морозова, Тихонова, 2012 и др.). В последнее время применяются методы количественного анализа связи характеристик рельефа с ценоотическим разнообразием лесов и его отдельными параметрами (Козлов и др., 2008; Черненкова и др., 2015а; Пузаченко, Черненкова, 2016). Это позволяет использовать при анализе зависимости организации растительного покрова от непосредственно морфометрических характеристик (уклон, абсолютная высота, кривизна плановая, профильная и др.), а также от форм рельефа, полученных при классификации морфометрических переменных.

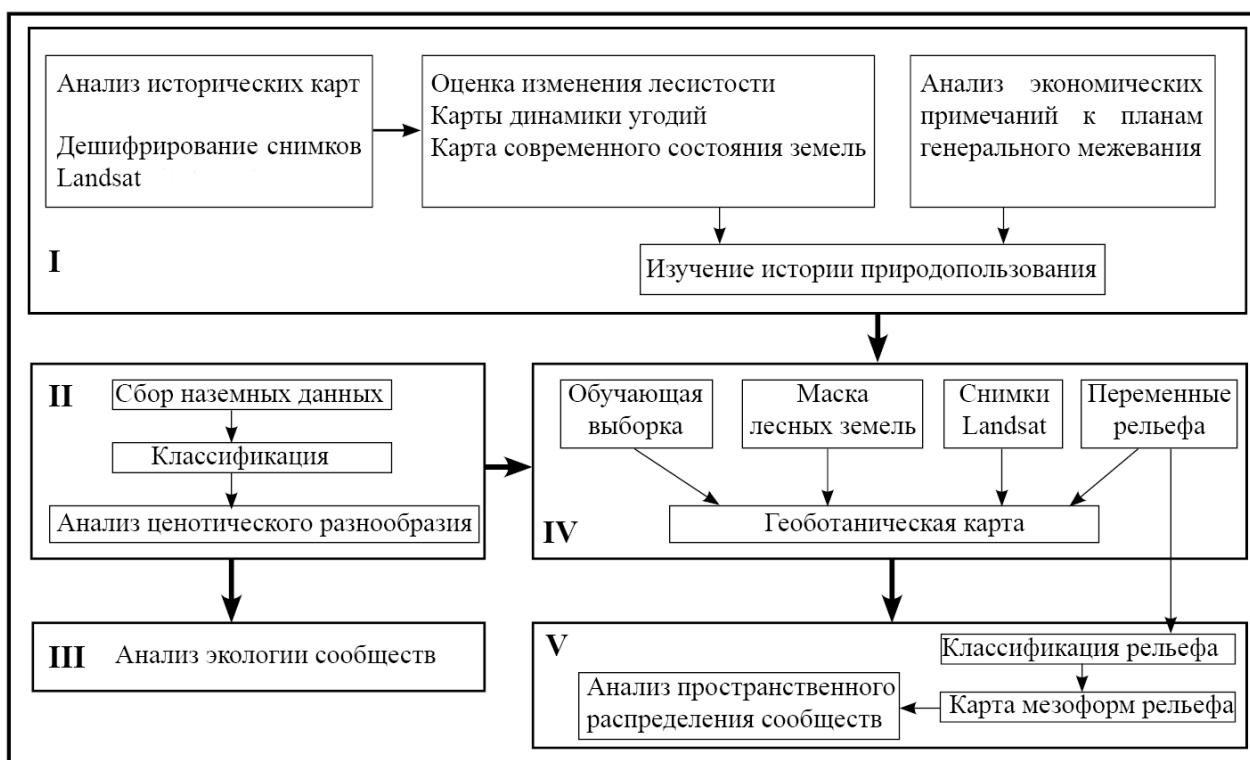
При наличии большого числа данных по московскому региону остались недостаточно изученными закономерности распределения форм рельефа и типологических единиц лесного покрова с количественным анализом взаимосвязей. Осуществление подобного уровня работ с методической точки зрения возможно с применением статистических методов анализа и использования пространственно распределенных данных многозонального дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа.

### **Глава 3. Методы и материалы исследований**

Общая схема исследования (рис. 1) подчинена последовательности постановки задач в целом и соответствует основным этапам работы.

Для изучения динамики лесистости были составлены цифровые карты за 1796, 1860, 1872, 1915, 1939, 1986, 2010 гг. Построение карт динамики распространения лесов было основано только на крупномасштабных картографических материалах. Поэтому нами были созданы карты динамики для двух временных периодов: 1796-1860 и 1986-2010 гг.

При оценке современного состояния земель использован слой категорий земель на 2014 г., полученный на основе слоя 2010 г. По материалам лесной таксации Верейского лесхоза 2000 г. с внесенными изменениями вплоть до 2014 г. были выявлены вырубки и искусственные насаждения на всю территорию исследований (Проект организации..., 2000-2002).



**Рисунок 1. Общая схема исследования.**

Выявление современного фитоценотического разнообразия. В течение полевых сезонов 2013–2016 гг. выполнено 250 полных геоботанических описаний, из которых в обработку поступило 200. Геоботанические описания составлялись по стандартной методике на площадках 20×20 м на расстоянии друг от друга не менее 200 м.

Названия видов сосудистых растений приводятся по списку С.К. Черепанова (1995), мохообразных – по М.С. Игнатову и Е.А. Игнатовой (2003).

При классификации лесных сообществ использован традиционный для отечественной геоботанической школы эколого-фитоценотический (эколого-морфологический) подход (Шенников, 1964; Лавренко, 1982; Нешатаева, 2002; 2009). Применение эколого-фитоценотической классификации для выявления ценотического разнообразия и определяющих его факторов хорошо себя зарекомендовало при изучении особенностей пространственной вариабельности лесов с использованием данных дистанционного зондирования (Черненкова и др., 2015б; Chernenkova *et al.*, 2015).

Основной единицей при оценке типологического и видового состава лесных сообществ, а также при картографировании и анализе пространственного разнообразия лесов являлась группа ассоциаций. Выделение синтаксонов на уровне

групп ассоциаций проведено внутри формаций по преобладающим эколого-морфологическим группам нижних ярусов (Черненкова, Морозова, 2017).

Сложность классификации сообществ хвойно-широколиственных лесов обусловлена разнообразием лесообразующих пород и их сочетаний, сформировавшихся вследствие естественных и антропогенных причин (Порфирьев, 1960; Рысин, Савельева, 2002; Василевич, 2004). Накоплен опыт по выявлению ценотического разнообразия лесов без учета древесного яруса на основе представленности видов-доминантов, эколого-ценотических групп видов, биоэкогрупп травяно-кустарничкового яруса (Порфирьев, 1960; Сабуров, 1972; Савельева, 2000; Нешатаева, Демьянов, 2002; Заугольнова, Морозова, 2006). В результате объединения синтаксонов на основе представленности доминирующей группы видов травяно-кустарничкового яруса нами было выделено пять групп сообществ: *мелкотравная*, *мелкотравно-широкотравная*, *широкотравная*, *влажнотравная* и *разнотравная*.

Анализ видового разнообразия. Оценивалось общее число видов в равной по объему выборке (5-8 описаний) и видовая насыщенность, как среднее число видов по ярусам на пробных площадях в синтаксоне (группе ассоциаций).

При анализе флористической неоднородности выделенных групп ассоциаций использовались мера Уиттекера (Мэгарран, 1992) и расстояние Евклида. Число описаний в выборках было выровнено, поскольку отмечена зависимость значений индекса Уиттекера от размера выборки (Смирнов и др., 2014).

Анализ условий местообитаний лесных сообществ. Анализ экологических режимов местообитаний проведен для пяти групп сообществ, сгруппированных по сходству состава видов подчиненных ярусов (см. выше), наиболее чутко индицирующих условия экотопа.

Оценка состава травяно-кустарничкового яруса выполнена с помощью распределения видов по эколого-ценотическим группам (Смирнов и др., 2006). Для выявления наиболее характерных видов каждой группы в программе PC-ORD 5.0 проведен анализ индикаторных видов (*indicator species analysis*) (Dufrene, Legendre, 1997; McCune, Grace, 2002).

