

УДК 630*181

АНАЛИЗ СОПРЯЖЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД И ТИПОВ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ С ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ЛИСИНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. В. Ю. Нешатаев^{1,*}, С. В. Тетюхин¹

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, 194021, Россия

* E-mail: vn1872@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.11.2021

После доработки 06.02.2024

Принята к публикации 12.04.2024

Анализ литературы показал, что исследования связи преобладающих древесных пород с гранулометрическим составом почв на основе статистического анализа количественных данных малочисленны, а полученные на ограниченных данных результаты требуют проверки на более обширном экспериментальном материале. Цель работы — выявить связь преобладающих древесных пород с песками и глинами на материале массовых лесотаксационных данных и данных картографирования четвертичных почвообразующих пород.

Основные задачи исследования:

- 1) разработка геоинформационной системы, включающей векторные карты с электронной лесотаксационной информацией и векторную тематическую карту поверхностных четвертичных отложений;
- 2) статистический анализ сопряженности преобладающих пород, типов лесорастительных условий (ЛРУ) и видов четвертичных отложений.

Установлено (хи-квадрат, мера Дайса, относительный риск), что черничная группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на глинках, а кисличная группа, наоборот, чаще на глинках, чем на песках. Подтвердилась гипотеза о том, что в условиях зеленомошной группы типов ЛРУ (кисличных и черничных) осина (*Populus tremula* L.) предпочитает глинистые почвы, а береза (*Betula*) — песчаные. Широко распространенные представления о связи сосняков с песчаными, а ельников с глинистыми почвами не подтвердились для зеленомошной группы типов ЛРУ на уровне значимости 0.05.

Ключевые слова: ГИС, карта четвертичных отложений, электронные базы данных лесоустройства, преобладающая порода, кисличный, черничный тип лесорастительных условий, тип леса, глины, пески

DOI: 10.31857/S0024114824030019, EDN: PEOZVE

Связь состава насаждений и гранулометрического состава почв давно привлекала внимание лесоводов, лесотипологов и фитоценологов (Кравчинский, 1912; Крюденер, 1916; Сукачев, 1934; Погребняк, 1955; Благовидов, Бурков, 1957; Морозов, 1970; Чертов, 1981; Федорчук и др., 2005; Березин, Карпачевский, 2009; Нешатаев, 2012; Ставрова и др., 2015; Маркин, Маркина, 2017; Lukina et al., 2019; и др.).

Особый интерес представляют взаимоотношения сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea abies* (L.) N. Karst) в зависимости от принадлежности почв к подразделениям по гранулометрическому составу. В России общепринято подразделение почв с учетом гранулометрического состава по Н.А. Качинскому (Березин, Карпачевский, 2009; Шеин, 2009), что нашло свое отражение в книге «Классификация и диагностика почв России»

(2004), где предложено разделять почвы по гранулометрическому составу на шесть разновидностей: песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, среднесуглинистые, тяжелосуглинистые, глинистые. Точное определение гранулометрического состава почвы по содержанию первичных частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению к их общей массе, — очень трудоемкий процесс (Шеин, 2009). В полевых условиях для этих целей используется «метод скатывания шнура» Н.А. Качинского, основанный на оценке пластичности почвенной массы при увлажнении ее до тестообразной консистенции. Согласно методу различают: песок (непластичная почва, скатать комок или шнур не получается); супесь, (очень слабoplastичная почва, скатывается в непрочный шарик, но не скатывается в шнур); легкий

суглинок (слабопластичная почва, скатывается в короткие толстые цилиндрики, колбаски, которые растрескиваются при сгибании); средний суглинок (среднепластичная почва, скатывается в шнур диаметром 2—3 мм, который легко ломается при дальнейшем скатывании или растрескивается при сгибании); суглинок тяжелый (очень пластичная почва, скатывается в тонкий, меньше 2 мм в диаметре шнур, который надламывается при сгибании его в кольцо диаметром 2—3 см); глина (высокопластичная почва, скатывается в длинный, тонкий, меньше 2 мм, шнур, который сгибается в кольцо диаметром 2—3 см без нарушения его цельности).

Большинство упомянутых выше исследователей указывают на то, что суходольные сосновые и еловые леса обычно занимают различные по гранулометрическому составу местообитания: ельники — глинистые, суглинистые почвы, сосняки — песчаные, но ель может произрастать и на песчаных почвах (Погребняк, 1955; Морозов, 1970; Федорчук и др., 2005). Так как ель, сравнительно с сосной, значительно более теневынослива, то она успешно растет под пологом сосны и постепенно вытесняет ее в условиях среднего увлажнения и почвенного богатства. Существование обширных сосновых лесов обычно объясняют лесными пожарами, которые уничтожают еловые леса, а в сосновых лесах обычно имеют характер низового пала. Известно также, что сосна лучше возобновляется на горячих и может рассматриваться как настоящий вид-пиофит (Санников, 1992). При отсутствии пожаров сосновые леса в большей своей части сменяются еловыми и кедровыми в области их распространения (Гордягин, 1900; Погребняк, 1955).

Соотношение сосны и ели в Лисинской части учебно-опытного (УО) лесничества охарактеризовал Д. М. Кравчинский (1912). Он писал: «По природе леса Лисинскую дачу следовало бы назвать еловой дачей. Ельники произрастают у нас, на нашей ровной, холодной почве суглинистого типа на более возвышенных, наименее переполненных водой местах» (с. 695). Отметив, что «боровых» (т. е. песчаных сильно дренированных) местообитаний в Лисинской даче крайне мало, он продолжал: «Природные сосновые участки Лисинской дачи занимают более низкие мокрые болотные почвы... По характеру возобновления сосна, как строевая, так и дровяная, резко отличается от ели, она, как светолюбивая порода, отлично развивается на сплошных открытых вырубках» (с. 698).

