Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 96.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 96

*УДК 630*355:519.23+004.6*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ПОРОДЫ НА ПОЧВУ МЕТОДОМ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

© 2019 г. А. Н. Солодовников[1], В. А. Рожков[2*]

[1]*Институт леса КарНЦ РАН, Россия,*
185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, e-mail: solod@krc.karelia.ru

[2]*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,*
*119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2, * e-mail: rva39@mail.ru*

Поступила в редакцию 21.09.2018*, после доработки* 06.11.2018*,*
принята к публикации 12.03.2019

Комплексное изучение вопросов взаимоотношения леса и почвы требует подбора пробных площадей с максимально сходными почвенными характеристиками, но различными по типу биоценоза. В исследовании использовали материалы базы данных (БД) “Почвы Карелии”, где собраны многолетние данные о почвах республики Карелия. Цель анализа – выявление почвенных признаков, наиболее подверженных влиянию типа биоценоза. Для анализа были выбраны автоморфные сосновые, еловые и березовые биоценозы, совокупно составляющие 99 % лесных насаждений Карелии, произрастающие на песчаных альфегумусовых подзолистых почвах на песчаной или супесчаной морене, являющихся наиболее распространенными почвами в регионе исследования. Для анализа выбираны следующие горизонты: лесная подстилка (O), элювиальный (E) и иллювиальный (B). Использовались физико-химические показатели горизонтов почвы: pH (KCl), общее содержание C и N, содержание подвижных соединений P_2O_5 и K_2O, и валовые содержания SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5. Для определения признаков наиболее разделяющих типы биоценозов применялся дискриминантный анализ. Оценка вклада признаков в разделение всех групп велась по статистике Уилкса. В целом анализ показал, что содержание N и C наиболее четко отражает изменения, происходящие под влиянием леса, как в органической, так и в минеральной части почвы, что подтверждается многочисленными выводами как зарубежных, так и отечественных исследователей.

Ключевые слова: влияние типа леса на почву, база данных, статистические методы.

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-96-22-46

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос влияния леса на почву остается актуальным со времен В.В. Докучаева, поставившего биологический фактор в один ряд с остальными факторами почвообразования, и последующих работ академика В.Р. Вильямса. В СССР систематический подход к вопросу активизировался в 50–60-х годах прошлого века (Зонн, 1954; Ремезов, 1962; Шумаков, 1963; Зайцев, 1964) и даже вызвал оживленные дискуссии, отраженные в периодических изданиях (Ремезов, 1953; Зонн, 1954; Роде, 1954). Не меньшее внимание уделяли вопросу зарубежные ученые (Ovington, 1954; Kittredge, 1955; Bonnevie-Svendsen, Gjems, 1957). С момента постановки вопроса не вызывало сомнений то, что изучение данной темы невозможно без указания типа леса и, соответственно, в той или иной степени, сводится к особенности влияния конкретной древесной породы на свойства почв. Исследователи отмечают, что огромное разнообразие древесных пород и лесных почв тесно связано друг с другом: развитие различных видов древостоя зависит от свойств почвы, а свойства почв подвержены воздействию древесных культур. Понятия типа условий местообитания, а также леса и биогеоценоза (БГЦ) в литературе часто пересекаются, поэтому здесь условно приняты иерархические (родо-видовые) отношения между ними. Взаимоотношения леса и почвы остаются постоянной темой исследований не только в лесоведении и почвоведении. Теоретические и прикладные аспекты этих отношений весьма важны в экологии, лесомелиорации, земледелии и защите почв от эрозии и опустынивания. Изучается роль как обширных лесных массивов, полезащитных и придорожных полос, так и отдельных деревьев и даже ветровалов. Водоохранная роль леса определяет гидрологические условия землепользования и проживания людей. Водоохранные лесные полосы оптимизируют обстановку на нерестовых реках.

В целом вопрос влияния типа леса на почву можно условно разложить на несколько составляющих. Одним из основных компонентов влияния будет опад, специфичный для каждого древесного вида (Ремезов и др., 1959; Родин, Базилевич, 1965; Быковская, Евдокимова, 1976; Морозова, 1991). Другим составляющим влияния является изменение химических и физико-химических

свойств осадков, проходящих сквозь полог древесного вида или стекающих по его стволу (Мина, 1967; Карпачевский и др., 1998; Шильцова, Ласточкина, 2006; Пристова, Забоева, 2007; Арчегова, Кузнецова, 2011). Следующим будет взаимодействие корневой системы с почвой: потребление элементов питания, дыхание и разрыхляющее действие корней (Materechera et al., 1992; Angers, Caron, 1998). В качестве очередного компонента можно добавить изменение светового, термического и гидрологического режимов под воздействием крон и т.д. (Молчанов, 1973; Карпачевский, 1981; Youssef, Chino, 1984; Augusto L. et al., 2002). Помимо влияния непосредственно древостоя в процесс включаются растения напочвенного покрова, сопутствующие каждому древесному виду, которые дают свой вклад в опад, рыхление подстилки и влияют на гидротермический режим (Раменский, 1971; Légaré, S., et al., 1971; Helliwell, 1974). Почвенная микрофлора и фауна, виды и количество которых также зависят от типа древесной растительности и напрямую влияют на скорость разложения подстилки и, соответственно, на поступление органического вещества в минеральную часть почвы (Гаврилов, 1950; Перель, 1958; Petersen, Luxton, 1982; Cortez, 1998; Меняйло, 2007, 2009). Список путей взаимодействия леса и почвы может быть продолжен.

Некоторые исследования рассматривают данный вопрос с учетом мозаичности лесных сообществ, сужая объект исследования в определенном типе леса до элементарных почвенных ареалов с максимально гомогенными почвами (Фридланд, 1986) или ценобиотических микрогруппировок с однотипной растительностью (Раменский, 1971), а также до их сочетаний, называемых парцеллами и тессерами (Jenny, 1958; Дылис, 1969; Карпачевский, 1977; Лукина и др., 2010).

Несмотря на то, что воздействие леса на почву довольно легко обнаружить и оценить степень воздействия того или иного компонента, основная проблема состоит в трудности прогнозирования этого воздействия и его степени на какой-либо длительный период или на другой аналогичный участок леса. Эта трудность появляется в результате того, что каждая из перечисленных составляющих воздействия леса на почву каскадным образом взаимосвязана с остальными и представляет собой многофакторную

нелинейную функцию, сильно варьирующуюся как в пространстве, так и во времени. Тем не менее существует ряд успешных попыток смоделировать процессы взаимодействия леса и почвы (Smith P. et al., 1997; Чертов О.Г. и др., 2007).