Для интерпретации экологического содержания выделенных групп сообществ применены методы непрямой ординации – неметрическое многомерное шкалирование (*non-metric multidimensional scaling*, NMDS). Ординация выполнена в программе PC-ORD 5.0. Значения покрытий в матрице трансформированы (извлечением квадратного корня), использовано расстояние Брея-Кёртиса. При интерпретации осей ординации и сравнения экологических режимов групп сообществ для каждого описания рассчитаны его балловые оценки в шкалах Д.Н. Цыганова (1983). Корреляция ординационных осей с экологическими факторами оценена с помощью коэффициентов ранговой корреляции Спирмена.

Выявление пространственной организации лесного покрова. В основе оценки дифференциации растительного покрова на ландшафтном уровне лежит интеграция наземных данных и непрерывной пространственной информации, полученной на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и цифровой модели

рельефа (ЦМР). Выбран один из алгоритмов классификации с обучением – линейный дискриминантный анализ (Пузаченко, 2004). Дискриминантный анализ позволяет не только провести классификацию с обучением, но и определить вероятность отнесения всех наблюдений (пикселей) к классам, что позволяет оценить неопределенность модели (Исаев и др., 2009; Пузаченко, 2013).

Неопределенность классификации ( $\varepsilon$ ) рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (1-p_i) \times p_i}{N-1}}, \text{ где } N \text{ количество классов, } p_i \text{ – вероятность отнесения пикселя к } i \text{ классу.}$$

В качестве ДДЗ использованы снимки Landsat 5 (сенсор TM) и Landsat 8 (сенсоры OLI и TIRS). Обработывалась серия снимков (всего 6) за разные сезоны 2007-2014 гг. в рамках маски лесов по состоянию на 2014 г. Соответственно, конечный картографический продукт иллюстрировал пространственное распределение групп ассоциаций на 2014 г. После проведения генерализации минимальный выдел на карте составил 1 га. Верификация карты проводилась на основе маршрутных описаний ( $n = 51$ ), не участвовавших в обучении. На карте получили отражение 16 из 17 выделенных групп ассоциаций.

Установление роли ландшафтных условий в дифференциации лесного покрова.

При анализе поверхности рельефа использовано два подхода: морфометрический анализ (количественный) и классификация форм рельефа (описание типов). В рамках первого подхода на основе топокарт с сечением рельефа 10 м и дополнительным сечением через 5 м были рассчитаны: высота над уровнем моря, первая (экспозиция, уклоны) и вторая (кривизна) производные в программе ArcGIS 10.0 приложении Spatial Analyst. Описание типов форм рельефа (качественная характеристика) опирается на последующую классификацию полученных элементарных поверхностей (Пузаченко и др., 2002). Методом главных компонент выделены факторы, по которым затем выполнена дихотомическая классификация с помощью евклидова расстояния. Всего выделено 5 форм рельефа, по размерам соответствующих мезоформам по классификации Г.И. Рычагова (2006).

Выявление закономерностей распределения основных типов наземного покрова и лесных сообществ на ландшафтном уровне основано на картографическом анализе. Чтобы оценить приуроченность различных сообществ к мезоформам рельефа была выдвинута нулевая гипотеза о том, что группы ассоциаций распространены случайно по всем мезоформам. Полученные наблюдаемые частоты были сравнены с ожидаемыми. Состоятельность нулевой гипотезы была оценена по критерию хи-квадрат.

#### **Глава 4. Динамика лесного покрова с конца XVIII по начало XXI вв. и его современное состояние**

Пространственная динамика лесистости за последние двести лет. Леса региона прошли через неоднократные рубки, поэтому основными лесообразующими породами в Подмосковье (Рахилин, 1997) и, в частности, на территории исследований

в конце XVIII в. были береза и осина (Экономические..., архивный документ). Лишь иногда встречаются упоминания о строевом еловом и сосновом лесах.

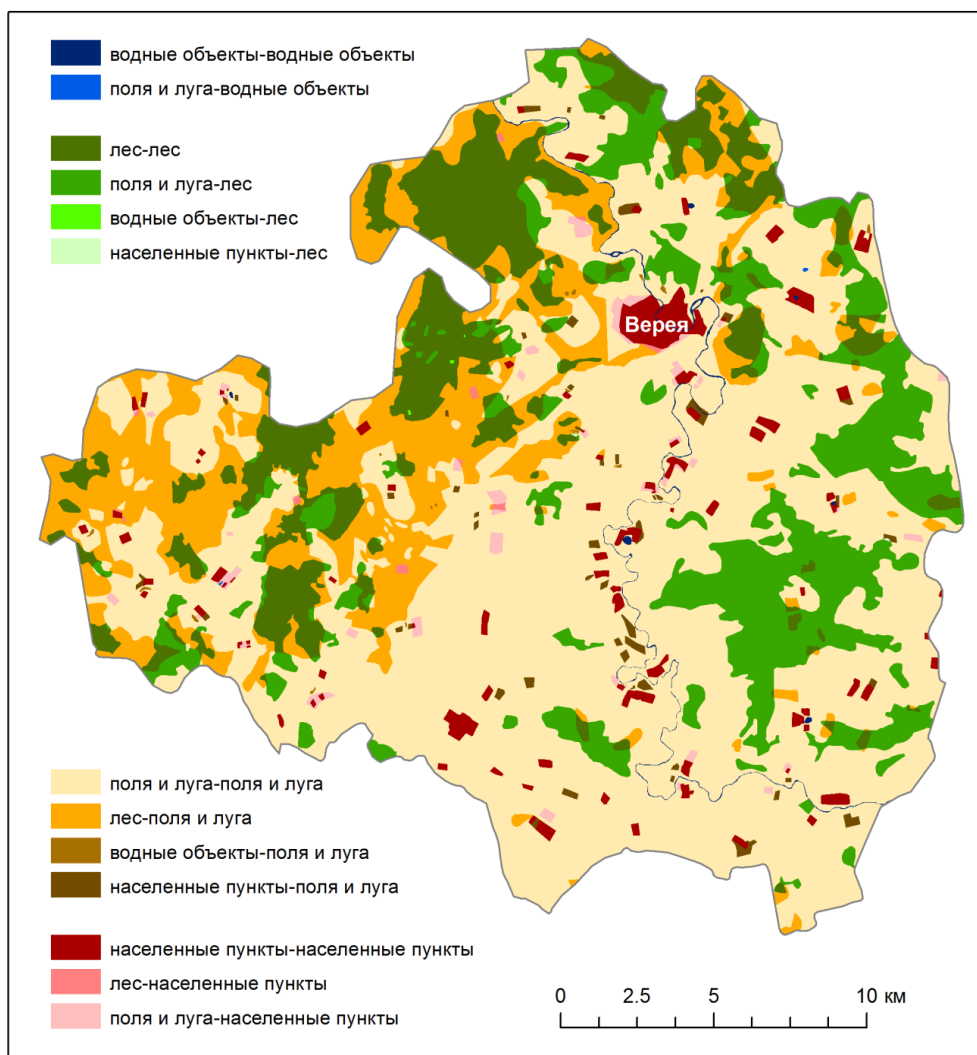
По данным картографических материалов (всего 7 временных срезов) выявлена динамика лесистости. К концу XVIII в. лесистость была ниже (27.1%), чем по Московской губернии и в большинстве отдельных её участков. К моменту отмены крепостного права лесистость сохраняется почти на том же уровне (25.4%), меняется лишь пространственное расположение лесных массивов (поля зарастают лесами, леса вырубаются под распашку). После отмены крепостного права социальные изменения приводят к уменьшению лесистости до 16.4% в конце XIX и 17.6% в начале XX вв. Резкое увеличение лесистости в течение XX в. связано как с активной лесохозяйственной деятельностью, так и со спонтанным зарастанием брошенных сельхозугодий (Люри и др., 2010; Hansen *et al.*, 2013; Prishchepov *et al.*, 2013). С началом Первой мировой, а затем и Гражданской войны уменьшение численности рабочих рук приводит к началу зарастания сельскохозяйственных земель. Позже начинают производиться посадки. В результате к предвоенному времени лесистость возрастает до 42.5%, что является очень высоким показателем для того времени. К концу советского периода вследствие реализации мер по восстановлению лесов лесистость достигает 53.2%. В постсоветское время за счет спонтанного зарастания заброшенных полей лесистость еще несколько возрастает и достигает к 2010 г. 55.6%.

