

АНАЛИЗ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОДМОСКОВЬЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.Н. Максимова¹, В.Н. Карминов^{1,2,3},
О.В. Мартыненко³, П.В. Онтиков⁴

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук», 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14

³ФАУ ДПО «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», 141200, Московская область, Пушкино, ул. Институтская, д. 20

⁴ФГБУ «Центральный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Рослесинфорг», 141280, Московская обл., г. Ивантеевка, ул. Заводская, д. 10

maximova@mgul.ac.ru

Представлены результаты обработки и анализа пространственной и временной информации о почвах и насаждениях, полученные на основе геоинформационных технологий. Установлена приуроченность наиболее продуктивных насаждений к дерново-подзолистым автоморфным почвам. Зафиксировано заметное снижение продуктивности при появлении признаков гидроморфизма у основных хвойных лесообразующих пород — ели европейской и сосны обыкновенной. Определено формирование низкопродуктивных насаждений преимущественно на болотно-подзолистых почвах. Ретроспективный анализ выявил существенное улучшение продуктивности и породного состава насаждений на рубеже 1970-х–1980-х гг. Выполненная оценка текущей ситуации показывает, что имеется определенный резерв для повышения продуктивности насаждений при более эффективном использовании естественного плодородия лесных почв. **Ключевые слова:** геоинформационные системы, бонитировка почв, анализ почвенных ресурсов, пространственный анализ, лесоустойчивые материалы

Ссылка для цитирования: Максимова А.Н., Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В. Анализ почвенных ресурсов лесов Северо-Восточного Подмосковья на основе геоинформационных технологий // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 39–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-39-50

Концепция ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе требует учета почвенных и лесоводственных данных на всех этапах управления лесными ресурсами. Большой спектр различных инструментов при анализе почвенных и лесных ресурсов предоставляют геоинформационные системы (ГИС).

В настоящее время осуществляется активное внедрение ГИС в лесное хозяйство при систематическом обновлении базы лесного фонда и лесных ресурсов, ведении лесного реестра, организации мониторинга, контроле за лесозахватом, что позволяет обеспечить объективность данных, вести их обработку и хранение, открыть широкие возможности для периодического обновления накопленных сведений и непрерывного осуществления мониторинга [1].

Кроме того, возможности геоинформационных технологий позволяют осуществлять анализ пространственно распределенной информации с учетом временных изменений.

Применение геоинформационных технологий получило широкое распространение с начала XX в. параллельно с общей информатизацией науки и производства. Начиная с 1960-х гг. во многих странах Европы проводились работы по созданию компьютерных систем, содержащих информацию

о географии почв. Первая крупнейшая ГИС была создана в Канаде и до сих пор развивается и поддерживается. Подобные ГИС были разработаны также в Бельгии, Италии, Испании, Ирландии, Франции, Германии и других странах [2–4].

В России развитие геоинформационных технологий в лесном секторе осуществлялось параллельно с научными исследованиями ВО «Леспроект» в начале 1970-х гг., в результате которых была создана технология оформления лесных карт, в дальнейшем ставшая основой информационных систем с базой данных.

В настоящее время геоинформационные технологии широко используются во всем мире [5, 6]. В частности, под руководством Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) создаются и развиваются базы данных и ГИС в сфере сельского хозяйства и почвоведения.

В создании и разработке геоинформационных технологий участвуют не только международные организации, но и правительственные учреждения, министерства и ведомства, картографические, геологические и земельные службы, статистические управления, частные фирмы, научно-исследовательские институты и университеты. Под эгидой Европейского почвенного бюро осуществляется объединение почвенных

ГИС европейских стран в единую унифицированную почвенно-географическую базу данных (ПГБД) Европы, а также выполняются работы по созданию компьютерного атласа почв Европы, начатые в 2003 г.

В России работы над проектом ПГБД начались в 2005 г. и в настоящее время они активно продолжаются. Подготовлен и опубликован Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, включающий в себя описание почв, почвенных ресурсов субъектов РФ, почвенно-экологическое районирование и цифровую модель описания почвенных данных [7].