Существует несколько подходов к комплексному изучению вопроса влияния древесной породы на почву. Одним из способов является закладка пробных площадей на однотипных соседних участках с посадкой разных древесных культур (Шугалей, 1979; Menyailo et al., 2002; Gurmesa et al., 2013). Этот подход в зарубежной литературе известен как *common garden experiments*. Главным достоинством такого подхода является возможность отделить влияние древостоя от других почвообразующих факторов. Чаще всего для посадки выбираются площадки, ранее бывшие под сельскохозяйственными культурами, но встречаются эксперименты по закладке опыта на полностью искусственном почвенном конструкте. Один из недостатков такого метода заключается в том, что искусственно созданные условия часто подразумевают влияние предыдущих агрокультурных мероприятий, которые также необходимо учитывать (Hagen-Thorn et al., 2004). Все изменения, наблюдаемые в таких условиях, будут проявляться острее, чем в естественных условиях, где рост и обмен питательными веществами происходит медленне. Другое важное ограничение – это малый размер популяции для глобальных выводов. Когда все повторности объединены одним местообитанием, статистически, это одиночное измерение. Полученные результаты влияния вида могут как присутствовать, так и отсутствовать в естественном местообитании (Binkley, Fisher, 2013).

Другим наиболее распространенным подходом к изучению влияния типа леса на почвы является подбор пробных площадей со сходными почвенными характеристиками, но различными по типу биоценоза (Разнообразие почв, 2006; Fröberg et al., 2011; Hansson et al., 2011). Очевидным достоинством этого подхода являются все преимущества изучения объектов исследования *in situ*. К основным минусам относятся неучтенные исходные различия в свойствах почв, их положение в рельефе, геоморфологические и климатические отличия и т.д., которые могут влиять на результат и затрудняют его интерпретацию (Binkley, 1998).

Частичным решением этих трудностей может служить тщательный подбор пробных площадей, максимально схожих по большому количеству признаков. Такой подбор возможен при наличии данных о свойствах почв и лесов, полученных в результате крупномасштабных экологических изысканий, например, ICP Forest (Lukina et al., 2013) или при сборе данных многолетних исследований в единые БД. Как в России, так и за рубежом в последние десятилетия насущной задачей становится создание почвенных БД различного масштаба – от международных до локальных, охватывающих один или несколько объектов исследования (Jamagne et al., 2004; Shi et al., 2004; Колесникова и др., 2010; Рожков и др., 2010; Новиков, 2017). Большой объем данных позволяет проводить статистическую обработку материалов исследований и оценить достоверность полученных результатов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В нашем исследовании использовались материалы БД “Почвы Карелии”, где были собраны многолетние данные исследований почв республики Карелия (Солодовников, 2011). Целью исследования стало выявление почвенных признаков, наиболее подверженных влиянию типа биоценоза. Выборка проводилась среди данных, полученных одинаковыми методами анализа (Аринушкина, 1961; Соколов, 1975), куда попали данные, полученные до 2007 г. Для анализа были выбраны автоморфные сосновые, еловые и березовые биоценозы, совокупно составляющие 99 % лесных насаждений Карелии, произрастающие на альфегумусовых почвах подзолистого типа песчаного гранулометрического состава на песчаной или супесчаной морене, являющиеся наиболее распространенными почвами в регионе исследования. Учитывая географическую протяженность республики, использовались материалы, относящиеся только к среднетаежной подзоне. Поскольку влияние типа леса наиболее сильно в верхней части профиля, для анализа выбирались следующие горизонты: лесная подстилка (O), элювиальный горизонт (E) и следующий за ним иллювиальный горизонт (B). Ввиду наличия подгоризонтов и пе-

реходных горизонтов, выбранных для анализа, проводилась стандартизация названий горизонтов по содержанию гумуса, выбранного в качестве критерия (Белоусова, Мешалкина, 2009).

В результирующей выборке из БД все признаки проверялись на соответствие нормальному распределению, как по всей выборке, так и для каждого типа БГЦ в отдельности. Вопрос о признании значений выбросами решался индивидуально для каждого значения. В большинстве случаев выбросы удалялись. Встречались значения, признанные опечатками, к которым в основном применялось понижение/повышение ранга. Если в строке значений оказывалось больше 2–3 выбросов, удалялась вся строка. Еще одна из основных проблем таких БД состоит в том, что большая доля записей в них не содержит полного набора показателей, что делает их статистическую обработку весьма проблематичной. В нашем исследовании мы отказались от обработки таких записей, относящихся к наиболее многочисленным сосновым БГЦ. В случае малочисленных записей, относящихся к еловым и березовым БГЦ, пропущенные значения заменялись на средние по БГЦ значения показателя (Little, Rubin, 2014). Несмотря на довольно большой исходный объем данных, полученная итоговая выборка для сосновых ($n = 11$), еловых ($n = 5$) и березовых ($n = 7$) БГЦ оказалась мала для прямых сравнений содержания признаков под различными древостоями ввиду большой дисперсии данных.

Для анализа полученного массива данных применялся дискриминантный анализ, призванный определить, какие признаки наиболее четко разделяют группы объектов. Для обработки данных использовался пакет Statistica (Халафян, 2007). Необходимыми условиями для проведения дискриминантного анализа являются следующие: не менее 2 групп объектов; как минимум 2 объекта в каждом классе; число параметров k должно соответствовать $k < (n – 2)$, где n – общее число объектов; параметры должны измеряться по интервальной шкале и быть нормально распределены в пределах каждой группы (Klecka, 1980). Однако при использовании данного вида анализа рекомендуется, по возможности,

иметь объем выборки, превышающий число параметров больше чем в 10 раз, а также количество объектов каждой группы должно превышать число параметров.

Группирующим фактором выступал тип БГЦ, а признаками – физико-химические показатели горизонтов почвы: pH (KCl), общее содержание C и N, содержание подвижных соединений P_2O_5 и K_2O, валовые содержания SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5. Справедливо предположить, что показатели, вносящие наибольший вклад в разделение типов БГЦ, есть показатели, наиболее подверженные влиянию преобладающей породы древостоя. Поскольку корни дискриминантной функции показывают вклад признаков в разделение лишь двух из трех групп, оценка вклада признаков в разделение всех групп велась по статистике Уилкса. Значение “Partial Lambda” (λ) характеризует единичный вклад признака в разделительную силу модели, и чем она меньше, тем больше вклад признака в общую дискриминацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом анализа данных, относящихся к лесной подстилке, стала диаграмма рассеяния в двух корнях дискриминантной функции (рис. 1), на которой четко видно разделение данных на группы по соответствию типам БГЦ.

Первая дискриминантная функция объясняет 93 % общей дисперсии. Квадраты расстояний Махаланобиса между центроидами сосновых/еловых, еловых/березовых и березовых/сосновых групп составляют соответственно 344 ($p = 0.003$), 41 ($p = 0.26$) и 352 ($p = 0.001$), где p – значимость различий. Несмотря на визуальное различие групп еловых и березовых БГЦ, слабая значимость, видимо, объясняется большой дисперсией показателей в еловых БГЦ при малой выборке данных. Согласно статистике Уилкса, наибольший вклад в разделение групп вносят C ($\lambda = 0.17$, $p = 0.013$), K_2O ($\lambda = 0.22$, $p = 0.022$), pH (KCl) ($\lambda = 0.29$, $p = 0.044$) N ($\lambda = 0.35$, $p = 0.071$).