Уже в начале 20 в. ученые-лесоводы убедительно доказали, что ель более требовательна, чем сосна, к почвенному плодородию, в меньшей степени устойчива к недостатку влаги в почве, в большей степени, чем сосна, изменяет фитосреду, обладая более высокой массой хвои и ее опадом, сильнее затеняет подпоговое пространство и больше задерживает кроной осадки (Морозов, 1970). Сосна — порода

светолюбивая, ель — теневыносливая, первая — быстрорастущая, вторая — медленно растущая, сосна более ветроустойчива, чем ель. Сосна нечувствительна к заморозкам в молодости, ель — чувствительна. Сосна может быть подгоном, ель — нет; сосна может быть пионером, ель — нет (Морозов, 1970).

В. Ю. Нешатаев (2012) на материале многолетних наблюдений на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 1980-е гг. совместно с В. Н. Федорчуком, показал, что после рубки ельника черничного с участием сосны на нормально дренированных песках успешно возобновилась сосна, а в живом напочвенном покрове — лесные мхи-мезофиты, вереск (*Calluna vulgaris* (L.) Hill) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.). На ППП, заложенных на вырубках ельников черничных на нормально дренированных суглинках, возобновление хвойных пород было подавлено сильно разросшимися вейниками (*Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth, *C. epigeios* (L.) Roth.), малиной (*Rubus idaeus* L.), березой и осиной. В. Ю. Нешатаев (2012) объясняет такое расхождение не только различным составом древостоев до рубки, но и более сильным снижением почвенного богатства после рубки ельника черничного на песках, чем на суглинках. Как пишет В. Ю. Нешатаев (2012), ссылаясь на В. В. Пономареву (1964), в отличие от песков, суглинка и глины обладают очень важным свойством — чрезвычайно тонкой пористостью, вследствие которой они ведут себя как тонкомолекулярные сита, создающие сопротивление для прохождения через них растворов высокомолекулярных органических соединений. Кроме того, наименьшая влагоемкость суглинков значительно выше, чем песков (Роде, Смирнов, 1972), поэтому вынос питательных элементов при увеличении количества осадков, поступающих на вырубку, на песках выше, чем на суглинках. Почвенные частицы суглинков имеют более высокую площадь поверхности, обеспечивающую удержание коллоидов и воды в теле почвы. Вследствие этого в суглинистых почвах гумус накапливается в верхних горизонтах интенсивнее, чем в песчаных. Таким образом, суглинка в целом обладают большим плодородием, большей водоудерживающей способностью и более пригодны для ели, чем пески.

Следует признать, что исследования связи преобладающих древесных пород с гранулометрическим составом почв на основе статистического анализа количественных данных малочисленны, а полученные на ограниченных данных результаты требуют проверки на более обширном экспериментальном материале.

Большие возможности для такого анализа открылись в связи с созданием геоинформационной системы Лисинского УО (Тетюхин, Минаев, 2002; Тетюхин и др., 2018). Благодаря возможности совмещать и одновременно анализировать в многообразном сочетании данные дистанционного

зондирования и различные разновременные электронные тематические карты (общегеографические, геологические, почвенные, геоботанические, планы лесонасаждений и др.), можно говорить о новом использовании картографического метода. Приведенные материалы (Тетюхин и др., 2018) наглядно показывают, что изучение лесных экосистем, построенное на широкомасштабном применении разновременных электронных карт, позволяет намного эффективнее, чем обычными методами, решать многие научно-производственные задачи.

При анализе результатов исследований прошлых лет нами были выдвинуты следующие рабочие гипотезы:

1) черничная фитоценотическая группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на суглинках, а кисличная, наоборот, чаще на суглинках, чем на песках;

2) на песчаных почвах после рубок и пожаров хвойные имеют преимущество по сравнению с мягколиственными породами, в отличие от естественного возобновления на суглинках, в котором мягколиственные породы играют более значительную роль;

3) в условиях черничных типов леса на песчаных почвах сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях черничной серии типов леса на глинистых почвах сосна встречается реже, чем ель;

4) в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ на песчаных почвах (черничных и кисличных) сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ (черничных и кисличных) на глинистых почвах сосна встречается реже и преобладает ель;

5) в условиях кисличных и черничных типов леса осина предпочитает суглинистые почвы, а береза — песчаные.

Цель настоящей работы — проверить выдвинутые гипотезы на материале массовых лесотаксационных данных, полученных в результате проведения лесоустроительных работ на территории Лисинской части УО лесничества Ленинградской области общей площадью 28361 га, и данных картографирования четвертичных почвообразующих пород.

Отметим, что прямое исследование факторов, определяющих распределение сосны и ели, таких как влажность, почвенное плодородие, температурный режим, давность рубки или пожара, наличие в окружении вырубок и гарей источников семян сосны и ели, в данной работе не изучали. Оно было заменено исследованием связи с типами почвообразующих пород, выделенных по различию гранулометрического состава и косвенно определяющих влажность и потенциальное плодородие почв.

В задачи исследования входили:

1) разработка геоинформационной системы (ГИС), включающей векторные карты с электронной лесотаксационной информацией (Проект... 2005) и векторную тематическую карту поверхностных четвертичных отложений;

2) анализ сопряженности преобладающих пород, типов ЛРУ и видов четвертичных отложений и статистическая проверка сформулированных рабочих гипотез.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Лисинская часть УО лесничества расположена в центральной части Ленинградской области, в Тосненском районе, в 60 км от центра Санкт-Петербурга. Все леса лесничества относятся к защитным, к категории ценные леса, к подкатегории леса, имеющие научное или историческое значение (Лесохозяйственный регламент... 2018).

По геоботаническому районированию объект исследования относится к полосе южной тайги Лужского округа Североевропейской таежной провинции (Александрова, Юрковская, 1989). В Лисинской части УО лесничества преобладают еловые леса (34%), на втором месте — сосняки (28%), на третьем — березняки (23%). Осинники занимают 14%, на остальные лесные формации приходится около 1% (Проект... 2005). Практически вся лесная растительность нормально дренированных местообитаний возникла на месте вырубок или гарей (200 лет... 1997). На нормально дренированных местообитаниях преобладают леса кисличной группы типов ЛРУ, обычны также леса черничной группы типов ЛРУ. На слабо и недостаточно дренированных местообитаниях произрастают сосняки сфагновые, леса долгомошно-сфагновой и болотнотравной групп типов ЛРУ. Часть ранее заболоченных земель осушена.