Все подобные проекты ориентированы прежде всего на генерализацию почвенной информации, поскольку крупномасштабные и детальные почвенные карты создавались исключительно для отдельных объектов преимущественно сельскохозяйственного назначения [8–12]. Для объектов лесного хозяйства полноценные почвенно-картографические изыскания составляют, скорее, исключение, нежели правило [13, 14]. При этом по сравнению с серединой XX в. объем производственной информации по лесным насаждениям значительно расширен [15].

Динамика лесов европейской части России и, в частности, Северо-Восточного Подмосквья неоднократно становилась предметом изучения исследователей [16–18]. Особенную значимость решение этих вопросов приобрело в свете глобальных климатических изменений [19].

Таким образом, совместный анализ (в том числе и ретроспективный) почвенных и лесоводственных данных представляет большой научный и практический интерес, поскольку позволяет оценить эффективность лесопользования во времени и соотнести данные о почвах с факторами почвообразования [14].

Ретроспективный анализ актуальных пространственных данных и их сравнение с архивными материалами дает возможность проводить мониторинг и диагностику изменений, происходящих на исследуемых территориях [8].

Ретроспективный анализ — это математическая обработка и анализ картографической информации (карты, планы, космоснимки и др.), полученной за определенные периоды времени. По изучаемым временным рядам можно выявить динамику, вид, уровень и скорость протекания различных природных и антропогенных процессов. Например, можно отслеживать процессы изменения насаждений и почв, зарастания заброшенных пашен, заболачивания лугов и др.

Концептуальной основой представления и обработки пространственно-временных геоинформационных данных являются пространственно-временные модели (ПВ-модели).

Простой ПВ-моделью является космоснимок. Временная информация включена в него посредством временных слоев, представляющих собой совокупность однотипных пространственных объектов, зафиксированных в различные моменты времени. Основными особенностями ПВ-моделей на основе космоснимков являются следующие:

- хранение данных, полученных с регулярным интервалом времени;
- наличие отдельных наборов данных для каждого определенного интервала времени;
- независимая от времени классификация объектов хранения данных.

Специфика пространственно-временной электронной картографии и ГИС исторической направленности состоит в том, что их содержание должно отражать не только определенную ситуацию в регионе исследования, но и ее развитие на протяжении некоторого периода времени.

Ретроспективный анализ представляет собой перспективное направление развития ГИС в сфере лесоустройства и лесного хозяйства [20].

Как известно, рациональное ведение лесного хозяйства требует наличия качественных почвенных карт. Для целей лесного хозяйства при планировании лесоустроительных и других видов работ, при составлении проектов размещения лесных массивов, полезащитных лесных полос, мелиоративных объектов, научно-исследовательских и селекционных станций, питомников, садов и парков применяются крупномасштабные почвенные карты (от 1:25000 (1:5000) до 1:50000). Материалы крупномасштабного картографирования — это основной источник для генерализации изображения почвенного покрова при создании карт более мелкого масштаба. Создание почвенных карт для объектов лесного хозяйства отличается важными особенностями: с одной стороны, лесная растительность усложняет перемещение и ориентирование исследователей в ходе полевых работ, с другой — каждый компонент биоценоза представляет собой эффективный индикатор как почвы, так и материнской породы. Использование лесных карт на рекогносцировочных и полевых этапах почвенного картографического обследования обеспечивает более эффективное размещение точек при планировании исследования [9].

В настоящее время появилась возможность использовать в работе космоснимки высокого и сверхвысокого разрешения. Для поиска космоснимков, находящихся в свободном доступе, можно воспользоваться интернет-сервисами. Как правило, это актуальные, широко представленные снимки, из которых можно выбрать наиболее подходящий и информативный вариант. Цифровые аэрофото- и космоснимки чаще всего уже имеют

пространственную информацию, внедренную в файл (GeoTIFF), что позволяет их использовать в ГИС без дополнительных работ, связанных с их пространственной привязкой.

Совмещение цифровых образов различных пространственных данных помогает перейти на новый качественный уровень и решить проблему недостаточной информативности исходных данных, традиционно используемых при составлении почвенных карт [20].