Полученные нами картографические данные за период с конца XVIII по середину XIX вв. наглядно демонстрируют значительный масштаб изменений расположения лесных массивов и пашен (рис. 2).

Так, лесные массивы за указанный период сохранились на площади немногим более 6 тыс. га, что составляет лишь 43% от площади лесов на конец XVIII в. Остальные 57% лесопокрытой площади к середине XIX в. были сведены в основном под поля (56%). Почти также интенсивно зарастали старые поля. Почти 7 тыс. га превратились в лесные земли. Таким образом, более половины лесов середины XIX в. образовались на месте полей конца XVIII в.

На основе данных дистанционного зондирования оценена динамика земель за период 1986 – 2010 гг. с составлением аналогичной карты динамики. Выяснено, что лес вырубали в основном под антропогенные объекты (247 га) (в подавляющем большинстве случаев – дачные участки), а в результате зарастания брошенных сельхозугодий лесом заросло почти 1.5 тыс. га. Интенсивным в этот период является процесс появления дачных участков и других антропогенных объектов на месте полей (чуть более 1.6 тыс. га).

С помощью картографических материалов удалось выявить участки, идентифицированные как лесные, фигурирующие на исследованной территории на всех временных срезах за 200 летний период.



**Рисунок 2. Карта динамики земель за период 1796–1860 гг.**

По данным наших натурных исследований часть этих лесов в настоящее время представлена одновозрастными липовыми древостоями с подростом ели и осиновыми древостоями с участием липы (возрастом 50-70 лет). По всей видимости, там не было пашен, однако проводились рубки. Такие леса занимают 4%. Таким образом, подавляющее большинство земель исследованной территории за последние 200 лет были в сельскохозяйственном использовании (пашни, сенокосы).

Не изменившие своего расположения поля и луга занимают 25% территории. Они приурочены к старым населенным пунктам и расположены недалеко от рек и небольших речек. Подобная большая площадь существующих уже 200 лет на одном и том же месте полей и лугов свидетельствует о том, что характер современного пространственного распределения категорий земель сформировался уже к концу XVIII в., что согласуется с данными других исследователей (Низовцев и др., 2007).

Современное состояние лесных земель. Сильное антропогенное воздействие в течение последних 200 лет, выявленное нами по архивным картографическим материалам (Беляева, Попов, 2016), а также активная лесохозяйственная деятельность (22% от общей площади лесов – культуры) (Проект..., 2000-2002) обусловили значительные изменения в лесном покрове.

В настоящее время леса различного происхождения занимают наибольшие площади на территории исследований среди всех категорий земель (55.6%). Далее, по

мере уменьшения занимаемой площади, следуют поля и луга (35%), населенные пункты и антропогенные объекты (дачные участки, склады, карьеры и т.п.) (8.9%), водные объекты занимают менее 1%.

Самый старый участок культур по данным таксации на исследуемой территории датирован 1891 г. Всего до 1941 г. (в довоенный период) в окрестностях г. Верея по данным лесной таксации высажено 281.5 га культур. Выявлено, что основная часть существующих в настоящее время культур была заложена уже в послевоенное время, что подтвердило имеющиеся литературные данные (Низовцев, Носова, 1992).

На территории исследований располагается 2 государственных природных заказника областного значения: комплексный заказник «Высокобонитетный сосновый лес на коренном берегу р. Протвы» (площадью 363.45 га) и ботанический заказник «Сосново-еловые леса в окрестностях г. Вереи» (площадью 159.32 га). Заказник на коренном берегу р. Протвы подвергается большой рекреационной нагрузке и испытывает периодические палы.

По данным оригинальных геоботанических описаний встречены следующие краснокнижные виды: *Anemone sylvestris* в сосновом лесу на коренном берегу р. Протвы (на территории заказника); *Potentilla alba* там же; *Scorzonera humilis* там же; *Sanicula europaea* в некоторых еловых лесах. Среди мохообразных отмечена *Neckera pennata* единожды на стволе осины. На территории заказника «Высокобонитетный сосновый лес на коренном берегу р. Протвы» по данным Положения о заказнике указаны также следующие краснокнижные виды: *Lathyrus niger*, *Moneses uniflora*, *Gentiana cruciata*, *Pedicularis kaufmannii*, *Scrophularia umbrosa*, *Crepis praemorsa*.

## **Глава 5. Фитоценотическое разнообразие лесной растительности и видовое разнообразие сообществ**

На основе эколого-фитоценотической классификации лесных сообществ выделено 7 классов формаций, 11 формаций и 17 групп ассоциаций.

Продромус синтаксонов лесной растительности юго-западного Подмосковья (окрестности г. Верея).

Класс формаций – **темнохвойные леса**

Формация – **еловая (*Picea abies*)**

Группа асс. **еловая мелко травная**

Группа асс. **еловая мелко травно-широко травная**

Группа асс. **еловая широко травная**

Класс формаций – **мелколиственно-темнохвойные леса**

Формация – **елово-осиново-березовая (*Picea abies*, *Populus tremula*, *Betula pendula*)**

Группа асс. **елово-осиново-березовая мелко травно-широко травная**

Группа асс. **елово-осиново-березовая широко травная**

Класс формаций – **темнохвойно-светлохвойные леса**

Формация – **елово-сосновая (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*)**

Группа асс. **елово-сосновая мелко травная**

Группа асс. **елово-сосновая мелко травно-широко травная**

Класс формаций – **светлохвойные леса**

- Формация – *сосновая (Pinus sylvestris)*
- Группа асс. *сосновая широколиственная*
- Группа асс. *сосновая разнотравная*
- Класс формаций – *широколиственные леса*
- Формация – *дубовая (Quercus robur)*
- Группа асс. *дубовая широколиственная*
- Формация – *липовая (Tilia cordata)*
- Группа асс. *липовая широколиственная*
- Класс формаций – *мелколиственно-широколиственные леса*
- Формация – *дубово-липово-березово-осиновая (Quercus robur, Tilia cordata, Betula pendula, Populus tremula)*
- Группа асс. *дубово-липово-березово-осиновая широколиственная*
- Класс формаций – *мелколиственные леса*
- Формация – *березовая (Betula pendula, B. pubescens)*
- Группа асс. *березовая широколиственная*
- Группа асс. *березовая разнотравная*
- Формация – *осиново-березовая (Populus tremula, Betula pendula, B. pubescens)*
- Группа асс. *осиново-березовая влажнотравная*
- Формация – *осиновая (Populus tremula)*
- Группа асс. *осиновая широколиственная*
- Формация – *сероольховая (Alnus incana)*
- Группа асс. *сероольховая широколиственно-влажнотравная*

Для количественной оценки качества классификации использован дискриминантный анализ по полным видовым спискам синтаксонов. Общее качество классификации составило 77.6 %. С высокой точностью (100%) выделены сосновые широколиственные, сосновые разнотравные, дубовые широколиственные, липовые широколиственные и сероольховые широколиственно-влажнотравные леса.

Мы сравнили видовые списки групп ассоциаций с описанными в литературе типами леса и ассоциациями (Коновалов 1929; Работнов, 1939; Курнаев, 1968; Сукачев, 1972; Ильинская и др., 1982; 1985; Василевич, 1983; Савельева, 2000; Рысин, Савельева, 2002; 2008; Василевич, Бибикина, 2004; 2011а; 2011б; Экосистемы..., 2006; Кучеров и др., 2010; и др.). Практически для всех групп ассоциаций, особенно в отношении травяно-кустарничкового яруса, были найдены похожие типы. Более детальное внимание к выделению формаций в данной работе иногда не позволяло найти аналогов именно по формационному признаку. Самыми редкими среди описанных лесов являются сосновые разнотравные и осиново-березовые влажнотравные сообщества.