В анализе использованы данные 3651 выдела ельников, сосняков, березняков, осинников, в том числе 729 выделов (площадь 1091 га) на песках и супесях камов и озов, 2922 выдела (площадь 5825 га) на ленточных глинах. Все проанализированные выделы приурочены к нормально дренированным местообитаниям зеленомошной группы типов лесорастительных условий (ЛРУ), в том числе кисличные на глинах (КИСГ) и песках (КИСП) и черничные на глинах (ЧЕРГ) и песках (ЧЕРП). Типы ЛРУ даны в соответствии с разработками СПбНИИЛХ (Федорчук и др., 2005).

Методической основой в работе являлось использование массовых лесотаксационных данных, полученных в 2005 г. сотрудиниками Комплексной лесоустроительной экспедиции «Севзаплеспроект» (сейчас — филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект») по 1 разряду лесоустройства глазомерно-измерительным методом с использованием

цветных спектрзональных аэрофотоснимков масштаба 1:10 000 (Тетюхин, 2004, Лесохозяйственный регламент... 2018). Базы лесоустроительных данных на объект исследования создавали путем конвертирования векторных карт и электронных повыделных лесотаксационных материалов из системы ЛУГИС (WinGIS — PLP) в форматы MapInfo Professional.

Таксационные выделы были совмещены с таксационными базами данных, оцифрованной картой четвертичных отложений масштаба 1:20 000, составленной в ходе лесоустроительных работ 1961 г. на базе геологической карты Б. Ф. Землякова (1928), уточненной А. И. Тимофеевым и С. Н. Савицкой (2009, 2011) по результатам почвенного картографирования Лисинской части УО лесничества.

Данные, представленные в виде слоев векторных карт, совмещенных с таксационными базами данных, позволили не только наиболее полно и точно охарактеризовать структуру земель лесного фонда объекта исследований (Тетюхин, Минаев, 2002), но и совместить данные повыделной таксации с картой четвертичных отложений и на этой основе построить сводные таблицы сопряженности.

Согласно детальным геологическим исследованиям, проведенным в 1920-х гг. под руководством Б. Ф. Землякова (1928) и позднее Н. Л. Благовидова, Г. Д. Буркова (1957), А. И. Тимофеева, С. Н. Савицкой (2009, 2011), территория Лисинской части УО лесничества представляет собой дно озерно-ледникового бассейна. В основу работы положена карта четвертичных отложений 1:56000, составленная Б. Ф. Земляковым (1928), позднее уточненная в ходе составления почвенной карты А. И. Тимофеевым и С. Н. Савицкой (2011). Оцифровка карты четвертичных отложений выполнена в полуавтоматическом режиме с помощью пакета MapInfo Professional (рис. 1). Согласно А. И. Тимофееву и С. Н. Савицкой (2009), 36.9% площади представлены в Лисинской части УО лесничества ленточными глинами, пески озера и камов (Савицкая и др., 2010) занимают 6.8% площади. Остальные почвообразующие породы представлены моренными суглинками — 37.3%, двучленными наносами (супесь, песок на суглинке) — 9.6%, аллювиальными супесями и суглинками — 0.5%, торфами — 8.9%. Характеристика гранулометрического состава основных почвообразующих пород приведена в табл. 1.