По мере накопления данных о почвах расширяется сфера их потенциального приложения. В этом смысле возможности вполне сформировавшегося в последние десятилетия направления — цифрового почвенного картографирования (Digital Soil Mapping) можно существенно расширить, используя данные о растительном покрове, особенно это актуально для лесных почв.

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация. Геоинформационные технологии активно внедряют в лесное хозяйство, но при этом использование элементов почвенной информации носит, скорее, формальный характер. В то же время, почвенные ГИС, разрабатываемые в академической среде, не могут использовать производственные материалы из сферы лесного хозяйства в силу бюрократических ограничений.

Классические [21], [22] и современные работы [23], посвященные вопросам повышения продуктивности насаждений, на первое место выдвигают учет естественного плодородия лесных почв в ходе осуществления лесохозяйственной деятельности.

Соединение «почвенного» и «лесного» направлений развития геоинформационных технологий могло бы стать перспективным и важным направлением для оптимизации условий рационального использования лесных ресурсов. Оценку плодородия и мониторинг состояния лесных почв уже с этапа полевых исследований можно эффективно автоматизировать с помощью ГИС. Повсеместная доступность технологии глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) обеспечивает высокую точность пространственной привязки при получении опытных данных. Причем данная технология позволяет эффективно решить и обратную задачу, когда нужно выйти в полевых условиях на заданную точку для уточнения собранных данных или при планировании исследований. Создание единого банка данных почв и лесных ресурсов позволит существенно повысить объективность результатов научных исследований и эффективность решения прикладных задач.

Цель работы

Цель работы — выявление пространственных зависимостей с учетом временного фактора

между насаждениями и почвами на основе геоинформационных технологий на примере Свердловского участкового лесничества Московского учебно-опытного лесничества.

Основными задачами данного исследования являются следующие:

- сбор и систематизация почвенных и лесоустroительных материалов;
- оцифровка, первичная обработка и перевод в формат ГИС всей собранной информации;
- разработка структуры ГИС и структуры базы данных ГИС;
- создание различных тематических карт;
- геообработка и анализ пространственной и временной информации о почвах и растительности.

Материалы и методы

Выбор объекта исследования обусловлен его принадлежностью Мытищинскому филиалу МГТУ им. Н.Э. Баумана и значительной площадью. Московское учебно-опытное лесничество является одним из наиболее крупных территориальных образований в структуре лесного хозяйства на северо-востоке Московской области.

Для работы были привлечены архивные и производственные материалы лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 гг.

Исследования почв на этой территории проводились, начиная с 1970 г. Кафедрой почвоведения МГУЛ (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) под руководством профессора В.Д. Зеликова был собран большой фактический материал, однако вследствие пожара в 2006 г. большая часть данных на бумажном носителе была утрачена, а сохранившиеся материалы требовали повторной обработки и дополнительного изучения.

Основная работа по созданию и наполнению ГИС почв и насаждений Свердловского участкового лесничества осуществлялась в среде QGIS. Эта ГИС по праву считается признанным лидером в классе открытого программного обеспечения, и при решении некоторых задач превосходит аналоги.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в виде космоснимков были получены в программе SAS.Планета. Это — эффективное приложение, также относящееся к классу открытого программного обеспечения, которое позволяет успешно агрегатировать в одном окне информацию из десятков источников и скачивать ее с учетом пространственной привязки.

Обработка атрибутивной почвенной и лесоводственной информации проводилась в соответствующих стандартных приложениях MS Office.

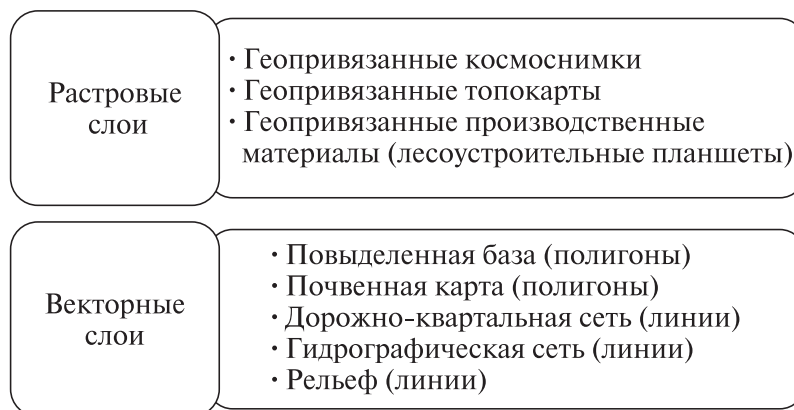


Рис. 1. Структура ГИС почв и насаждений
Fig. 1. GIS structure of soils and forest stands