Во всех описанных сообществах зафиксировано 397 видов. В лесных сообществах, которые были проанализированы (200 описаний, 17 синтаксонов), зафиксировано 347 видов высших растений, из которых 282 – сосудистые, 65 – мохообразные. Число видов на площадке в травяно-кустарничковом ярусе выделенных групп ассоциаций в среднем варьировало от 19 до 31. При этом минимальные значения характерны для липовых широколиственных сообществ, а максимальные – для березовых разнотравных, сосновых разнотравных и еловых мелкотравно-широколиственных сообществ. Липовые широколиственные леса отличались

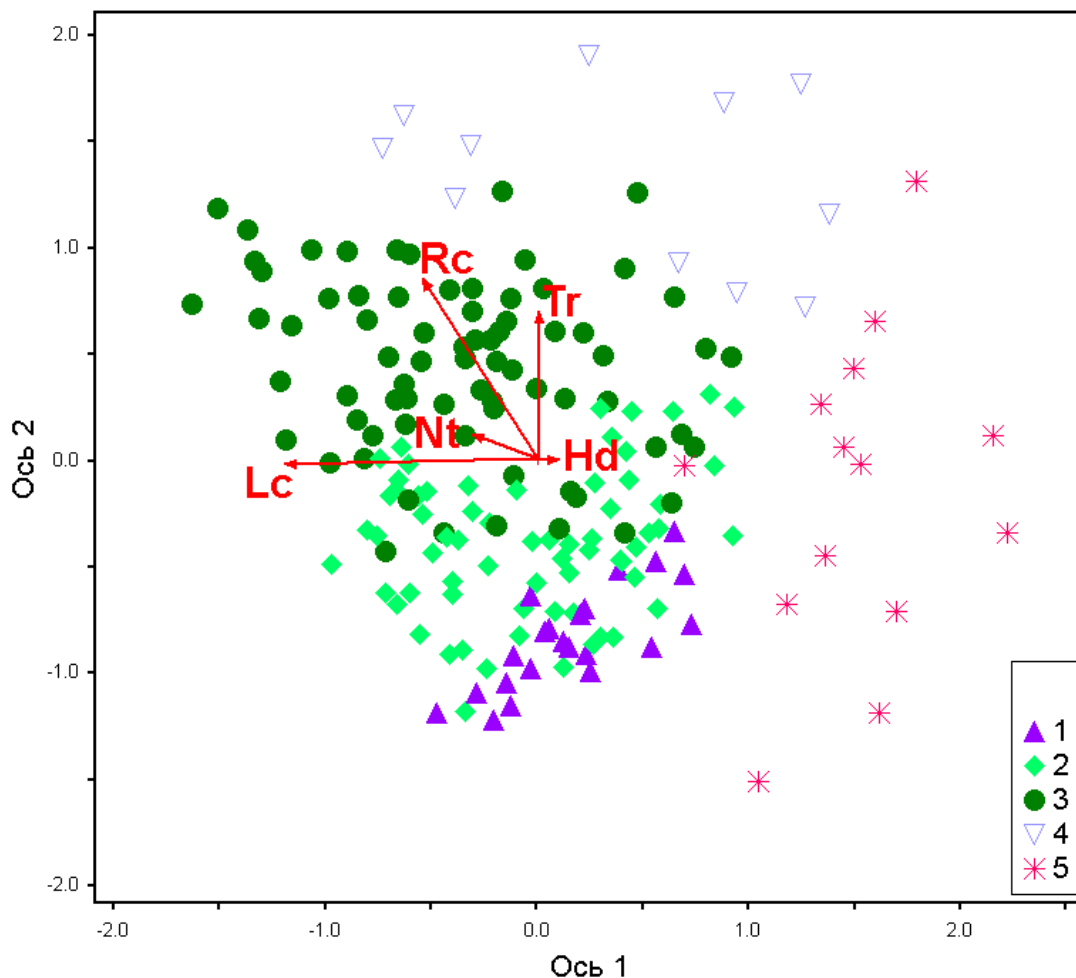
минимальной видовой насыщенностью в травяно-кустарничковом ярусе за счет формируемого древостоем липы светового режима (Рысин, 1983).

Самая высокая степень сходства по метрике Евклида (низкие значения) отмечена у сосновых разнотравных сообществ, что является следствием одинаковой структуры и внешнего облика сообществ, т.е. наличия одинаковых доминантов во всех ярусах. Самыми разнообразными по значениям индекса Уиттекера являлись березовая и сосновая разнотравные, а также сероольховая широкоотравно-влажнотравная группы ассоциаций.

## **Глава 6. Связь состава лесных сообществ и экологии местообитаний**

Имеется информация о приуроченности разнообразных типов леса Московской области к разным экотопическим условиям (Савельева, 2000; Рысин, Савельева, 2007 и др.). Вместе с тем отсутствуют статистические данные, подтверждающие влияние условий местообитания как одного из главных факторов, определяющего дифференциацию лесных фитоценозов региона. В данной главе проведен анализ для описаний, сгруппированных на основе сходства подчиненных ярусов в 5 групп сообществ: *мелкотравную, мелкотравно-широкоотравную, широкоотравную, влажнотравную, разнотравную*. Анализ участия видов различных эколого-ценотических групп показал, что по направлению «мелкотравная – мелкотравно-широкоотравная – широкоотравная группа» увеличивается участие неморальных видов, а бореальных – уменьшается. В разнотравной велика доля лугово-опушечной группы видов, а во влажнотравной – нитрофильной, неморальной и водно-болотной. Примечательно, что при выделении индикаторных видов ( $IndVal > 30$ , при уровне значимости  $p < 0.05$ ) для каждой группы индикаторными являются виды, принадлежащие преимущественно к определенной эколого-ценотической группе. В мелкотравной – ряд бореальных видов, в широкоотравной – неморальные, в разнотравной – лугово-опушечные, во влажнотравной – нитрофильные. Для мелкотравно-широкоотравной группы сообществ видов с высоким индексом индикаторного значения выделено не было, что говорит о ее переходном характере.

Проанализировано положение групп сообществ в многомерном пространстве переменных (видов). Уровень стресса при сведении многомерного пространства к двумерному составил 0.24. Мелкотравные (1), мелкотравно-широкоотравные (2) и широкоотравные (3) сообщества формируют плотное облако точек с плавными переходами между группами (рис. 3). По направлению от мелкотравной к широкоотравной группе увеличиваются значения фактора кислотности (возрастают значения pH) и увеличивается трофность. Сообщества влажнотравной группы (4) не формируют плотного облака за счет различных условий освещенности. Подчиненные яруса разнотравных лесов (5) наиболее освещены. При этом сообщества этой группы произрастают в различных условиях трофности почв и кислотности, что является следствием их антропогенного происхождения.