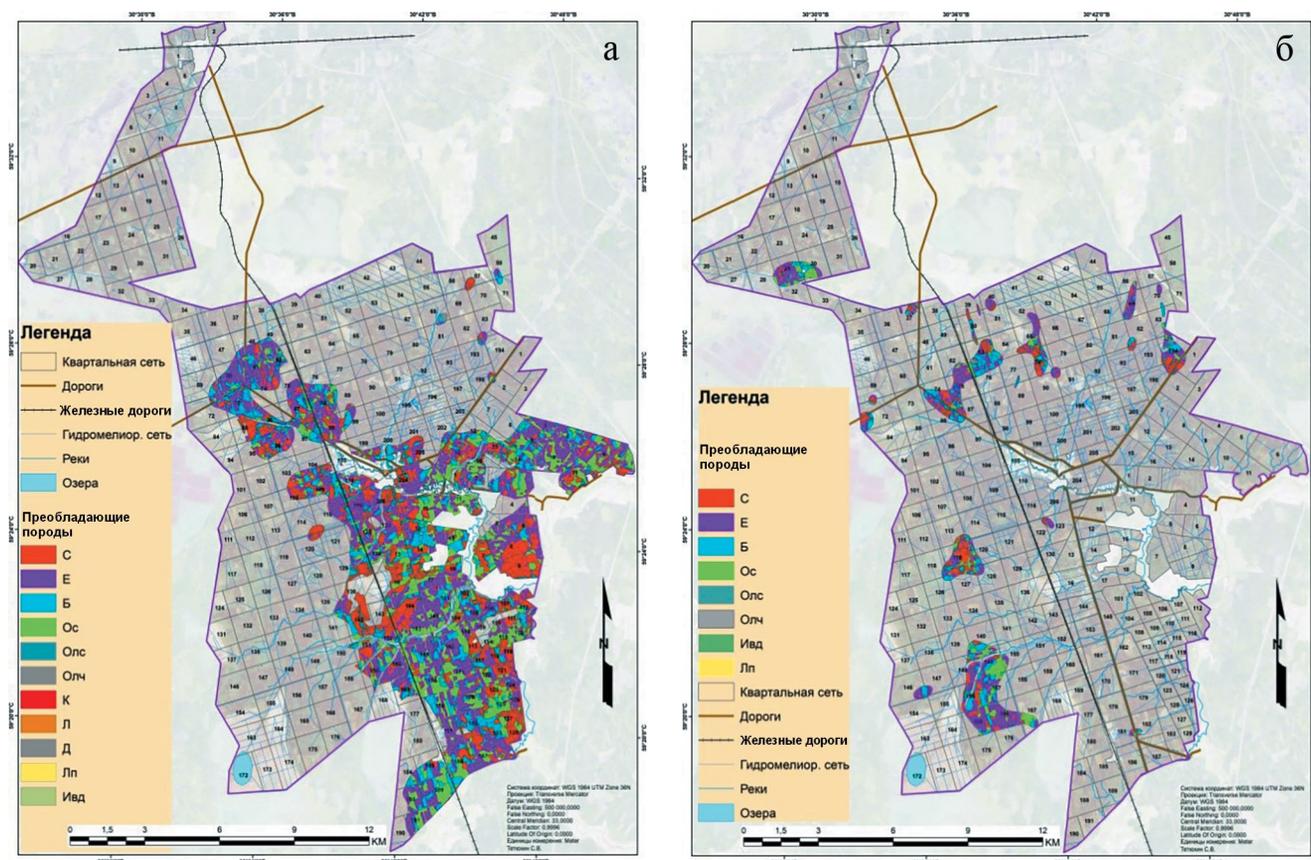


Рис. 1. Векторные карты пространственного расположения лесотаксационных выделов на ленточных глинах (а) и песках (б). Преобладающие породы: С — сосна, Е — ель, Б — береза, Ос — осина, Олс — ольха серая, Олч — ольха черная, К — кедр (лесные культуры), Л — лиственница (лесные культуры), Д — дуб, Лп — липа, Ивд — ивы древовидные.

Таблица 1. Содержание частиц различного размера в почвах Лисинской части УО лесничества, %

| Почвообразующая порода (количество разрезов) | Размер частиц, мм | | | | | |
|--|-------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | >3.0 | 3.0—1.0 | 1—0.25 | 0.25—0.05 | 0.05—0.01 | < 0.01 |
| Ленточная глина (6)* | — | — | 0.1—2.2 | 0.5—3.4 | 0.3—14.5 | 82.5—99.2 |
| Пески озов (5) | 0—40.0 | 0—43.3 | 7.2—84.6 | 0.5—25.8 | 0—6.4 | 0—5.5 |

* По А. И. Тимофееву, С. Н. Савицкой (2009).

С использованием программного комплекса ArcGIS производилось пространственное совмещение векторных слоев с лесотаксационными данными со слоями видов четвертичных отложений. Затем, после их объединения, рассчитывалась площадь вновь образованных лесотаксационных участков с дальнейшей конвертацией в систему управления базами данных Microsoft Access. Последующая математическая обработка результатов выборок производилась в MS-Excel.

Для сопоставления эмпирического распределения признака с теоретическим равномерным рассчитывали сопряженность и применяли критерий χ^2 Пирсона (Агишева и др., 2010) для четырехпольных таблиц вида (табл. 2).

Таблица 2. Общий вид четырехпольной таблицы частот

| Влияющие факторы (группы) | Наблюдаемые исходы | | Сумма по строкам |
|---------------------------|--------------------|----------|-----------------------|
| | 1 | 2 | |
| 1 | x_{11} | x_{12} | $x_{1.}$ |
| 2 | x_{21} | x_{22} | $x_{2.}$ |
| Сумма по столбцам | $x_{.1}$ | $x_{.2}$ | $x_{1.} + x_{2.} = N$ |

Для оценки тесноты связи строк и столбцов в четырехпольных таблицах использовали меру Дайса и относительный риск (ОР). Мера Дайса для конкретной ячейки четырехпольной таблицы равна удвоенной количеству наблюдений в данной ячейке (x_{ij}), деленной на сумму по строкам ($x_{i.}$) и столбцам ($x_{.j}$), в которых находится данная ячейка:

$$D_{ij} = 2x_{ij}/(x_{i.} + x_{.j}).$$

Мера Дайса варьирует от 0 до 1, она принимает значение 1, когда $x_{ij} = x_{i.}$ и равна 0, когда $x_{ij} = 0$. Таким образом, она свидетельствует о том, насколько сопряжен тот или иной фактор с тем или иным исходом.

Относительный риск — это отношение частоты исходов 1 в первой группе к частоте исходов 2 во второй группе (Тихова, 2012):

$$OP = (x_{11}/x_{1.})/(x_{21}/x_{2.}).$$

ОР стремится к единице при равенстве частот исходов, свидетельствующих о независимости исходов

от влияния факторов (принадлежности к группе). ОР — величина, имеющая свою стандартную ошибку и доверительный интервал (Тихова, 2012). Их расчеты достаточно сложны и получены с помощью статистического пакета сайта «Кировская молекулярная биология». Проверяемая гипотеза: достоверно ли статистически ОР отличается от 1 Д, для этого мы использовали его доверительный интервал (ДИ), рассчитанный для уровней значимости 0.05 и 0.01.

Поскольку рассчитываемые статистики оперируют частотами, то для расчетов критерия χ^2 , ОР и меры Дайса использовали количество выделов с исследуемыми свойствами, а не их площади. При этом отметим, что площади и количество выделов с исследуемыми свойствами находятся в корреляционной связи, близкой к функциональной.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ сопряженности фитоценологических групп и типов лесорастительных условий показал достоверность преобладания кисличной группы на глинах, а черничной на песках (табл. 3). Таким образом, первая рабочая гипотеза подтверждается на уровне значимости 1%. Известно, что кисличные типы леса занимают более богатые почвы, чем черничные, что подтверждается индикацией почвенного богатства по шкалам Л. Г. Раменского, многочисленными морфологическими описаниями почв и их агрохимическими анализами (Федорчук и др., 2005; Lukina et al., 2019). В то же время глины считаются потенциально более плодородными почвообразующими породами, чем пески (Тимофеев, Савицкая, 2009).