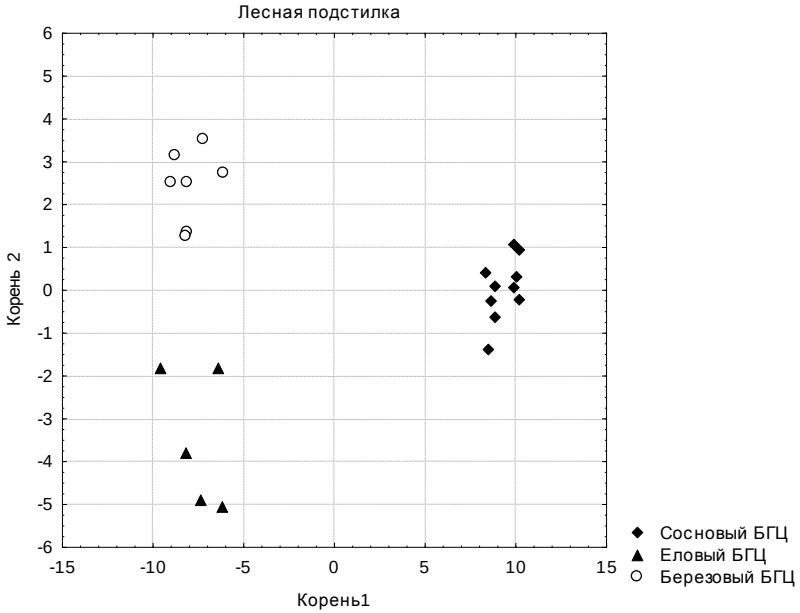

Рис. 1. Положение групп БГЦ в пространстве корней дискриминантной функции показателей лесной подстилки.

Одним из ключевых и наиболее чувствительных к типу леса показателей плодородия является азот. Некоторые зарубежны авторы (Binkley, 1995; Prescott, 2002) считают, что обогащение почвы азотом есть следствие симбиотической связи древесных видов с азотфиксирующими микроорганизмами. Исследования в Карелии (Федорец, Бахмет, 2003) показали, что с типом леса связано в основном содержание аммонийного азота как результат действия амонификаторов в лесной подстилке, тогда как общее содержание азота тесно связано с органическим веществом почв. Разгулин (Разгулин, 2008) в своей статье утверждает, что годовая продуктивность минерализации азота больше в широколиственных лесах, чем в хвойных. По данным модельного опыта в Сибири (Меняйло, 2009) можно заключить, что активность минерализации азота под березой больше, чем под сосной, которая, в свою очередь, превышала таковую под елью. В Швеции при исследовании почв под сосновыми, еловыми и березовыми лесами был сделан вывод, что

пулы азота, углерода и обменного калия в подстилках больше под еловыми лесами, чем под березовыми, тогда как сосновые леса занимают промежуточное положение (Hansson et al., 2011; Hansson et al., 2013). Эти отличия наиболее велики в подстилке и значительно меньше в минеральной части почвы. Авторы объясняют полученные результаты различиями в кислотности подстилки под разными древостоями и, как следствие, различиями в количестве микрофауны, влияющей на скорость разложения подстилки, с чем согласны исследователи из Польши (Błońska E. et al., 2016). Vesterdal L. (Vesterdal L. et al., 2007) считает, что распределение углерода между подстилкой и минеральной частью почвы более наглядно отражает влияние типа леса, чем общий запас углерода. В исследованиях в США Binkley, Sollins (Binkley, Sollins, 1990) утверждают, что различия в почвенном pH заметны лишь в водном растворе и незначительны в солевом. Помимо этого, Binkley, Fisher (Binkley, Fisher, 2013) утверждают, что кислотность почв под различными типами леса зависит в первую очередь от силы и степени диссоциации почвенных кислот, и два этих фактора, варьируя, могут снижать влияние типа леса на почвенную кислотность.

На диаграмме рассеяния данных, относящихся к горизонту E (рис. 2), также прослеживается разделение данных на группы по соответствию типам БГЦ.

Первая дискриминантная функция объясняет 64 % общей дисперсии. Квадраты расстояний Махаланобиса между центроидами сосновых/еловых, еловых/березовых и березовых/сосновых групп составили 124, 176 и 83. Значимость различий между группами составляет 0.068, 0.045 и 0.087 соответственно. Согласно статистике Уилкса, наибольший вклад в разделение групп вносят N ($\lambda = 0.36$, $p = 0.127$), Fe_2O_3 ($\lambda = 0.38$, $p = 0.146$), CaO ($\lambda = 0.39$, $p = 0.153$), Na_2O ($\lambda = 0.43$, $p = 0.188$).

Результат анализа горизонта B показан на диаграмме рассеяния (рис. 3). Первая дискриминантная функция объясняет 66 % общей дисперсии. Квадраты расстояний Махаланобиса между центроидами сосновых/еловых, еловых/березовых и березовых/сосновых групп составили 94, 82 и 49. Значимость различий между группами составляет 0.022, 0.059 и 0.066 соответственно.

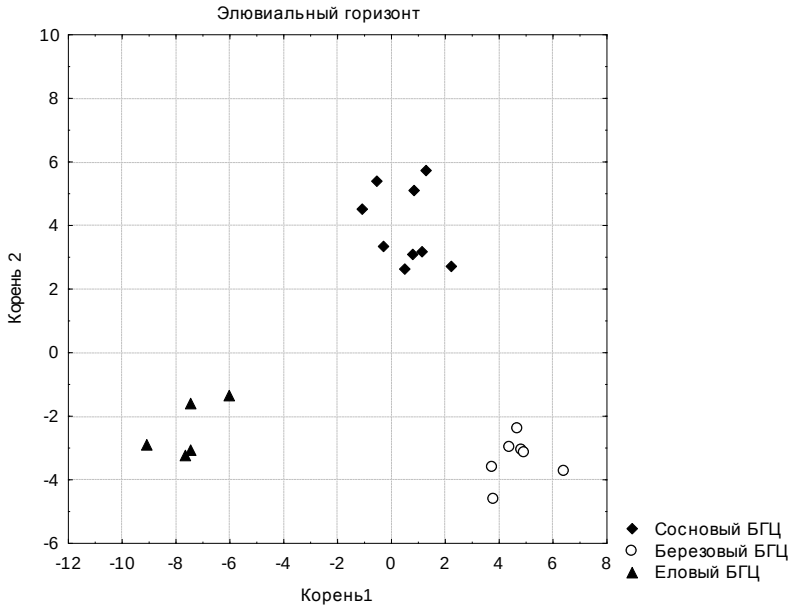

Рис. 2. Положение групп БГЦ в пространстве корней дискриминантной функции показателей элювиального горизонта.