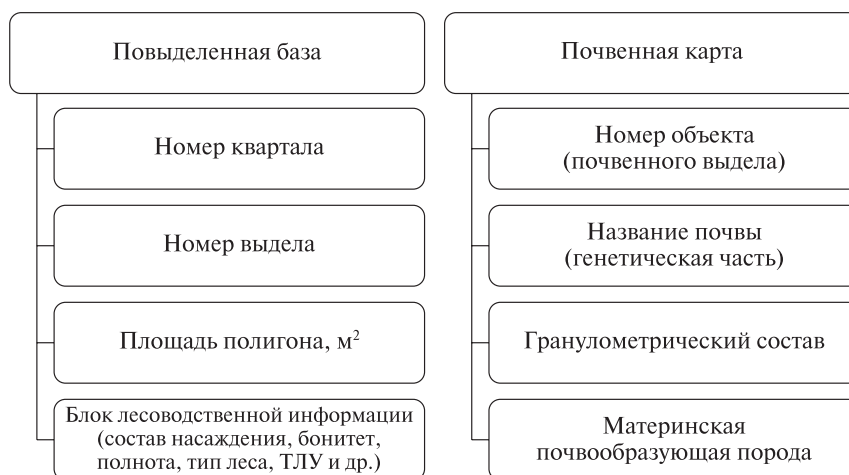


Рис. 2. Структура базы данных почв и насаждений
Fig. 2. Structure of the soil and forest stands database

Результаты и обсуждение

Разработка ГИС начиналась с формирования ее структуры, объединяющей имеющуюся информацию по отдельным слоям (рис. 1). Тип использованных векторных слоев (полигоны, линии) определялся пространственными характеристиками отображаемых объектов и представлен на данной схеме.

Для предложенных слоев была создана соответствующая система базы данных, для внесения атрибутивной почвенной и лесоводственной информации.

Типовой набор наименования полей для разрабатываемой атрибутивной базы данных приведен на рис. 2.

Архивные производственные материалы по объекту исследования изначально существовали только в бумажном виде. Для того чтобы поместить их в геоинформационную среду, требовалась первичная оцифровка путем сканирования или фотографирования. Для выполнения про-

странственной привязки полученных электронных изображений появилась необходимость в наличии геопривязанной топоосновы. В качестве такой основы были выбраны космоснимки, полученные с онлайн сервиса Яндекс (провайдер космоснимков European Space Imaging GmbH). Среди представленных сервисов эти снимки отличаются актуальностью и высоким качеством. Их пространственное разрешение относится к высокому и сверхвысокому.

Получение необходимых космоснимков с пространственной привязкой осуществлялось в формате GeoTIFF с помощью программного обеспечения SAS.Планета. Это — открытый формат для растровых данных, который содержит метаданные о пространственной привязке (иначе говоря, это геопривязанный растр). Спецификации TIFF 6.0 поддерживают несколько видов геотегов, которые определяют вид картографической проекции, систему географических координат, модель геоида, датум и любую другую

информацию, необходимую для точного пространственного ориентирования космоснимка.

В качестве базовой системы координат для создаваемой ГИС была выбрана система на основе универсальной поперечной проекции Меркатора (международное обозначение: UTM zone 37N [код EPSG:32637]).

Полученные космоснимки с пространственной привязкой импортировались в программу QGIS в целях использования в качестве основы для дальнейшей пространственной привязки растровых изображений.