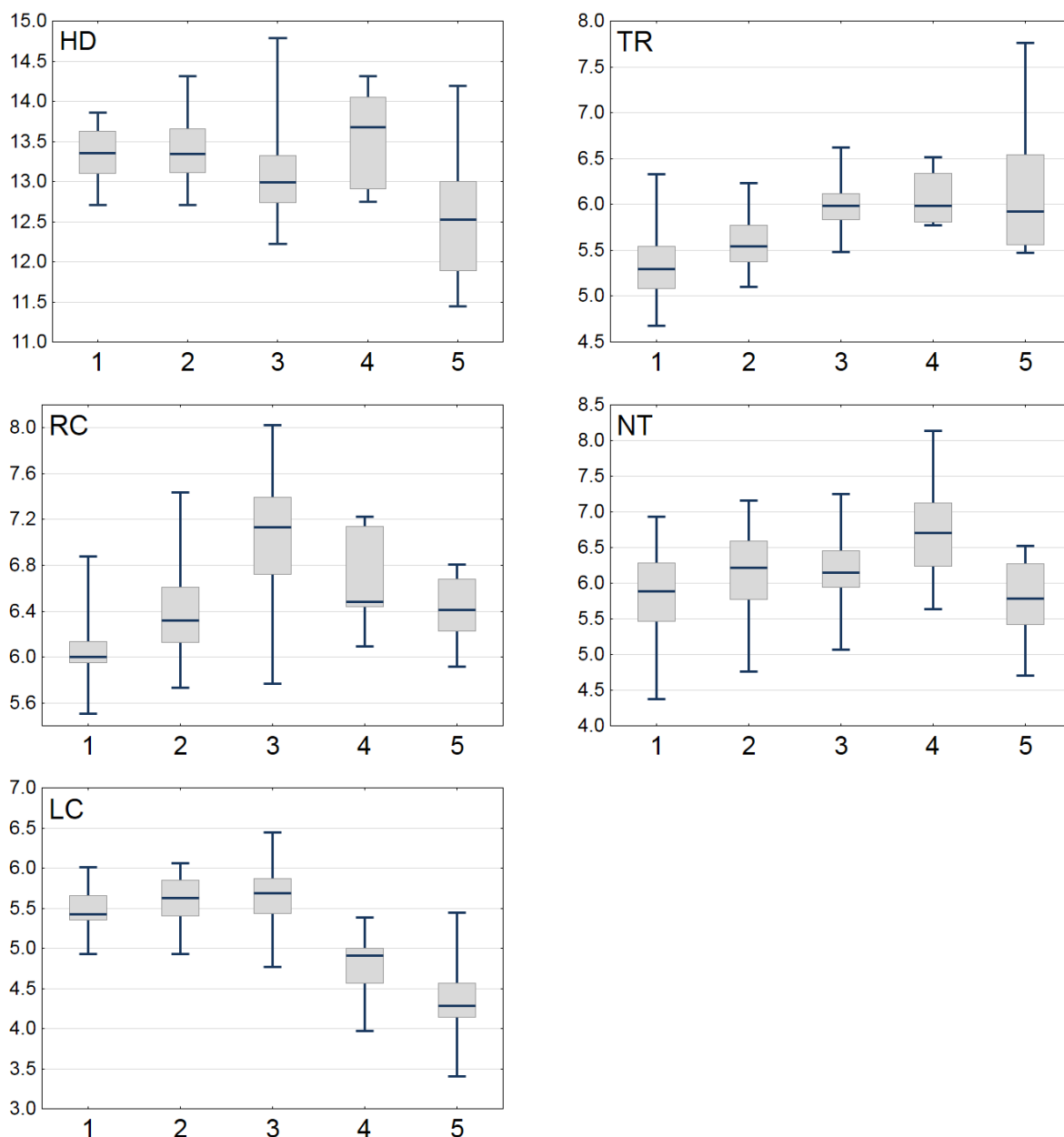


**Рисунок 3. Ординация геоботанических описаний лесных сообществ методом NMDS.**  
**Группы сообществ:** 1 – мелкотравная, 2 – мелкотравно-широкотравная, 3 – ширококотравная, 4 – влажнотравная, 5 – разнотравная.  
**Векторы:** Nt – богатство почв азотом, Rc – кислотность почв, Hd – увлажнение почв, Tr – трофность, Lc – освещенность.

Первая ось в наибольшей степени связана с изменениями освещенности, вторая скоррелирована с показателями трофности и кислотности (табл. 1). Таким образом, эти три фактора являются ведущими в дифференциации состава подчиненных ярусов, в то время как влажность и богатство почв азотом, судя по корреляции с осями, играют меньшую роль.

**Таблица 1. Коэффициент корреляции Спирмена между значениями осей NMDS ординации и значениями экологических факторов**  
 Значимые величины выделены жирным шрифтом, при  $p < 0.05$

Фактор	Ось 1	Ось 2
Увлажнение (Hd)	<b>0.395</b>	-0.136
Трофность (Tr)	<b>-0.153</b>	<b>0.625</b>
Богатство азотом (Nt)	<b>-0.411</b>	0.141
Кислотность (Rc)	<b>-0.521</b>	<b>0.668</b>
Освещенность (Lc)	<b>-0.644</b>	-0.040



**Рисунок 4. Варьирование экологических характеристик местообитаний лесных сообществ.**

На боксплотах отражены медианы значений, интерквартильные расстояния (25–75% варьирования) и минимум и максимум значений. **Группы сообществ:** 1 – мелкотравная, 2 – мелкотравно-широкоотравная, 3 – широкоотравная, 4 – влажноотравная, 5 – разнотравная. **Режимы:** HD – увлажнение почв; TR – трофность; RC – кислотность почв; NT – богатство почв азотом; LC – освещенность.

Положения центроидов по осям ординации статистически значимо различаются для всех пар групп сообществ хотя бы по одной оси (согласно результатам теста Манна-Уитни, при  $p < 0.05$ ).

По фактору увлажнения почв (Hd) мелкотравные, мелкотравно-широкоотравные и влажноотравные группы не различаются и характеризуются более высокой влажностью (рис. 4; табл. 2). Самыми сухими являются разнотравные леса, широкоотравные – более влажные.

**Таблица 2. Уровень значимости (p) различий, при парных сравнениях значений экологических шкал для групп сообществ**

Увлажнение (Hd)				
	2	3	4	5
1	0.762	<b>0.005</b>	0.434	<b>0.001</b>
2		<b>0.000</b>	0.556	<b>0.000</b>
3			<b>0.019</b>	<b>0.012</b>
4				<b>0.005</b>
Грофность (Tr)				
1	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
2		<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>
3			0.874	1.000
4				0.891
Кислотность (Rc)				
1	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
2		<b>0.000</b>	<b>0.012</b>	0.451
3			<b>0.030</b>	<b>0.000</b>
4				0.095
Богатство азотом (Nt)				
1	0.071	<b>0.039</b>	<b>0.007</b>	0.615
2		0.971	<b>0.026</b>	<b>0.024</b>
3			<b>0.029</b>	<b>0.018</b>
4				<b>0.007</b>
Освещенность (Lc)				
1	<b>0.047</b>	<b>0.022</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
2		0.638	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
3			<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
4				<b>0.035</b>

**Примечание.** Значимые величины при  $p < 0.05$  выделены жирным шрифтом. Группы сообществ: 1 – мелкотравная, 2 – мелкотравно-широкотравная, 3 – широкоотравная, 4 – влажнотравная, 5 – разнотравная.

По богатству субстрата минеральными элементами (Tr) наиболее богатыми являются широкоотравные, влажнотравные и разнотравные леса, при этом значимо по этому фактору между собой они не различаются. Сообщества мелкотравной и мелкотравно-широкотравной групп отличаются от остальных и между собой, они более бедные, при этом самыми бедными являются мелкотравные.

По кислотности почв (Rc) наиболее кислыми являются местообитания мелкотравных лесов, они значимо отличаются от всех остальных по этому фактору. Далее идут мелкотравно-широкотравные, влажнотравные и разнотравные сообщества, причем влажнотравные статистически значимо отличаются от мелкотравно-широкотравных по этому фактору, они чуть менее кислые. Почвы местообитаний широкоотравных лесов наиболее близки к нейтральным. По данному фактору широкоотравные леса статистически значимо отличаются от всех остальных.

По богатству почв азотом (Nt) наиболее богатыми являются местообитания влажнотравных лесов: они статистически значимо отличаются от всех остальных по этому фактору. Остальные сообщества более бедные, причем мелкотравные

отличаются от широколиственных (последние чуть богаче), а мелколиственно-широколиственные и широколиственные от разнолиственных (последние чуть беднее).