Таблица 3. Сопряженность почвообразующих пород и фитоценологических групп: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

| Почвообразующая порода | Фитоценологическая группа | | Итого... |
|------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| | КИС | ЧЕР | |
| Глина | 0.78 2162 | 0.30 760 | 0.89 2922 |
| Песок | 0.27 449 | 0.32 280 | 0.33 729 |
| Итого... | 0.83 2611 | 0.44 1040 | 1.00 3651 |

Примечание. Уровень значимости 0.01 (1%), ОР = 1.77 (ДИ: от 1.5 до 2.1), F = 0.000000, $\chi^2 = 44.03$ (есть достоверная разница).

Приведенные в табл. 4 данные показали, что распределение групп хвойных и мягколиственных пород в группе зеленомошных типов ЛРУ (кисличных и черничных) на песках и глинах достоверно не отличается. Таким образом, вторая рабочая гипотеза не подтверждается для групп типов ЛРУ на уровне значимости 5 %.

Таблица 4. Сопряженность почвообразующих пород и групп преобладающих пород: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

| Почвообразующая порода (типы ЛРУ) | Группа преобладающих пород | | Итого... |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| | Хвойные | Мягколиственные | |
| Глина (КИСГ+ЧЕРГ) | <u>0.64</u> 1550 | <u>0.59</u> 1372 | <u>0.89</u> 2922 |
| Песок (КИСП+ЧЕРП) | <u>0.29</u> 394 | <u>0.28</u> 335 | <u>0.33</u> 729 |
| Итого... | <u>0.69</u> 1944 | <u>0.64</u> 1707 | <u>1.00</u> 3651 |

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 1.0$ (ДИ: от 0.91 до 1.1), $F = 0.981557$, $\chi^2 = 0.00$ (достоверной разницы нет).

Исследования показали, что распределение сосны и ели в черничных типах леса на песках и глинах достоверно не отличается (табл. 5). Таким образом, третья рабочая гипотеза не подтверждается на уровне значимости 5 %.

Таблица 5. Сопряженность почвообразующих пород и хвойных древесных пород для черничной группы типов ЛРУ: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

| Почвообразующая порода (тип ЛРУ) | Тип ЛРУ | | Итого... |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Сосна | Ель | |
| Глина (ЧЕРГ) | <u>0.59</u> 280 | <u>0.60</u> 302 | <u>0.85</u> 582 |
| Песок (ЧЕРП) | <u>0.30</u> 86 | <u>0.37</u> 115 | <u>0.41</u> 201 |
| Итого... | <u>0.22</u> 366 | <u>0.46</u> 417 | <u>1.00</u> 783 |

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 1.24$ (ДИ: от 0.90 до 1.71), $F = 0.218731$, $\chi^2 = 1.7$ (достоверной разницы нет).

Анализ сопряженности сосны и ели и зеленомошных типов ЛРУ, различающихся по почвообразующей породе, показал, что сосна чаще встречается на песках, а ель — на суглинках, но связь этих древесных пород с гранулометрическим составом почв зеленомошной группы типов ЛРУ недостоверна (табл. 6). Таким образом, четвертая гипотеза не подтверждается на уровне значимости 5 %. Как было отмечено выше,

сосна является пионерной породой на вырубках и гарях, в отличие от ели. Отсутствие достоверной связи преобладания сосны и ели с почвообразующими породами можно объяснить тем, что в исследовании не учтено влияние рубок и пожаров, а также наличие источников семян разных видов лесообразователей в окружении вырубков и гарей.

Таблица 6. Сопряженность преобладания сосны и ели в зеленомошных типах ЛРУ и почвообразующей породе: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

| Почвообразующая порода (типы ЛРУ) | Преобладающая порода | | Итого... |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Сосна | Ель | |
| Глина (КИСГ+ЧЕРГ) | <u>0.52</u> 590 | <u>0.70</u> 960 | <u>0.89</u> 1550 |
| Песок (КИСП+ЧЕРП) | <u>0.27</u> 151 | <u>0.30</u> 243 | <u>0.34</u> 394 |
| Итого... | <u>0.55</u> 741 | <u>0.76</u> 1203 | <u>1.00</u> 1944 |

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 0.99$ (ДИ: от 0.79 до 1.24), $F = 0.953691$, $\chi^2 = 0.01$ (достоверной разницы нет).

Анализ сопряженности осины и березы в зеленомошных типах ЛРУ и почвообразующей породе (табл. 7) показал, что осина больше тяготеет к глинам, а береза — к пескам. Таким образом, пятая нулевая гипотеза подтверждается на уровне значимости 1 %.

Тяготение осины к глинам и распространение березы как на глинах, так и на песках (табл. 7) объяснимо, если принять во внимание то, что осина более требовательна к почвенному богатству, чем береза (Морозов, 1970), а почвы на глинах богаче элементами питания растений, чем песчаные почвы.

Таблица 7. Сопряженность осины и березы и зеленомошных типов ЛРУ, различающихся по почвообразующей породе: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

| Почвообразующая порода (типы ЛРУ) | Преобладающая порода | | Итого... |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| | Береза | Осина | |
| Глина (КИСГ+ЧЕРГ) | <u>0.52</u> 558 | 0.70 814 | <u>0.89</u> 1372 |
| Песок (КИСП+ЧЕРП) | 0.38 209 | <u>0.20</u> 126 | <u>0.33</u> 335 |
| Итого... | <u>0.62</u> 767 | <u>0.71</u> 940 | <u>1.00</u> 1707 |

Примечание. Уровень значимости 0.01 (1%), $OP = 0.41$ (ДИ: от 0.32 до 0.53), $F = 0.000000$, $\chi^2 = 51.33$ (есть достоверная разница).