Согласно статистике Уилкса, наибольший вклад в разделение групп вносят C (λ = 0.36, p = 0.046), MnO (λ = 0.38, p = 0.053), N (λ = 0.52, p = 0.145) и подвижные соединения K_2O (λ = 0.59, p = 0.204).

По результатам видно, что большинство выделенных признаков для минеральной части почвы имеют слабую значимость, за исключением C и MnO. Исследования в Швеции показали, что в минеральной части почвы содержатся значительно большие запасы обменного Na под елью, чем под березой, и промежуточные значения – под сосной. Значения обменного Ca также были больше под елью, но были незначимы. Обменного K_2O под березой было больше, чем под сосной и елью (Hansson et al., 2011). Запасы MnO и Fe_2O_3 в 70-сантиметровом слое были меньше под березой, чем под хвойными породами, что совпадает с выводами Bergkvist, Folkeson (Bergkvist, Folkeson, 1995).

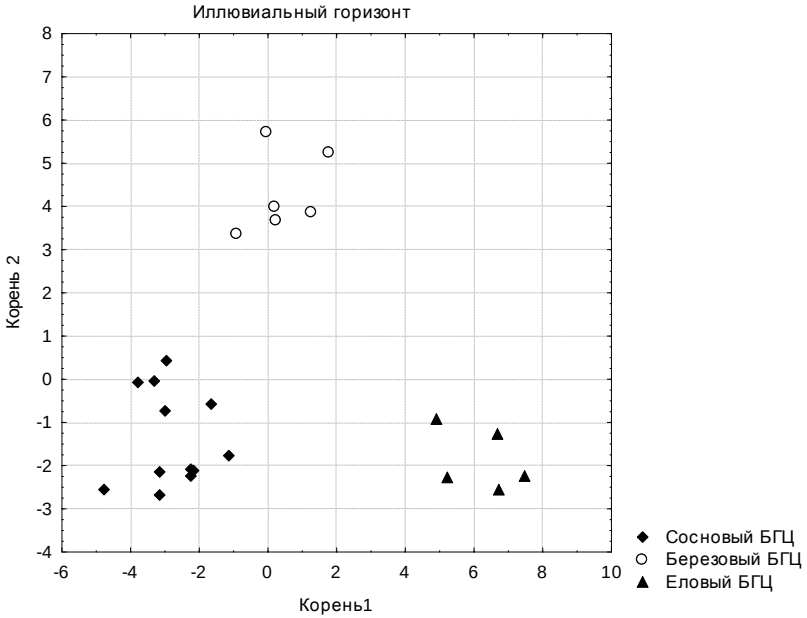

Рис. 3. Положение групп БГЦ в пространстве корней дискриминантной функции показателей иллювиального горизонта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом анализ показал, что большее влияние породы древостоя, как и ожидалось, приходится на лесную подстилку, чем на минеральные горизонты. В литературных данных довольно часто отмечается значительное различие содержания C, N, K2O и pH под различными типами биоценозов, причем содержание N и C наиболее отражает изменения, происходящие под влиянием леса, как в органической, так и минеральной части почвы, что косвенно подтверждается многочисленными выводами зарубежных и отечественных исследователей. Особенности содержания Na, Ca, Fe, Mn, по-видимому, обуславливаются специфическим составом опада пород древостоя, выбранных для анализа, и особенностями взаимодействия их ризосферы с почвой. Результаты вычислений не противоречат литературным данным, что говорит о возможно-

сти успешного применения дискриминантного анализа в данной области.

Для дальнейшего проведения подобных исследований требуется целенаправленное создание БД с большим количеством записей. Следует уделить тщательное внимание выбору параметров и их количеству в каждой записи, что определяется целью создания БД. Ввод каждой записи следует проводить с тщательной проверкой каждого параметра на возможность ошибки, поскольку увеличение БД увеличивает вероятность накопления ошибок. Безусловно, важнейшим условием для последующей работы с БД является равномерность ее наполнения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено в рамках государственного задания КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
2. *Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г.* Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов // Лесоведение. 2011. № 3. С. 34–43.
3. *Белоусова Н.И., Мешалкина Ю.Л.* Методические аспекты создания почвенно-атрибутивной базы данных // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2009. № 64. С. 23–33.
4. *Быковская Т.К., Евдокимова Т.И.* О характере растительного опада и влиянии его на процессы почвообразования в разных типах леса Звенигородской биостанции // Почвы и продуктивность растительных сообществ. М.: МГУ, 1976. С. 148–154.
5. *Гаврилов К.А.* Влияние составов лесонасаждений на микрофлору и фауну лесных почв // Почвоведение. 1950. № 3. С. 22–39.
6. *Дылис Н.В.* Структура лесного биогеоценоза // Комаровские чтения, XXI. М.: Наука, 1969. 55 с.
7. *Зайцев Б.Д.* Лес и почва. М.: Лесная промышленность, 1964. 162 с.
8. *Зонн С.В.* Влияние леса на почву. М.: Академия наук СССР, 1954. 160 с.
9. *Зонн С.В.* К вопросу о взаимодействии лесной растительности с почвами // Почвоведение. 1954. № 4. С. 51–60.

10. *Карпачевский Л. О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Моск. ун-т, 1977. 312 с.
11. *Карпачевский Л.О. и др.* Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков // Лесоведение. 1998. № 1. С. 50–60.
12. *Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесн. промышленность, 1981. 264 с.
13. *Колесникова В.М. и др.* Почвенная атрибутивная база данных России // Почвоведение. 2010. № 8. С. 899–908.
14. *Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г.* Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
15. *Меняйло О.В.* Влияние древесных пород на биомассу денитрофицирующих бактерий в серой лесной почве // Почвоведение. 2007. № 3. С. 331–337.
16. *Меняйло О.В.* Влияние древесных пород Сибири На скорость минерализации почвенного органического вещества // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1241–1247.
17. *Мина В.Н.* Влияние осадков, стекающих по стволам деревьев, на почву // Почвоведение. 1967. № 10. С. 44–52.
18. *Молчанов А.А.* Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 359 с.
19. *Морозова Р.М.* Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск: Госкомиздат КАССР, 1991. 99 с.
20. *Новиков С.Г.* Базы данных по содержанию тяжелых металлов в почвах городов республики Карелии // Бюллетень науки и практики. 2017. № 11. С. 215–220. DOI: 10.5281/zenodo.1048449
21. *Перель Т.С.* Зависимость численности и видового состава дождевых червей от породного состава лесонасаждений // Зоологический журнал. 1958. Т. 37. № 9. С. 1307–1315.
22. *Пристова Т.А., Забоева И.В.* Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого под хвойно-лиственными насаждениями (Республика Коми) // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1472–1481.
23. *Разгулин С.* Минерализация азота в почвах бореальных лесов // Лесоведение. 2008. № 4. С. 57–62.
24. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги / под ред. Н.Г. Федорец. М.: Наука, 2006. 287 с.
25. *Раменский Л.Г.* Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.