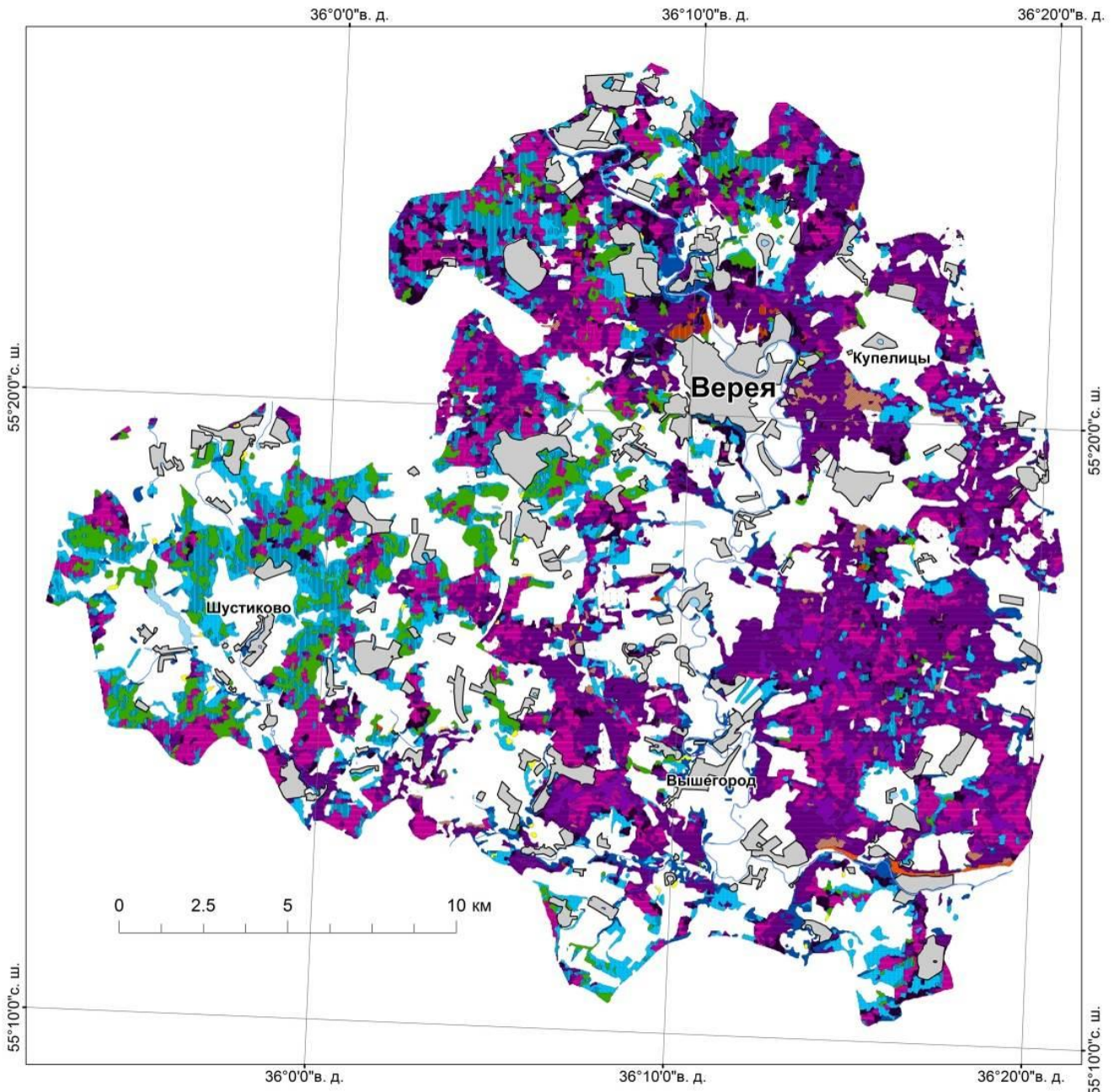
По шкале освещенности-затенения (Lc) наиболее затененными являются подчиненные ярусы мелколиственно-широколиственных и широколиственных лесов – они не различаются между собой по этому фактору. Чуть более освещенными являются подчиненные ярусы мелколиственных сообществ. Далее в порядке увеличения освещенности – влажнолиственные и разнолиственные леса, последние являются самыми светлыми. Мелколиственные, влажнолиственные и разнолиственные сообщества статистически значимо различаются по этому фактору с остальными группами и между собой.

Таким образом, наблюдаются значимые различия каждой пары групп сообществ хотя бы по одному фактору по шкалам Д.Н. Цыганова (1983), соответственно, выделенные группы сообществ приурочены к местообитаниям с различной экологией.

## **Глава 7. Пространственная организация лесного покрова**

Разработана карта лесной растительности, на которой получило пространственное отображение ценозное разнообразие лесов исследуемой территории (рис. 5). Всего отображено распределение 16 типов лесных сообществ в ранге групп ассоциаций. Нелесные земли представлены полями и лугами, водными объектами, населенными пунктами и дачными участками. Отдельной категорией представлены свежие вырубки. Проверка дискриминации обучающей выборки выделенных групп лесных сообществ выполнена по данным дистанционного зондирования и цифровым моделям рельефа. Общее относительное качество дискриминантного анализа составило 78.6%.

В анализе использовались 6 дискриминантных функций, первые две учли 82.3% дисперсии. Величины лямбда Уилкса равны соответственно 0.028 и 0.159. В дискриминантных уравнениях были использованы следующие переменные: яркости каналов ближнего инфракрасного канала за 20.05.2007 и за 21.04.2014; среднего инфракрасного (SWIR2) за 21.04.2014 и за 15.07.2010; голубого за 31.01.2014, а также морфометрическая переменная – высота над уровнем моря. Ближний инфракрасный канал чувствителен к интенсивности процесса фотосинтеза в растительности (Tucker, 1979). Средний инфракрасный (SWIR2) различает системы по содержанию в них влаги (Кренке, 2011). Значимость голубого канала при разделении единиц растительного покрова является не совсем стандартной, однако, в литературе отмечены подобные случаи (Комарова, 2017). Включение переменной «высота над уровнем моря» говорит о вкладе высотных диапазонов при разделении картографируемых единиц, что является статистическим подтверждением факта, известного из литературных источников (Савельева, 2000). Наибольшей площадью распространения характеризуются еловые мелколиственно-широколиственные леса, – они занимают 7068 га, что составляет чуть более четверти (26%) всех лесов территории (рис. 5).



### Условные обозначения

#### Леса

##### Группы ассоциаций:

- Еловая мелкотравная (Е м)
- Еловая мелкотравно-широкотравная (Е м-ш)
- Еловая широколиственная (Е ш)
- Елово-осиново-березовая мелкотравно-широкотравная (Е-М м-ш)
- Елово-осиново-березовая широколиственная (Е-М ш)
- Елово-сосновая мелкотравная (Е-С м)
- Елово-сосновая мелкотравно-широкотравная (Е-С м-ш)
- Сосновая широколиственная (С ш)
- Сосновая разнотравная (С разн)

- Дубовая широколиственная (Д ш)
- Липовая широколиственная (Лп ш)
- Дубово-липово-березово-осиновая широколиственная (М-Ш ш)
- Березовая широколиственная (Б ш)
- Березовая разнотравная (Б разн)
- Осинная широколиственная (Ос ш)
- Сероольховая широколиственно-влажнолиственная (Олс вл)

#### Другие объекты

- вырубки после 2003 г.
- водные объекты
- населенные пункты и дачи
- поля и луга

Рисунок 5. Карта лесной растительности западной части Наро-Фоминского района Московской области (окрестности г. Верея).

От 10 до 15% лесопокрытой площади составляют елово-осиново-березовые мелкотравно-широкоотравные (3858 га), березовые широкоотравные (2858 га) и березовые разнотравные (3258 га) сообщества. От 5% до 10% лесов территории занимают еловые мелкотравные (1370 га), еловые широкоотравные (2498 га), елово-осиново-березовые широкоотравные (1417 га) и осиновые широкоотравные (2155 га) сообщества. Сосняки в общей сложности занимают чуть более 4% (1148 га) лесопокрытой площади, а леса со значительным участием широколиственных пород – 2% (535 га). Сероольховые леса занимают почти 4% лесопокрытой площади территории исследований (1037 га).