После импорта геопривязанных космоснимков осуществлялась пространственная привязка растровых изображений. Предварительно переведенные в электронный вид картографические материалы почвенного обследования территории объекта были привязаны в Quantum GIS с помощью модуля «georeferencer» к уже оцифрованному плану лесонасаждений лесничества.

Поскольку оцифрованные картографические данные имели заметные геометрические искажения и прочие повреждения, пространственная привязка потребовала кропотливой работы и больших трудозатрат. Для трансформации исходного растра применялся метод «тонкостенного сплайна». Это широко используемый метод преобразования при выравнивании изображений с локальными деформациями, аналогичный модели трансформации резинового листа (rubbersheet). При использовании подобных «эластичных» методов точность выполненной пространственной привязки может осуществляться с помощью визуального контроля совпадения двух слоев одного относительно другого по границам и характерным элементам.

Оцифровка картографических материалов лесоустройства осуществлялась в программе QGIS вручную. В качестве основного формата хранения векторных данных был выбран шейп-файл (англ. Shapefile), являющийся популярным форматом хранения географической информации. Он был разработан компанией ESRI для совместимости между продуктами ESRI и другими программами. Формат шейп-файл может хранить следующие различные типы геометрических объектов: точки, линии (ломаные), многоугольники и др. Каждый отдельный файл может хранить объекты только одного выбранного типа.

Поскольку векторизуемые объекты имеют пространственную структуру, для них был выбран полигональный формат векторных данных. Процесс векторизации пространственных объектов начинался с создания квартальной сети в векторном виде. Каждому полигону присваивался номер, соответствующий номеру квартала.

Дальнейшая работа по векторизации выделов осуществлялась путем «нарезки» полигонов

с обязательным использованием инструмента «прилипание». После выполнения нарезки каждому полигону, обозначающему лесной выдел, был присвоен соответствующий номер. Номер квартала присваивался каждому выделу от того квартала, к которому он относился. Метод «нарезки» полигонов — один из наиболее эффективных способов получения качественного результата, практически исключая появление характерных топологических ошибок, поскольку по каждой границе выдела проход выполняется только один раз.

Одновременно с оцифровкой картографической информации на основании отсканированных производственных данных по каждому выделу была заполнена таблица атрибутов, в которой содержится информация о таксационной и лесоводственной характеристике каждого выдела. Эта информация также была подготовлена и систематизирована в виде таблицы с помощью табличного процессора.

Связывание по выделенной векторной базе с файлом Excel осуществлялось штатными средствами QGIS по ключевому полю, рассчитанному по номерам квартала и выдела.

Полученные слои векторных данных позволили выполнить пространственный анализ путем наложения планов лесонасаждений на почвенную карту.

Пространственный анализ — это выполнение вычислительных операций над геоданными в целях извлечения из них дополнительной информации. Обычно пространственный анализ выполняется в ГИС-приложениях, которые имеют специализированные инструменты пространственного анализа для геообработки (например, наложение, пересечение).

Для выполнения такого анализа использовался инструмент «пересечение» из группы инструментов «геообработка» программного обеспечения Quantum GIS.

В результате такого наложения получен набор контуров, отражающий пространственное распределение насаждений, произрастающих на исследуемых почвах, при этом происходило слияние атрибутивных баз данных обоих слоев. С помощью средств геоинформационных технологий были вычислены площади этих контуров. Сформировав их по определенным критериям, были получены закономерности и пространственные зависимости между насаждениями, почвами и лесорастительными условиями. Кроме того, был выполнен анализ во временном разрезе, по данным лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 гг. Дальнейшей обработке подвергалась объединенная атрибутивная база данных в табличном процессе с помощью инструмента «сводная таблица» (табл. 1).

Т а б л и ц а 1
Изменение породного состава на занимаемой
площади (в процентах к общей площади)
Свердловского участкового лесничества
за период 1974–2004 гг.