ВЫВОДЫ

Использование цифровой картографической информации, полученной в разное время (почвенная карта с 1974 по 2009 г., материалы лесоустройства — в 2005 г.) с помощью ГИС-технологий, позволило провести обработку большого массива географически привязанных данных и обеспечило возможность проверки выдвинутых рабочих гипотез. Анализ сопряженности почвообразующих пород, типов ЛРУ, преобладающих древесных пород позволил сделать следующие выводы:

1) подтверждается гипотеза о том, что черничная фитоценотическая группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на суглинках, а кисличная группа, наоборот, чаще встречается на суглинках, чем на песках;

2) гипотеза о том, что на песчаных почвах по сравнению с глинами после рубок и пожаров хвойные имеют преимущество перед мягколиственными породами, не подтверждена;

3) гипотеза о том, что в условиях черничного типа ЛРУ на песчаных почвах сосна преобладает чаще, чем ель, а в условиях черничного типа ЛРУ на суглинистых почвах сосна преобладает реже, чем ель, не подтверждена;

4) гипотеза о том, что в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ на песчаных почвах (черничных и кисличных) сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ (черничных и кисличных) на глинистых почвах чаще преобладает ель, не подтвердилась;

5) подтвердилась гипотеза о том, что в условиях зеленомошной группы типов ЛРУ (кисличных и черничных) осина предпочитает суглинистые почвы, а береза — песчаные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

200 лет лесному учебному и опытному делу в Лисинском учебно-опытном лесхозе / под ред. Г. И. Редько. СПб.: ЛТА, 1997. 354 с.

Агишева Д. К., Зотова С. А., Матвеева Т. А., Светличная В. Б. Математическая статистика. Волгоград: ВолгГТУ, 2010. 159 с.

Александрова В. Д., Юрковская Т. К. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Благовидов Н. Л., Бурков Г. Д. Почвы Лисинского учебно-опытного лесхоза. Объяснительная записка к почвенной карте лесхоза. Л.: кафедра почвоведения ЛТА, 1957. 52 с.

Березин Л. В., Карпачевский Л. О. Лесное почвоведение. Омск: ОмГАУ, 2009. 360 с.

Гордягин А. Я. Материалы для познания почв и растительности Западной Сибири // Труды Общества

естествоиспытателей при Императорском Казанском университете. 1900. Т. 34. Вып. 2. 222 с.

Земляков Б. Ф. Геологический очерк Лисинской лесной дачи // Природа и хозяйство уч.-оп. лесничеств Ленинградского лесного института. М., 1928. С. 241—270.

Кировская молекулярная биология: калькулятор Хи-квадрат, критерия Фишера, отношения рисков [Электронный ресурс]. URL: <https://molbiol.kirov.ru/utilites/multitool/> (дата обращения: 06.01.2022).

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

Кравчинский Д. Лисинская казенная лесная дача // Лесной журнал. 1912. Вып. 6-7. С. 691—709.

Крюденер А. А. Основы классификаций типов насаждений и их народохозяйственное значение в обиходе страны // Лесной журнал. 1916. Вып. 2, 3-4. Петроград: типография главного управления уделов, 1916. 190 с.

Лесохозяйственный регламент учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект». СПб., 2018. 258 с.

Маркин В. Е., Маркина З. Н. Рост подпологовых еловых культур в зависимости от гранулометрического состава почв в учебно-опытном лесхозе БГИТУ // Роль учебно-опытных лесхозов вузов России в подготовке кадров для лесного сектора: мат-лы научно-практической конф. 2017. С. 162—165.

Морозов Г. Ф. Биология лесных пород. Учение о лесоводственных свойствах древесных пород // Избранные труды в двух томах. Т. 1. М.: Лесная промышленность, 1970. С. 115—198.

Нешатаев В. Ю. Динамика живого напочвенного покрова и естественного возобновления древесных пород на вырубках черничной группы типов леса в Ленинградской области // Современные проблемы лесного хозяйства и лесоустройства: мат-лы Междунар. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. С. 36—37.

Погребняк П. С. Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.

Проект организации и ведения лесного хозяйства Лисинского учебно-опытного лесхоза Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С. М. Кирова. СПб., 2005. 126 с.

Пономарева В. В. Теория подзолообразовательного процесса. Биохимические аспекты. М.; Л.: Наука, 1964. 379 с.

Роде А. А., Смирнов В. Н. Почвоведение. М.: Высшая школа, 1972. 480 с.

Савицкая С. Н., Тимофеев А. И., Гуля. Почвы на легких флювиогляциальных отложениях в Лисинском лесхозе // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. СПб., 2010. Вып. 3 (23). С. 5—10.

Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 262 с.

- Ставрова Н. И., Гориков В. В., Баккал И. Ю., Катаева М. Н. Типологическое разнообразие сосновых лесов и его связь с гранулометрическим составом почв в условиях северной тайги // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. Ч. 1. Минск: Конфида, 2015. С. 196—200.
- Сукачев В. Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 614 с.
- Тетюхин С. В., Минаев В. Н., Богомолова Л. П. Лесная таксация и лесоустройство: нормативно-справочные материалы по Северо-Западу Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, 2004. 360 с.
- Тимофеев А. И., Савицкая С. Н. Почвообразующие породы Лисинского учебно-опытного лесхоза и их влияние на почвообразование // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск, 2009. С. 139—146.
- Тимофеев А. И., Савицкая С. Н. Почвы Лисинского лесхоза. СПб.: изд-во Политехнического ун-та, 2011. 126 с.
- Тихова Г. П. Четырехпольная таблица частот — британская Оккама в мире статистики. Ч. 1. Как рассчитывать относительный риск и другие параметры из четырехпольной частотной таблицы // Региональная анестезия и лечение острой боли. 2012. Т. 6. Вып. 3. С. 69—75.
- Тетюхин С. В., Минаев В. Н. Данные лесоустройства как показатель пространственно-временных изменений природной среды // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: мат-лы Междунар. конф. Архангельск, 2002. С. 390—393.
- Тетюхин С. В., Шубина М. А., Павская М. В. Электронные карты как современный инструмент для анализа пространственно-временной динамики земель лесного фонда (на примере Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 17—27.
- Федорчук В. Н., Нешатаев В. Ю., Кузнецова М. Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России. Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 382 с.
- Шеин Е. В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // Почвоведение. 2009. № 3. С. 309—317.
- Чертов О. Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981. 192 с.
- Lukina N. V., Tikhonova E. V., Danilova M. A., Bakhmet O. N., Kryshen A. M., Tebenkova D. N., Kuznetsova A. I., Smirnov V. E., Braslavskaya T. Yu., Gornov A. V., Shashkov M. P., Knyazeva S. V., Kataev A. D., Isaeva L. G. and Zukert N. V. Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia // Forest Ecosystems. 2019. P. 1—19. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2>