Достоверность картографической модели по результатам проверки на основе независимой выборки составляет 78%.

На основе распределения вероятностей отнесения пикселя к каждой группе оценена неопределенность классификации групп ассоциаций. Сероольховые широкоотравно-влажнотравные и березовые разнотравные сообщества выявлены с минимальной неопределенностью. Это объясняется свойствами этих лесов: приручьевым положением, большим содержанием влаги и общим богатством местообитаний сероольховых лесов и сухостью, разреженным древостоем особенностями видового состава разнотравных березняков. В то же время сходство групп ассоциаций по формационному признаку внутри еловой, осиново-березово-еловой, елово-сосновой формаций приводят к более высокой неопределенности их выделения.

Распределение лесных сообществ в связи с рельефом территории. В результате классификации значений морфометрических переменных разных иерархических уровней организации рельефа выделено 5 форм рельефа на уровне мезоформ.

Наибольшие площади занимают **основные поверхности водораздела** – 20953 га (40.7%). Они представляют собой моренно-водноледниковые равнины. Почвы дерново-средне- иногда сильноподзолистые, местами оглеенные, по понижениям – глееватые (Анненская и др., 1997; Ландшафтная карта ..., электронный ресурс, 2018).

**Моренные холмы** занимают 13139 га (25.5% территории). Моренные отложения перекрыты маломощным чехлом покровных суглинков, в ядрах холмов залегают известняковые отторженцы (Анненская и др., 1997; Ландшафтная карта..., электронный ресурс, 2018). Почвы дерново-подзолистые и дерновые карбонатные выщелоченные, хорошо дренированные (Анненская и др., 1997).

На третьем месте по занимаемой площади находятся **ложбины стока талых ледниковых вод** (10411 га, 20.2% территории). Они представляют собой вытянутые плоскодонные понижения, куда стекает влага, и образуются многочисленные ручьи. Почвы дерново-сильноподзолистые на делювиальных суглинках (Ландшафтная карта ..., электронный ресурс, 2018).

**Надпойменные террасы и поймы** занимают 4031 га (7.8%). Они врезаны в долинный ландшафт, сложенный суглинками с прослоями песков. Современные аллювиальные отложения также присутствуют в долинном комплексе, что обуславливает более высокую трофность отложений (Анненская и др., 1997). На

протяжении почти всей долины р. Протвы на изучаемой территории выражены две надпойменные террасы, плоские и слабонаклонные. Отложения песчано-суглинистые, почвы дерново-подзолистые (Анненская и др., 1997; Ландшафтная карта..., электронный ресурс, 2018). В долинном комплексе присутствуют высокие поймы, а также иногда фрагменты низких и средних пойм. Поймы сложены суглинистыми отложениями иногда с участием песков, почвы пойменные дерновые, местами карбонатные (Ландшафтная карта..., электронный ресурс, 2018).

**V-образные части долин рек и ручьев** занимают наименьшие площади на территории исследований (2996 га, 5.8%). Данные формы рельефа можно разделить на склоны небольших ручьев и балок и на крутые коренные склоны рек Протвы и Рути. Первые врезаются в четвертичные отложения и их склоны чаще всего не вскрывают коренных пород. Наблюдается сочетание дерновых и пойменных дерновых почв, часто оглеенных (Ландшафтная карта..., электронный ресурс, 2018). Крутые коренные склоны рек Протвы и Рути имеют крутизну до 30-35°. Под склонами часто располагаются делювиальный шлейф с сероольховыми лесами и луговая пойма (Анненская и др., 1997). Склоны рек сформированы песками и моренными отложениями, почвы дерновые и дерново-подзолистые на делювиальных суглинках (Ландшафтная карта..., электронный ресурс, 2018).

Выявлена приуроченность основных категорий земель и лесных сообществ на ландшафтном уровне. Наиболее распаханы поверхности мезоформы террас и пойм, а наиболее залесены моренно-водноледниковые основные поверхности водораздела, также на них наблюдается наименьшее количество населенных пунктов.

Проведена количественная оценка приуроченности групп ассоциаций эколого-фитоценотической классификации к мезоформам рельефа различного генезиса (табл. 3).

Показано, что распространение половины групп ассоциаций (8 из 16) статистически значимо определяется ландшафтными условиями. Мелкотравные сообщества в составе еловых лесов чаще встречаются в древних ложбинах стока талых ледниковых вод и на основной поверхности водораздела. Среди мелкотравно-широкоотравных – елово-сосновые леса приурочены к ложбинам стока талых ледниковых вод и к формам долинного комплекса, что может объясняться более легким механическим составом почв в этих мезоформах. Группы ассоциаций широкоотравных лесов приурочены к моренным холмам и основным поверхностям водораздела, что может объясняться повышенным богатством почв моренных отложений. Среди разнотравных лесов сообщества сосновой разнотравной группы ассоциаций строго приурочены к коренным склонам р. Протвы и частично надпойменным террасам, причем только южной экспозиции. Сероольховые широкоотравно-влажнотравные леса широко распространены в приручьевых местообитаниях и в поймах.

Таким образом, выявлены закономерности пространственного распределения сообществ различного состава. Предшествующие наблюдения исследователей (Алехин, 1947; Петров, 1968) нашли статистическое подтверждение.

**Таблица 3. Участие лесных обществ групп ассоциаций в различных мезоформах рельефа (нормированное на общую площадь группы ассоциаций на территории)**

Гр. асс.	Мезоформы рельефа					$\chi^2$	<i>p</i>
	1	2	3	4	5		
Е м	1.87	2.39	<b>24.11</b>	<b>55.22</b>	16.41	<b>10.75</b>	<b>0.03</b>
Е-С м	5.45	7.76	23.25	39.62	23.92	2.78	0.60
Е м-ш	8.18	8.02	20.88	40.32	22.60	2.76	0.60
Е-М м-ш	3.04	2.96	17.05	53.61	23.33	4.20	0.38
Е-С м-ш	<b>12.22</b>	<b>14.60</b>	<b>31.22</b>	25.44	16.53	<b>40.10</b>	<b>0.00</b>
Е ш	7.33	6.35	19.25	41.74	25.33	0.92	0.92
Е-М ш	1.02	0.87	12.86	<b>58.03</b>	<b>27.22</b>	<b>13.60</b>	<b>0.01</b>
С ш	8.53	11.17	20.95	37.63	21.73	8.01	0.09
Д ш	0.57		9.67	<b>63.11</b>	<b>26.72</b>	<b>21.57</b>	<b>0.00</b>
Лп ш	5.77	5.50	20.16	41.37	27.22	1.14	0.89
Б ш	1.85	1.93	13.27	55.11	27.83	9.35	0.53
М-Ш ш	0.09		5.02	<b>57.65</b>	<b>37.20</b>	<b>31.78</b>	<b>0.00</b>
Ос ш	1.46	1.42	13.07	<b>56.01</b>	<b>28.04</b>	<b>11.19</b>	<b>0.02</b>
Б разн	3.85	3.84	21.03	45.43	25.85	1.96	0.74
С разн	<b>54.61</b>	<b>41.88</b>	0.17		3.42	<b>705.45</b>	<b>0.00</b>
Олс вл	<b>32.72</b>	<b>34.07</b>	17.82	5.49	9.90	<b>301.33</b>	<b>0.00</b>

**Примечание.** Красным цветом отмечены значения хи-квадрат и уровня значимости *p*, которые опровергают нулевую гипотезу о равномерном распределении сообществ групп ассоциаций по различным мезоформам рельефа.

**Мезоформы:** 1 – V-образные части долин рек и ручьев; 2 – основные поверхности надпойменных террас и пойм; 3 – ложбины стока талых ледниковых вод; 4 – основная поверхность водораздела; 5 – моренные холмы. Обозначения групп ассоциаций см. на рис. 5.