Change in the species composition on the occupied area
(as a percentage of the total area) of the Sverdlovka forestry
for the period 1974–2004

Главная порода	1974	1984	1994	2004
Ель европейская	40,25	47,53	46,58	46,39
Сосна обыкновенная	21,32	20,95	19,38	20,34
Лиственница европейская	0,04	0,02	0,02	0,02
Дуб черешчатый	0,17	0,14	0,09	0,08
Береза бородавчатая	28,30	23,84	27,31	26,92
Осина	9,30	7,10	5,73	5,54
Липа мелколистная	0,06	0,08	0,12	0,16
Ольха черная	0,55	0,34	0,77	0,54

Т а б л и ц а 2
Средневзвешенный по площади класс
бонитета Свердловского участкового
лесничества за период 1974–2004 гг.

Area weighted average growth index class
of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004

Главная порода	1974	1984	1994	2004
Ель	I, 43	Ia, 99	I, 06	I, 13
Сосна	I, 16	Ia, 93	Ia, 06	Ia, 13
В общем	I, 56	I, 11	I, 10	I, 12

По данным табл. 1 были построены круговые диаграммы, отражающие динамику изменения породного состава за 30-летний период (рис. 3). Как видно из рис. 3, преобладают еловые насаждения.

За рассматриваемый период времени — 1974–2004 г. доля еловых насаждений заметно возросла, площади, занятые осиной и березой бородавчатой уменьшились; площадь сосновых насаждений существенно не изменилась. Остальные породы присутствуют на территории участкового лесничества в незначительном количестве.

При дальнейшей обработке базы таксационных данных проведено вычисление средневзвешенных по площади классов бонитета по двум основным лесобразующим породам — ели европейской и сосне обыкновенной, а также в общем, по всему участковому лесничеству (табл. 2).

На основании данных табл. 2 построены графики (рис. 4, 5), на которых хорошо видна ди-

намика рассматриваемых показателей, указаны значения максимально возможного класса бонитета в имеющихся почвенных условиях, которые рассчитаны по данным бонитировки лесных почв профессора Виктора Дмитриевича Зеликова [21].

В целом по лесничеству отмечается вполне заметный рост продуктивности за период 1974–1984 гг., вероятно, связанный с интенсивным ведением лесохозяйственной деятельности, в отличие от лесовосстановления, проходившего с учетом факторов почвенной продуктивности.

При рассмотрении данной динамики отдельно по лесобразующим породам было выявлено снижение средневзвешенного класса бонитета для еловых насаждений, связанное, возможно, со старением еловых древостоев при уменьшении хозяйственной деятельности и с обусловленным им падением темпов роста, проявившимся в снижении класса бонитета [23].

Сравнивая анализируемые показатели с максимально возможной в данных условиях продуктивностью, можно сделать вывод, что остаются резервы повышения продуктивности, которые можно использовать при более качественном учете почвенных факторов для планирования лесовосстановления.

Заключительным этапом пространственного анализа почвенных и лесоводственных данных стала оценка их пространственной сопряженности (в табл. 3–5). Как видно из таблиц, наилучшие условия по продуктивности складываются на дерново-средне- и сильноподзолистых почвах. Наличие оглеения отрицательно сказывается на продуктивности. Низшие по продуктивности насаждения приурочены к болотно-подзолистым (дерново-подзолистым поверхностно-оглеенным и торфянисто-подзолистым поверхностно-оглеенным) почвам.

Анализ пространственной сопряженности лесорастительных условий Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом, показывает, что наиболее распространенный в участковом лесничестве ГЛЮ С3 (табл. 4) встречается на дерново-подзолистых неоглеенных почвах разной степени оподзоленности (см. табл. 4). В более влажных условиях формируются сначала дерново-подзолистые оглеенные почвы, которые переходят в болотно-подзолистые (дерново-подзолистые поверхностно-оглеенные и торфянисто-подзолистые поверхностно-оглеенные) почвы.

Основные хвойные лесобразующие породы — ель европейская и сосна обыкновенная приурочены к хорошо дренированным дерново-подзолистым почвам. Немалые площади они занимают и на дерново-подзолистых оглеенных почвах, а на болотно-подзолистых почвах их представительство сведено к минимуму.