The Analyses of Relationship Between Tree Species, Types of Forest Conditions and Granulometric Composition of Soil-Forming Deposits in the Lisinskoe Forestry of the Leningrad Region

V. Yu. Neshatayev^{1,*}, S. V. Tetyukhin¹

¹ St. Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, ILiP, SPbGLTU, Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 194021

* E-mail: vn1872@yandex.ru

An analysis of literature has shown that studies of the relationships between the predominant tree species and the granulometric composition of soils based on a statistical analysis of quantitative data are few, and the results obtained on limited data require verification on a more extensive experimental material. The purpose of this work was to reveal the relationship of the predominant tree species with sands and clays, based on massive forest inventory data and Quaternary soil-forming deposits mapping data. The objectives of the study included: 1) development of a geographic information system, including vector maps with electronic forest inventory information and a vector thematic map of surface Quaternary deposits; 2) statistical analysis of the relationship between the predominant species, types of forest conditions (TFC) and types of Quaternary deposits. It was found (chi-square test, Dice measure, relative risks) that the *Myrtillus* TFC occurred more often on sands than on loams. The *Oxalis* TFC, on the contrary, occurred more often on loam than on sand. The hypothesis has been confirmed that under the conditions of the green moss group of forest types (*Oxalis* and *Myrtillus* TFC), aspen preferred loamy soils, and birch preferred sandy ones. The widespread ideas about the connection of pine forests with sandy and spruce forests with loamy soils were not confirmed at the significance level of 0.05.

Keywords: GIS, map of Quaternary sediments, electronic data bases of forest management, prevailing tree species, pine, spruce, aspen, birch, *Oxalis*-type, *Myrtillus*-type, type of forest conditions, forest type, loam, sand

REFERENCES

- 200 let lesnomu uchebnomu i opytnomu delu v Lisinskom uchebno-opytnom leskhoze (200 years of the forest educational and experimental activities at Lisino Experimental Forest Station), Saint-Petersburg: izd-vo SPbLTA, 1997, 356 p.
- Agisheva D. K., Zotova S. A., Matveeva T. A., Svetlichnaya V. B., *Matematicheskaya statistika* (Mathematical Statistics), Volgograd: VolgGTU, 2010, 159 p.
- Aleksandrova V. D., Yurkovskaya T. K., *Geobotanicheskoe raionirovanie Nechernozem'ya evropeiskoi chasti RSFSR* (Geobotanical zoning of the non-black earth region of the European part of the RSFSR), Leningrad: Nauka, 1989, 64 p.
- Berezin L. V., Karpachevskii L. O., *Lesnoe pochvovedenie* (Forest soil science), Omsk: izd-vo OmGAU, 2009, 374 p.
- Blagovidov N. L., Burkov G. D., *Pochvy Lisinskogo uchebno-opytnogo leskhoza. Ob "yasnitel'naya zapiska k pochvennoi karte leskhoza* (Soils of the Lisinsky educational and experimental forestry station. Explanatory note to the soil map of the forestry enterprise), Leningrad: Kafedra pochvovedeniya LTA, 1957, 52 p.
- Chertov O. G., *Ekologiya lesnykh zemel' (pochvenno-ekologicheskoe issledovanie lesnykh mestoobitanii)* [Ecology of forest lands (soil-ecological study of forest habitats)], Leningrad: Nauka, 1981, 192 p.
- Fedorchuk V. N., Neshataev V. Y., Kuznetsova M. L., *Lesnye ekosistemy severo-zapadnykh raionov Rossii: tipologiya, dinamika, khozyaistvennye osobennosti* (Forest ecosystems of northwestern regions of Russia: Typology, dynamics, economy specifics), Saint Petersburg: SPbNIILKh, 2005, 382 p.
- Gordyagin A. Y., *Materialy dlya poznaniya pochv i rastitel'nosti Zapadnoi Sibiri* (Materials for understanding the soils and vegetation of Western Siberia), *Trudy Obschestva estestvoispytatelei pri Imperatorskom Kazanskom universitete*, 1900, vol. 34, issue 2, 222 p.
<https://molbiol.kirov.ru/utilites/multitool/> (January 06, 2022).
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Kravchinskii D., Lisinskaya kazennaya lesnaya dacha (Lisinskaya state forest dacha), *Lesnoi zhurnal*, 1912, no. 6—7, pp. 691—709.
- Kryudener A. A., *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdenii i ikh narodokhozyaistvennoe znachenie v obikhode strany* (Fundamentals of classification of forest types: the value for public economy in practice of the country), Petrograd: Tipografiya Glavnogo Upravleniya Udelov, 1916, 190 p.
- Lesokhozyaistvennyi reglament uchebno-opytnogo lesnichestva Leningradskoi oblasti*, (Forestry regulations of the educational and experimental forestry of the Leningrad region), Saint Petersburg: Filial FGUP "Roslesinforg" "Sevzaplesproekt", 2018, 258 p.
- Lukina N. V., Tikhonova E. V., Danilova M. A., Bakhmet O. N., Kryshen A. M., Tebenkova D. N., Kuznetsova A. I., Smirnov V. E., Braslavskaya T. Yu., Gornov A. V., Shashkov M. P., Knyazeva S. V., Kataev A. D., Isaeva L. G. and Zukert N. V., Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia, *Forest Ecosystems*, 2019, pp. 1—19.
<https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2>
- Markin V. E., Markina Z. N., Rost podpologovykh elovykh kul'tur v zavisimosti ot granulometricheskogo sostava pochv v uchebno-opytnom leskhoze BGITU (Growth of subcanopy spruce crops depending on the granulometric composition of soils in the educational and experimental forestry enterprise of BSITU), *Rol' uchebno-opytnykh leskhovov vuzov Rossii v podgotovke kadrov dlya lesnogo sektora*, Proc. of Scientific-Practical Conf., pp. 162—165.
- Morozov G. F., *Biologiya lesnykh porod. Uchenie o lesovodstvennykh svoistvakh drevesnykh porod* (Biology of forest species. The science of silvicultural properties of tree species), In: *Selected texts in two volumes*, Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1970, Vol. 1, pp. 115—198.
- Neshataev V. Y., *Dinamika zhivogo napochvennogo pokrova i estestvennogo vozobnovleniya drevesnykh porod na vyrubkakh chernichnoi gruppy tipov lesa v Leningradskoi oblasti* (Dynamics of living ground cover and natural regeneration of tree species in clearings of the blueberry group of forest types in the Leningrad region), *Sovremennye problemy lesnogo khozyaistva i lesoustroistva* (Modern issues of forestry and forest management), Saint Petersburg, Proc. of International Conf., Saint Petersburg: SPbGLTU, pp. 36—37
- Pogrebnyak P. S., *Osnovy lesnoi tipologii* (Basics of forest typology), Kiev: AN USSR, 1955, 456 p.
- Ponomareva V. V., *Teoriya podzoloobrazovatel'nogo protsesa. Biokhimicheskie aspekty* (Theory of the podzol formation process. Biochemical aspects), Moscow-Leningrad: Nauka, 1964, 379 p
- Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaistva Lisinskogo uchebno-opytnogo leskhoza Sankt-Peterburgskoi gosudarstvennoi lesotekhnicheskoi akademii im. S. M. Kirova* (Project for the organization and management of forestry of the Lisinsky educational and experimental forestry station of the St. Petersburg State Forestry Academy named after S. M. Kirov), Saint Petersburg, 2005, 126 p.
- Rode A. A., Smirnov V. N., *Pochvovedenie* (Soil science), Moscow: Vysshaya shkola, 1972, 480 p.
- Sannikov S. N., *Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovЕННОI* (Ecology and geography of Scots pine reforestation), Moscow: Nauka, 1992, 262 p.
- Savitskaya S. N., Timofeev A. I., *Pochvy na legkikh flyuvioglyatsial'nykh otlozheniyakh v Lisinskom leskhoze* (Soils on light fluvioglacial deposits in the Lisinsky forestry station), *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaistva*, 2010, no. 3(23), pp. 5—10.
- Shein E. V., *Granulometricheskii sostav pochv: problemy metodov issledovaniya, interpretatsii rezul'tatov i klassifikatsii* (Soil texture: problems of research methods,