26. *Ремезов Н.П.* Динамика взаимодействия широколиственного леса с почвой // Проблемы почвоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 101–148.
27. *Ремезов Н.П.* О роли леса в почвообразовании // Почвоведение. 1953. № 12. С. 74–83.
28. *Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М.* Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: МГУ, 1959. 248 с.
29. *Роде А.А.* К вопросу о роли леса в почвообразовании // Почвоведение. 1954. № 5. С. 50–62.
30. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Ленинград: Наука, 1965. 253 с.
31. *Рожков В.А. и др.* Почвенно-географическая база данных России // Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–6.
32. *Соколов А.В.* Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
33. *Солодовников А.Н.* Особенности генезиса почв под мелколиственными лесами в среднетаежной подзоне Карелии // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. С. 45–67.
34. *Солодовников А.Н.* Разработка базы данных “Почвы Карелии” // Материалы международной конференции “Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности” (1–4 марта 2011 г). СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета, 2011. 304 с.
35. *Федорец Н.Г., Бахмет О.Н.* Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
36. *Фридланд В.М.* Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.
37. *Халафян А.А.* Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: ООО “Бином-пресс”, 2007. 512 с.
38. *Чертов О.Г. и др.* Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв. Имитационная модель ROMUL / под ред. Б.Ф. Апарин: СПбГУ, 2007. 96 с.
39. *Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г.* Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике “Кивач” // Труды КарНЦ РАН. 2006. № 10. С. 180–185.

40. *Шугалей Л.С.* Моделирование процессов влияния основных древесных пород на почву // Исследование и моделирование почвообразования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 79–153.
41. *Шумаков В.С.* Типы лесных культур и плодородие почв. М: Гослесбумиздат, 1963. 184 с.
42. *Angers D.A., Caron J.* Plant-induced Changes in Soil Structure: Processes and Feedbacks // Biogeochemistry. 1998. Vol. 42. No. 1. P. 55–72. DOI: 10.1023/A:1005944025343.
43. *Augusto L. et al.* Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility // Annals of Forest Science. 2002. Vol. 59. No. 3. P. 233–253. DOI: 10.1051/forest:2002020.
44. *Bergkvist B., Folkeson L.* The influence of tree species on acid deposition, proton budgets and element fluxes in south Swedish forest ecosystems // Ecological Bulletins. 1995. P. 90–99.
45. *Binkley D.* The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. Christchurch: Lincoln University Press, 1995. P. 1–33.
46. *Binkley D., Fisher R.F.* Ecology and Management of Forest Soils. John Wiley & Sons. 2013. 368 p.
47. *Binkley D., Giardina C.* Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions // Plant-induced soil changes: Processes and feedbacks / ed. Van Breemen N. Dordrecht: Springer Netherlands. 1998. P. 89–106. DOI: 10.1007/978-94-017-2691-7_5.
48. *Binkley D., Sollins P.* Acidification of soils in mixtures of conifers and red alder // Soil Sci. Soc. Am. J. 1990. Vol. 54. P. 1427–1433.
49. *Błońska E. et al.* Stand mixing effect on enzyme activity and other soil properties // Soil Science Annual. 2016. Vol. 67. No. 4. P. 173–178. DOI: 10.1515/ssa-2016-0021.
50. *Bonnevie-Svendsen C., Gjems O.* Amount and chemical composition of the litter from larch, beech, Norway spruce and Scots pine stands and its effect on the soil // Meddelelser fra det norske skogforsøksvesen. 1957. Vol. 14. P. 111–174.
51. *Cortez J.* Field decomposition of leaf litters: relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity // Soil Biology and Biochemistry. 1998. Vol. 30. No. 6. P. 783–793. DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00163-6.
52. *Fröberg M. et al.* Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 262. No. 9. P. 1742–1747. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.07.033.

53. *Gurmesa G.A. et al.* Soil carbon accumulation and nitrogen retention traits of four tree species grown in common gardens // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 309. P. 47–57. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.02.015.
54. *Hagen-Thorn A. et al.* The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land // Forest Ecology and Management. 2004. Vol. 195. No. 3. P. 373–384. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.036.
55. *Hansson K. et al.* Carbon and nitrogen pools and fluxes above and below ground in spruce, pine and birch stands in southern Sweden // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 309. P. 28–35. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.029.
56. *Hansson K. et al.* Differences in soil properties in adjacent stands of Scots pine, Norway spruce and silver birch in SW Sweden // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 262. No. 3. P. 522–530. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.04.021.
57. *Helliwell D.R.* Floristic diversity in some central Swedish forests // Forestry: An International Journal of Forest Research. 1978. Vol. 51. No. 2. P. 151–161. DOI: 10.1093/forestry/51.2.151.
58. *Jamagne M. et al.* Creation and use of a European soil geographic database // 15th World Congress of Soil Science. Transactions. 1994. Vol. 6. P. 728–742.
59. *Jenny H.* Role of the Plant Factor in the Pedogenic Functions // Ecology. 1958. Vol. 39. No. 1. P. 5–16. DOI: 10.2307/1929960.
60. *Kittredge J.* Some characteristics of forest floors from a variety of forest types in California // Journal of Forestry. 1955. Vol. 53. No. 9. P. 645–647. DOI: 10.1093/jof/53.9.645.
61. *Klecka W.R.* Discriminant analysis. Beverly Hills, California: Sage Publications, 1980. Vol. 19. 71 p.
62. *Légaré S. et al.* Comparison of the understory vegetation in boreal forest types of southwest Quebec // Canadian Journal of Botany. 2001. Vol. 79. No. 9. P. 1019–1027. DOI: 10.1139/cjb-79-9-1019.
63. *Little R.J.A., Rubin D.B.* Statistical Analysis with Missing Data. New York: John Wiley & Sons. 2014. 408 p.
64. *Lukina N.V. et al.* Assessment of sustainable forest management criteria using indicators of the international programme ICP forests // Contemporary Problems of Ecology. 2013. Vol. 6. No. 7. P. 734–745. DOI: 10.1134/S1995425513070081.
65. *Materechera S.A., Dexter A.R., Alston A.M.* Formation of aggregates by plant roots in homogenised soils // Plant and Soil. 1992. Vol. 142. No. 1. P. 69–79. DOI: 10.1007/BF00010176.