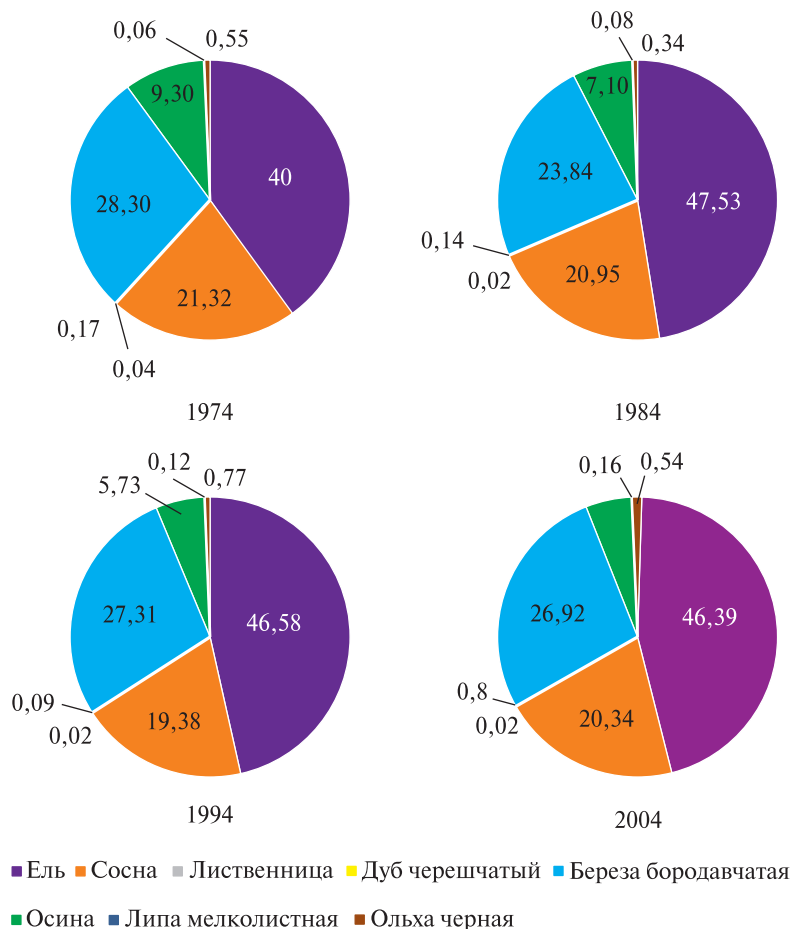


Рис. 3. Изменение породного состава Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.
Fig. 3. Changes in the species composition of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004

Рис. 4. Изменение средневзвешенного по площади класса бонитета насаждений Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.
Fig. 4. Changes in the area weighted average growth index class of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004

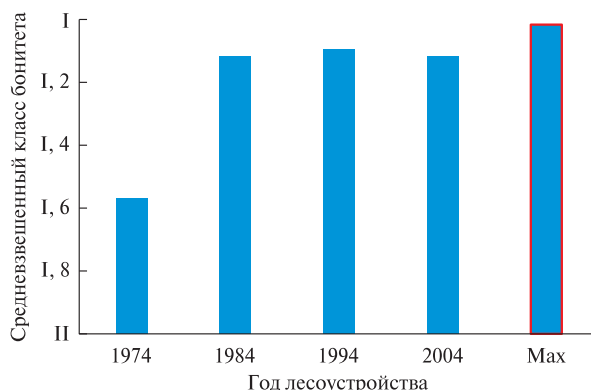
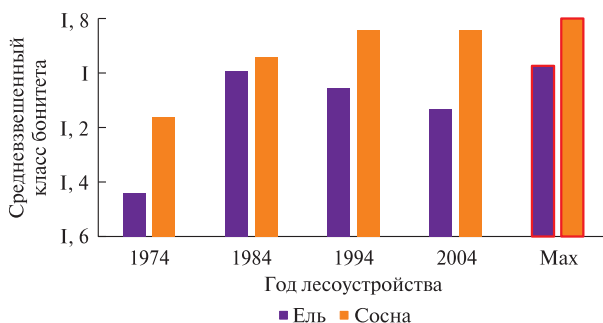