Так, в геоморфологическом районе Клинско-Дмитровской гряды дубовые леса чаще встречаются по вершинам водоразделов (моренные холмы и основные поверхности водоразделов), а еловые – на пониженных и менее дренированных участках (древние ложбины стока талых ледниковых вод и основные поверхности водораздела). Согласно нашим данным, приуроченностью среди еловых лесов отличаются только мелкотравные сообщества.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые выполнен детальный анализ динамики лесистости и истории природопользования за последние две сотни лет для Верейско-Можайского ландшафта Московской области. Показано, что уже в конце XVIII в. практически все леса были мелколиственными (березовыми и осиновыми), и лишь малая часть территории (4%) находилась под лесом на всех временных срезах. В настоящее время лесистость территории составляет 56%, из них доля культур – 22%. Самые старые культуры датированы 1891 г. Таким образом, хозяйственная нагрузка на

регион в течение последних столетий значительно повлияла на состав и распределение лесного покрова.

2. Показано, что высокое ценотическое разнообразие лесов региона обусловлено в первую очередь разнообразием лесообразующих пород и их сочетаний. Для территории исследований выделено и охарактеризовано 17 синтаксонов в ранге групп ассоциаций, которые относятся к 11 формациям и 7 классам формаций. Адекватное разделение классификационных единиц подтверждено статистическим анализом

3. На экотопическом уровне установлены приоритетные факторы – освещенность, трофность и кислотность, определяющие дифференциацию состава подчиненных ярусов сообществ, в то время как влажность и богатство почв азотом оказывают меньшее влияние.

4. Выявлена пространственная организация лесного покрова с разработкой детальной карты на основе методов многомерного анализа данных. Достоверность картографической модели по результатам проверки на основе независимой выборки составляет 78%. Показано, что наиболее распространены еловые мелкотравно-широкотравные леса, реже всего встречаются сообщества со значительным участием широколиственных пород.

5. Оценена неопределенность классификации выделенных синтаксонов по дистанционным данным и цифровым моделям рельефа. «Более точно» (с наименьшей неопределенностью) выявлялись сероольховые широкоотравно-влажнотравные и березовые разнотравные сообщества, что объясняется особенностями условий их местообитания.

6. Впервые доказано, что на ландшафтном уровне рельеф выступает ведущим фактором дифференциации лесного покрова для сообществ половины выделенных групп ассоциаций. Статистически подтверждены предшествующие наблюдения исследователей о ландшафтной приуроченности дубовых лесов геоморфологического района Клинско-Дмитровской гряды к вершинам водоразделов (моренные холмы и основные поверхности водоразделов), а еловых мелкотравных – к понижениям (ложбинам стока талых ледниковых вод и основным поверхностям водоразделов). Наибольшей приуроченностью к мезоформам рельефа характеризуются сосновые разнотравные леса.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

#### Статьи в журналах из списка ВАК, Web of Science и Scopus

1. **Беляева Н.Г.** Анализ структуры лесного покрова юго-западной части Клинско-Дмитровской гряды на основе ландшафтного подхода // Изв. Самарского научн. центра РАН. 2012. Т. 14. № 1(6). С. 1434–1437.

2. **Беляева Н.Г.**, Попов С.Ю. Изменение лесистости бывшего Вере́йского уезда Московской области за последние 200 лет // Лесоведение. 2016. № 1. С. 44-54.

3. Chernen'kova T.V., Morozova O.V., Puzachenko M.Yu., Popov S.Yu., **Belyaeva N.G.** Composition and Structure of Spruce Forests of the Southwestern Part of Moscow Oblast // Contemporary Problems of Ecology. 2016. V. 9. No. 7. P. 820–833.

4. Морозова О.В., Семенищенков Ю.А., Тихонова Е.В., **Беляева Н.Г.**, Кожевникова М.В., Черненкова Т.В. Неморальнотравные ельники Европейской России // Растительность России. 2017. № 31. С. 33-58.

5. **Belyaeva N.G.**, Chernen`kova T.V. Relationship between Habitat Properties and Composition of Communities in Conifer-Broadleaf Forest // Russian Journal of Ecology. 2018 V. 49. N. 2. P. 111–118.

6. **Беляева Н.Г.**, Черненкова Т.В., Морозова О.В., Сандлерский Р.Б., Архипова М.В. Сравнение эколого-фитоценотического и эколого-флористического методов классификации для оценки ценотического разнообразия и картографирования лесной растительности // Лесоведение 2018. № 3. С. 163-178.

#### Публикации в других изданиях

7. **Беляева Н.Г.**, Нешатаева В.Ю. Фитоценотическое разнообразие березовых неморальнотравных лесов юго-западного Подмосквья // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2017. Т. 11. №1. С. 63-73.

#### Тезисы и материалы конференций

8. **Беляева Н.Г.** Восстановительные сукцессии после сплошных рубок в елово-широколиственных лесах юго-западного Подмосквья // Мониторинг и оценка состояния растительного мира. Материалы IV Международной научной конференции. Минск, 30 сентября - 4 октября 2013 г. Минск: ГУ «БелИСА», 2013. 378 с. С. 96-98.

9. **Беляева Н.Г.**, Попов С.Ю., Быков Д.А. Анализ изменения лесистости и хозяйственной деятельности человека в западной части Наро-Фоминского района Московской области за последние 250 лет // Материалы Всероссийской научной конференции «Прошлое, современное состояние и прогноз развития географических систем». Киров, 2-4 октября 2014 г. Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. 298 с. С. 186-192.

10. Черненкова Т.В., Огуреева Г.Н., Морозова О.В., Пузаченко М.Ю., **Беляева Н.Г.**, Попов С.Ю., Кадетов Н.Г. Современное состояние растительности юго-западного Подмосквья // Материалы Международной научной конференции «Растительность Восточной Европы и Северной Азии». Брянск, 29 сентября - 3 октября 2014 г. Брянск: ГУП "Брянское полиграфическое объединение", 2014. 168 с. С. 156.

11. Черненкова Т.В., Морозова О.В., Пузаченко М.Ю., **Беляева Н.Г.**, Попов С.Ю. Состав и структура лесных сообществ юго-западного Подмосквья: классификация и картографирование // Материалы Всероссийской научной конференции, Москва, 21-23 октября 2014 г. М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. 191 с. С. 46-47.

12. **Беляева Н.Г.** Оценка состава и распределения лесных сообществ междуречья Протвы и Исьмы с учетом истории природопользования // Материалы V Всероссийской геоботанической школы конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 4-9 октября 2015 г. СПб: 2015. С. 29.

13. **Беляева Н.Г.**, Черненкова Т.В., Морозова О.В. Применение данных наземных исследований, спутниковой информации и ГИС-технологии для решения задач в области лесоведения и тематического картографирования (на примере юго-

западной части Московской области) // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции, Москва, 20-22 апреля 2016 г. М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. 228 с. С. 157-161.

14. **Беляева Н.Г.**, Сандлерский Р.Б. Пространственное распределение лесных сообществ юго-западной части Клинско-Дмитровской гряды (Московская область) в зависимости от свойств рельефа // Современные фундаментальные проблемы классификации растительности: Материалы Международной научной конференции, Ялта, Республика Крым, 4-9 октября 2016 г. С. 23-24.

15. Черненко Т.В., Морозова О.В., **Беляева Н.Г.**, Пузаченко М.Ю. Применение современных классификационных подходов для тематического картографирования // Современные фундаментальные проблемы классификации растительности: Материалы Международной научной конференции, Ялта, Республика Крым, 4-9 октября 2016 г. С. 146-147.

16. Черненко Т.В., **Беляева Н.Г.** Возможности анализа и пространственного отображения биоразнообразия лесного покрова с использованием дистанционных данных // Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги. Материалы Всероссийской научной конференции, Петрозаводск, 11-15 сентября 2017 г. С. 317-319.