66. *Menyailo O.V., Zech W., Hungate B.A.* Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experiment: tree species and soil chemistry // Plant and Soil. 2002. Vol. 242. No. 2. P. 171–182. DOI: 10.1023/A:1016290802518.
67. *Ovington J.* Studies of the development of woodland conditions under different trees: the forest floor // The Journal of Ecology. 1954. P. 71–80, DOI: 10.2307/2256979.
68. *Petersen H., Luxton M.* A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations and Their Role in Decomposition Processes // Oikos. 1982. Vol. 39. No. 3. P. 288–388. DOI: 10.2307/3544689.
69. *Prescott C.E.* The influence of the forest canopy on nutrient cycling // Tree physiology. 2002. Vol. 22. No. 15–16. P. 1193–1200. DOI: 10.1093/treephys/22.15-16.1193.
70. *Shi X.Z. et al.* Soil Database of 1 : 1 000 000 Digital Soil Survey and Reference System of the Chinese Genetic Soil Classification System // Soil Horizons. 2004. Vol. 45. No. 4.
71. *Smith P. et al.* A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments // Geoderma. 1997. Vol. 81. No. 1. P. 153–225. DOI: 10.1016/S0016-7061(97)00087-6.
72. *Van Miegroet H., Cole D.* The Impact of Nitrification on Soil Acidification and Cation Leaching in a Red Alder Ecosystem // Journal of Environmental Quality. 1984. Vol. 13. No. 4. P. 586–590. DOI: 10.2134/jeq1984.00472425001300040015x.
73. *Vesterdal L. et al.* Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 255. No. 1. P. 35–48. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.08.015.
74. *Youssef R.A., Chino M.* Studies on the behavior of nutrients in the rhizosphere I: Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere // Journal of Plant Nutrition. 1987. Vol. 10. No. 9–16. P. 1185–1195. DOI: 10.1080/01904168709363646.

STUDY OF THE TREE SPECIES EFFECT ON THE SOIL BY MEANS OF DISCRIMINANT ANALYSIS

A. N. Solodovnikov[1], V. A. Rozhkov[2*]

[1]Forest Research Institute KarRC RAS,
Russia, 186910, Petrozavodsk, Pushkinskaya str., 11
e-mail: solod@krc.karelia.ru

[2]V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2

*e-mail: rva39@mail.ru

Received 21.09.2018, *Revised* 06.11.2018, *Accepted* 12.03.2019

A multi-sided study of the interactions between forest and soil requires choosing sample plots in such a way when their soil characteristics are as similar as possible but the types of biocoenoses are different. This study employed materials from the database "Soils of Karelia", which has pooled together long-term data on soils of the Republic of Karelia. The aim of the analysis was to identify the soil traits that are the most sensitive to the type of biocoenosis. The biocoenoses chosen for the analysis were automorphic pine, spruce and birch communities, collectively accounting for 99 % of forest stands in Karelia, growing on podzolic-type Al-Fe-humus soils with sandy texture over sandy or loamy-sand till, which represent the most widespread type of soils in the study area. The analysis was performed for the following soil horizons: forest floor (O), eluvial (E) and illuvial (B). In order to characterize the soil horizons the physico-chemical parameters were used: pH (KCl), total C and N content, labile P_2O_5 and K_2O compounds content, and gross content of SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5. Discriminant analysis was employed to determine the traits contributing the most to the differentiation of biocoenosis types. The contribution of the traits to differentiation between groups was measured by Wilks' lambda. Overall, the analysis has shown that N and C content the most significantly reflect the changes happening under the effect of the forest, both in the organic and in the mineral parts of the soil, as corroborated by the findings of numerous Russian and foreign researchers.

Keywords: forest type effect on soil, database, statistical methods.

REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* (A manual on chemical analysis of soils), Moscow: Moscow State University, 1961, 491 p.
2. Archegova I.B., Kuznetsova E.G., Vliyaniye drevesnykh rasteniy na khimicheskiy sostav atmosfernykh osadkov v protsesse vosstanovleniya sredne-tayezhnykh lesov (The effect of woody plants on the chemical composition of atmospheric precipitation during the restoration of middletaiga forests), *Lesovedenie*, 2011, No. 3, pp. 34–43.
3. Belousova N.I., Metodicheskiye aspekty sozdaniya pochvennoatributivnoy bazy dannykh (Methodological aspects of creating a soil attributes database), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, No. 64, pp. 23–33.
4. Bykovskaya T.K., Evdokimova T.I., O kharaktere rastitelnogo opada i vliyanii ego na protsessy pochvoobrazovaniya v raznykh tipakh lesa

Zvenigorodskoy biostantsii (On the characteristics of plant litter and its effect on soil formation processes in various types of forest at the Zvenigorod biological research station), In: *Pochvy i produktivnost' rastitel'nykh soobshchestv* (Soils and the productivity of plant communities), Moscow: Moscow State University, 1976. pp. 148–154.

5. Gavrilov K.A., Vliyaniye sostavov lesonasazhdeniy na mikrofloru i faunu lesnykh pochv (The effect of forest stand composition on the microflora and fauna of forest soils), *Pochvovedenie*, 1950, No. 3, pp. 22–39.

6. Dylis N.V., Struktura lesnogo biogeotsenoza (Forest biogeocoenosis structure), *Komarovskie chteniya, XXI*, Moscow: Nauka, 1969, 55 p.

7. Zaitsev B.D., *Les i pochva* (Forest and soil), Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1964, 162 p.

8. Zonn S.V., *Vliyaniye lesa na pochvu* (Forest effect on soil), Moscow: Akademiya nauk SSSR, 1954, 160 p.

9. Zonn S.V., K voprosu o vzaimodeystvii lesnoy rastitelnosti s pochvami (On the interactions of forest vegetation with soils), *Pochvovedenie*, 1954, No. 4, pp. 51–60.

10. Karpachevskiy L.O., *Pestrota pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenoze* (Variation of the soil cover in a forest biogeocoenosis), Moscow: Moscow State University, 1977, 312 p.

11. Karpachevskii L.O. et al., Vozdeystviye pologa elnika slozhnogo na khimicheskiy sostav osadkov (The effect of the canopy of a composite spruce stand on the chemical composition of precipitation), *Lesovedenie*, 1998, No. 1, pp. 50–60.

12. Karpachevskii L.O., *Les i lesnyye pochvy* (Forest and forest soils), Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1981, 264 p.

13. Kolesnikova V.M. et al., Pochvennaya atributivnaya baza dannykh Rossii (Soil attribute database of Russia), *Eurasian Soil Science*, 2010, Vol. 43, No. 8, pp. 839–847.

14. Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G., Plodorodiye lesnykh pochv kak osnova vzaimosvyazi pochva-rastitelnost (The fertility of forest soils as the basis for the soil-vegetation interrelations), *Lesovedenie*, 2010, No. 5, pp. 45–56.

15. Menyailo O.V., Vliyaniye drevesnykh porod na biomassu denitrofitsiruyushchikh bakteriy v seroy lesnoy pochve (The effect of woody species on the biomass of denitrifying bacteria in grey forest soil), *Pochvovedenie*, 2007, No. 3, pp. 331–337.