interpretation of results and classifications), *Pochvovedenie*, 2009, no. 3, pp. 309—317.

Stavrova N. I., Gorshkov V. V., Bakkal I. Y., Kataeva M. N., Tipologicheskoe raznoobrazie sosnovykh lesov i ego svyaz' s granulometricheskim sostavom pochv v usloviyakh severnoi taigi (Typological diversity of pine forests and its relationship with the granulometric composition of soils in the northern taiga). In: *Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov* (Issues of conservation of biological diversity and use of biological resources), Minsk: Konfido, 2015, part 1, pp. 196—200.

Sukachev V. N., *Dendrologiya s osnovami lesnoi geobotaniki* (Dendrology with the basics of forest geobotany), Leningrad: Goslestekhizdat, 1934, 614 p.

Tetyukhin S. V., Minaev V. N., Bogomolova L. P., *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo. Normativno-spravochnye materialy po severo-zapadu RF* (Forest taxation and forest management. Regulatory and reference materials for the northwest of the Russian Federation), Saint Petersburg: LTA, 2004, 369 p.

Tetyukhin S. V., Minaev V. N., Dannye lesoustroistva kak pokazatel' prostranstvenno-vremennykh izmenenii prirodnoi sredy (Forest management data as an indicator of spatiotemporal changes in the natural environment), *Ekologiya severnykh territorii Rossii. Problemy, prognoz situatsii, puti razvitiya, resheniya* (Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, situation forecast, development paths, solutions), Arkhangelsk, Proc. of International Conf., Arkhangelsk, pp. 390—393.

Tetyukhin S. V., Shubina M. A., Pavskaya M. V., Elektronnye karty kak sovremennyy instrument dlya analiza

prostranstvenno-vremennoi dinamiki zemel' lesnogo fonda (na primere Lisinskoi chasti uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoi oblasti) (Electronic maps as a tool to analyze spatial-temporal dynamics of forest fund lands Lisinskaya part of the teaching-experimental forest in Leningrad region), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2018, Issue 225, pp. 17—27.

Tikhova G. P., Chetyrekhpol'naya tablitsa chastot — britva Okkama v mire statistiki. Ch. 1. Kak rasschityvat' otnositel'nyi risk i drugie parametry iz chetyrekhpol'noi chastotnoi tablitsy (Fourfold frequency table — Occam's Razor in the world of statistics. Part 1. Calculating relative risk and other parameters from fourfold frequency table), *Regional'naya anesteziya i lechenie ostroi boli*, 2012, Vol. 6, No. 3, pp. 69—75.

Timofeev A. I., Savitskaya S. N., Pochvoobrazuyushchie porody Lisinskogo uchebno-opytного leskhoza i ikh vliyaniye na pochvoobrazovanie (Soil-forming rocks of the Lisinsky educational and experimental forestry enterprise and their influence on soil formation), In: *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* (Current problems of the forestry complex), Bryansk, 2009, pp. 139—146.

Timofeev A. I., Savitskaya S. N., *Pochvy Lisinskogo leskhoza* (Soils of Lisinsky forestry station), Saint Petersburg: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta, 2011, 126 p.

Zemlyakov B. F., Geologicheskii ocherk Lisinskoi lesnoi dachi (Geological overview of Lisino forest estate), In: *Priroda i khozyaistvo uchebno-opytных lesnichestv Leningradskogo lesnogo instituta* (Environment and economy of forest entities of the Leningrad forest institute), Moscow: Novaya derevnya, 1928, pp. 241—270.