16. Menyailo O.V., Vliyaniye drevesnykh porod Sibiri na skorost' mineralizatsii pochvennogo organicheskogo veshchestva (The effect of woody species in Siberia on the soil organic matter mineralization rate), *Pochvovedenie*, 2009, No. 10, pp. 1241–1247.

17. Mina V.N., Vliyaniye osadkov, stekayushchikh po stvolam derevyev, na pochvu (The effect of stemflow on the soil), *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 44–52.
18. Molchanov A.A., *Vliyaniye lesa na okruzhayushchuyu sredu* (Forest effect on the environment), Moscow: Nauka, 1973, 359 p.
19. Morozova R.M., *Mineralnyy sostav rasteniy lesov Karelii* (The mineral composition of forest plants in Karelia), Petrozavodsk: Goskomizdat KASSR, 1991, 99 p.
20. Novikov S.G., Bazy dannykh po soderzhaniyu tyazhelykh metallov v pochvakh gorodov respubliki Karelii (Databases on the content of heavy metals in urban soils of Karelia), *Byulleten nauki i praktiki*, 2017, No. 11, pp. 215–220, DOI: 10.5281/zenodo.1048449.
21. Perel T.S., Zavisimost chislennosti i vidovogo sostava dozhdevykh chervey ot porodnogo sostava lesonasazhdeniy (The dependence of earthworm abundance and species composition on the tree species composition of forest stands), *Zoologicheskii zhurnal*, 1958, Vol. 37, No. 9, pp. 1307–1315.
22. Pristova T.A., Zaboeva I.V., Khimicheskiy sostav atmosfernykh osadkov i lizimetricheskikh vod podzola illyuvialno-zhelezistogo pod khvoyno-listvennymi nasazhdeniyami (Respublika Komi) (The chemical composition of precipitation and percolate in a Ferric Podzol under coniferous-deciduous stands (Komi Republic)), *Pochvovedenie*, 2007, No. 12, pp. 1472–1481.
23. Razgulin C., Mineralizatsiya azota v pochvakh borealnykh lesov (Nitrogen mineralization in soils of boreal forests), *Lesovedenie*, 2008, No. 4. p. 57–62.
24. *Raznoobraziye pochv i bioraznoobraziye v lesnykh ekosistemakh sredney taygi* (The diversity of soils and biodiversity in Middle-taiga forest ecosystems), Moscow: Nauka, 2006, 287 p.
25. Ramenskii L.G., *Problemy i metody izucheniya rastitelnogo pokrova* (Problems and methods of plant cover studies), Leningrad: Nauka, 1971, 334 p.
26. Remezov N.P., Dinamika vzaimodeystviya shirokolistvennogo lesa s pochvoy (The dynamics of interactions between deciduous forest and soil), *Problemy pochvovedeniya*, Moscow: AN SSSR, 1962, pp. 101–148.
27. Remezov N.P., O roli lesa v pochvoobrazovanii (On the role of forest in soil formation), *Pochvovedenie*, 1953, No. 12, pp. 74–83.
28. Remezov N.P., Bykova L.N., Smirnova K.M., *Potrebleniye i krugovorot azota i zolnykh elementov v lesakh evropeyskoy chasti SSSR* (Uptake and cycle of nitrogen and ash elements in forests of European USSR), Moscow: Moscow State University, 1959, 248 p.
29. Rode A.A., K voprosu o roli lesa v pochvoobrazovanii (About the role of forest in soil formation), *Pochvovedenie*, 1954, No. 5, pp. 50–62.

30. Rodin L.E., Bazilevich N.I., *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskiy krugovorot v osnovnykh tipakh rastitelnosti* (Organic Matter Dynamics and the Biological Cycle in Key Vegetation Types), Moscow, Leningrad: Nauka, 1965, 253 p.
31. Rozhkov V.A. et al., Pochvenno-geograficheskaya baza dannykh Rossii (Soil-geographical database of Russia), *Eurasian Soil Science*, 2010, Vol. 43, No. 1, pp. 1–4.
32. Sokolov A.V., *Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv* (The agrochemical methods of soil studies), Moscow: Nauka, 1975, 656 p.
33. Solodovnikov A.N., Osobennosti genezisa pochv pod melkolistvennymi lesami v srednetayezhnoy podzone Karelii (The characteristics of soil genesis under small-leaved forests in the middle-taiga subzone of Karelia), In: *Ekologo-geokhimicheskiye i biologicheskiye zakonomernosti pochvoobrazovaniya v tayezhnykh lesnykh ekosistemakh* (Ecological-geochemical and biological patterns of soil formation in boreal forest ecosystems), Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2009, pp. 45–67.
34. Solodovnikov A.N., Razrabotka bazy dannykh “Pochvy Karelii” (Development of the database “Soils of Karelia”), *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii “Resursnyy potentsial pochv – osnova prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti”* (Proc. Inter. Conf. “The resource potential of soils – a cornerstone of food and ecological security”), Saint Petersburg: Izdatel'skiy dom S.-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011, 304 p.
35. Fedorets N.G., Bakhmet O.N., *Ekologicheskiye osobennosti transformatsii soyedineniy ugleroda i azota v lesnykh pochvakh* (The ecological characteristics of carbon and nitrogen compounds transformation in forest soils), Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2003, 240 p.
36. Fridland V.M., *Problemy geografii genezisa i klassifikatsii pochv* (Problems of soil geography, genesis and classification), Moscow: Nauka, 1986, 243p.
37. Khalafyan A.A., *Statisticheskiy analiz dannykh* (Statistica 6. Statistical Data Analysis), Moscow: OOO“Binom-press”, 2007, 512 p.
38. Chertov O.G. et al., *Dinamicheskoye modelirovaniye protsessov transformatsii organicheskogo veshchestva pochv. Imitatsionnaya model ROMUL* (Dynamic modeling of the processes of organic matter transformation in soils. ROMUL simulation model), Saint Petersburg: Izdatel'skiy dom S.-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007, 96 p.
39. Shiltsova G.V., Lastochkina V.G., Vliyaniye pologa sosnovogo i berezovogo lesa na khimicheskiy sostav osadkov v zapovednike “Kivach” (The effect of pine and birch forest canopy on the chemical composition of

precipitation in the Kivach strict nature reserve), *Trudy KarNTS RAN*, 2006, No. 10, p. 180–185.
40. Shugalei L.S., Modelirovaniye protsessov vliyaniya osnovnykh drevesnykh porod na pochvu (Modeling of the processes of major woody species effect on the soil), In: *Studies and modeling of soil formation in forest biogeocoenoses*, Novosibirsk: Nauka, 1979, pp. 79–153.
41. Shumakov V.S., *Tipy lesnykh kultur i plodorodiye pochv* (Types of managed forests and soil fertility), Moscow: Goslesbumizdat, 1963, 184 p.
42. Angers D.A., Caron J., Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks, *Biogeochemistry*, 1998, Vol. 42, No. 1, pp. 55–72, DOI: 10.1023/A:1005944025343.
43. Augusto L. et al., Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, *Annals of Forest Science*, 2002, Vol. 59, No. 3, pp. 233–253, DOI: 10.1051/forest:2002020.
44. Bergkvist B., Folkeson L., The influence of tree species on acid deposition, proton budgets and element fluxes in south Swedish forest ecosystems, *Ecological Bulletins*, 1995, pp. 90–99.
45. Binkley D., The influence of tree species on forest soils: processes and patterns, *Proceeding of the trees and soil workshop*, Lincoln University, Christchurch, New Zealand (28 February – 2 March, 1994), 1995, pp. 1–33.
46. Binkley D., Fisher R.F., *Ecology and management of forest soils*, John Wiley & Sons Publ., 2013, 368 p.
47. Binkley D., Giardina C., Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions, *Plant-induced soil changes: Processes and feedbacks*, Dordrecht: Springer Netherlands, 1998, pp. 89–106, DOI: 10.1007/978-94-017-2691-7_5.
48. Binkley D., Sollins P., Acidification of soils in mixtures of conifers and red alder, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, Vol. 54, pp. 1427–1433.
49. Błońska E. et al., Stand mixing effect on enzyme activity and other soil properties, *Soil Science Annual*, 2016, Vol. 67, No. 4, pp. 173–178, DOI: 10.1515/ssa-2016-0021.
50. Bonnevie-Svendsen C., Gjems O., Amount and chemical composition of the litter from larch, beech, Norway spruce and Scots pine stands and its effect on the soil, *Meddelelser fra det norske skogforsøksvesen*, 1957, Vol. 14, pp. 111–174.
51. Cortez J., Field decomposition of leaf litters: relationships between decomposition rates and soil moisture, soil temperature and earthworm activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, Vol. 30, No. 6, pp. 783–793, DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00163-6.

52. Fröberg M. et al., Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden, *Forest Ecology and Management*, 2011, Vol. 262, No. 9, pp. 1742–1747, DOI: 10.1016/j.foreco.2011.07.033.
53. Gurmesa G.A. et al., Soil carbon accumulation and nitrogen retention traits of four tree species grown in common gardens, *Forest Ecology and Management*, 2013, Vol. 309, pp. 47–57, DOI: 10.1016/j.foreco.2013.02.015.
54. Hagen-Thorn A. et al., The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land, *Forest Ecology and Management*, 2004, Vol. 195, No. 3, pp. 373–384, DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.036.
55. Hansson K. et al., Carbon and nitrogen pools and fluxes above and below ground in spruce, pine and birch stands in southern Sweden, *Forest Ecology and Management*, 2013, Vol. 309, pp. 28–35, DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.029.
56. Hansson K. et al., Differences in soil properties in adjacent stands of Scots pine, Norway spruce and silver birch in SW Sweden, *Forest Ecology and Management*, 2011, Vol. 262, No. 3, pp. 522–530, DOI: 10.1016/j.foreco.2011.04.021.
57. Helliwell D.R., Floristic diversity in some central Swedish forests, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 1978, Vol. 51, No. 2, pp. 151–161, DOI: 10.1093/forestry/51.2.151.
58. Jamagne M. et al., Creation and use of a European soil geographic database, *15th World Congress of Soil Science*, *Transactions*, 1994, Vol. 6, pp. 728–742.
59. Jenny H., Role of the plant factor in the pedogenic functions, *Ecology*, 1958, Vol. 39, No. 1, pp. 5–16, DOI: 10.2307/1929960.
60. Kittredge J., Some characteristics of forest floors from a variety of forest types in California, *Journal of Forestry*, 1955, Vol. 53, No. 9, pp. 645–647, DOI: 10.1093/jof/53.9.645.
61. Klecka W.R., *Discriminant analysis*, Beverly Hills, California: Sage Publ., 1980, Vol. 19, 71 p.
62. Légaré S. et al., Comparison of the understory vegetation in boreal forest types of southwest Quebec, Canadian Journal of Botany, 2001, Vol. 79, No. 9, pp. 1019–1027, DOI: 10.1139/cjb-79-9-1019.
63. Little R.J.A., Rubin D.B., *Statistical Analysis with Missing Data*, New York: John Wiley & Sons, 2014, 408 p.
64. Lukina N.V. et al., Assessment of sustainable forest management criteria using indicators of the international programme ICP forests, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 7, pp. 734–745, DOI: 10.1134/S1995425513070081.

65. Materechera S.A., Dexter A.R., Alston A.M., Formation of aggregates by plant roots in homogenised soils, *Plant and Soil*, 1992, Vol. 142, No. 1, pp. 69–79, DOI: 10.1007/BF00010176.
66. Menyailo O.V., Zech W., Hungate B.A., Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experiment: tree species and soil chemistry, *Plant and Soil*, 2002, Vol. 242, No. 2, pp. 171–182, DOI: 10.1023/A:1016290802518.
67. Ovington J., Studies of the development of woodland conditions under different trees: the forest floor, *The Journal of Ecology*, 1954, pp. 71–80, DOI: 10.2307/2256979.
68. Petersen H., Luxton M., A Comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes, *Oikos*, 1982, Vol. 39, No. 3, pp. 288–388, DOI: 10.2307/3544689.
69. Prescott C.E, The influence of the forest canopy on nutrient cycling, *Tree physiology*, 2002, Vol. 22, No. 15–16. pp. 1193–1200, DOI: 10.1093/treephys/22.15-16.1193.
70. Shi X.Z. et al., Soil Database of 1 : 1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system, *Soil Horizons*, 2004, Vol. 45, No. 4, pp.129–136.
71. Smith P. et al., A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments, *Geoderma*, 1997, Vol. 81, No. 1, pp. 153–225, DOI: 10.1016/S0016-7061(97)00087-6.
72. Van Miegroet H., Cole D., The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in a Red Alder ecosystem, *Journal of Environmental Quality*, 1984, Vol. 13, No. 4, pp. 586–590, DOI: 10.2134/jeq1984.00472425001300040015x.
73. Vesterdal L. et al., Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species, *Forest Ecology and Management*, 2007, Vol. 255, No. 1, pp. 35–48, DOI: 10.1016/j.foreco.2007.08.015.
74. Youssef R.A., Chino M., Studies on the behavior of nutrients in the rhizosphere I: Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere, *Journal of Plant Nutrition*, 1987, Vol. 10, No. 9–16, pp. 1185–1195, DOI: 10.1080/01904168709363646.

Ссылки для цитирования:
Солодовников А.Н., Рожков В.А. Исследование влияния древесной поброды на почву методом дискриминантного анализа // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 96. С. 22-46. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-96-22-46

For citation:

Solodovnikov A.N., Rozhkov V.A. Study of the tree species effect on the soil by means of discriminant analysis, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 96, pp. 22-46, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-96-22-46