Рис. 5. Изменение средневзвешенного по площади класса бонитета насаждений Свердловского участкового лесничества за период 1974–2004 гг.
Fig. 5. Changes in the area weighted average growth index class of the main forest-forming species of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004



Т а б л и ц а 3

Пространственная сопряженность продуктивности насаждений (бонитета) Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)

Area weighted average growth index class of the Sverdlovka forestry for the period 1974–2004 (% of the total area)

Класс бонитета	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
Ia	0,0	40,4	11,7	25,1	22,7	0,0	0,0
I	0,6	38,8	14,7	28,4	13,5	1,2	2,8
II	0,0	15,2	38,4	10,3	26,4	0,0	9,7
III	0,2	0,5	12,4	2,1	17,8	42,9	24,1
IV	0,0	0,0	0,6	0,0	1,1	12,1	86,2

Примечание. П1Д сс — дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая; П2Д сс — дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая; П2Догл сс — дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая оглеенная; П3Д сс — дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая; П3Догл сс — дерново-сильноподзолистая среднесуглинистая оглеенная; ПД пов огл — дерново-подзолистая поверхностно-оглеенная; Т1 пов огл — торфянисто-подзолистая поверхностно-оглеенная; выделены наибольшие значения.

Т а б л и ц а 4

Пространственная сопряженность лесорастительных условий Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)

Spatial correlation of forest conditions of the Sverdlovka forestry with soil cover (% of the total area)

Тип лесорастительных условий	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
B2	0,0	25,3	6,2	64,3	4,2	0,0	0,0
B3	1,5	1,2	32,6	2,3	57,2	0,0	5,2
B4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3	42,7
B5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	99,4
C2	0,6	36,9	12,7	30,9	15,4	1,1	2,4
C3	0,0	47,1	12,4	24,2	15,2	0,8	0,3
C4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	41,3	56,4
C5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,2	71,8

Т а б л и ц а 5

Пространственная сопряженность главных пород Свердловского участкового лесничества с почвенным покровом (в процентах от общей площади)

Spatial correlation of the main species of the Sverdlovka forestry with soil cover (% of the total area)

Главная порода	П1Д сс	П2Д сс	П2Догл сс	П3Д сс	П3Догл сс	ПД пов огл	Т1 пов огл
Сосна обыкновенная	0,0	50,1	16,6	17,3	13,2	0,4	2,5
Ель европейская	0,0	41,2	13,6	25,1	15,6	1,2	3,2
Лиственница сибирская	0,0	47,7	0,0	52,3	0,0	0,0	0,0
Дуб черешчатый	0,0	37,6	0,0	62,4	0,0	0,0	0,0
Берёза бородавчатая	1,7	33,0	15,3	30,0	14,4	0,2	5,4
Осина обыкновенная	0,0	19,3	44,6	8,5	20,9	4,8	1,9
Ольха черная	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	2,1	82,5
Липа мелколистная	0,0	42,8	0,0	57,2	0,0	0,0	0,0

Выводы

Выполнена цифровизация большого объема архивных производственных материалов, сформированы выделенные базы данных лесоустройства за 1974, 1984, 1994 и 2004 годы.

Разработанная ГИС дополнена электронной картой почвенного покрова Свердловского участка лесничества и электронной выделенной базой результатов лесоустройства 2004 г. Комплексная ГИС обработана методами пространственного анализа, что обусловило выявление динамики изменения продуктивности и породного состава насаждений за 30-летний период. Отмечено улучшение продуктивности и породного состава в период с 1974 по 1984 гг.

Пространственный анализ объединенных почвенных и лесоводственных данных показал приуроченность наиболее продуктивных насаждений к дерново-подзолистым неоглееным почвам. Самые низкопродуктивные насаждения были сформированы на болотно-подзолистых почвах. У основных хвойных лесобразующих пород, таких как ель европейская и сосна обыкновенная, при появлении оглеения продуктивность заметно снижается.

Сравнение полученных результатов с максимально возможной продуктивностью в имеющихся почвенных условиях, полученной с помощью бонитировочной шкалы [21], показало, что в целом наблюдается соответствие выращиваемых пород почвенным условиям, однако существует определенный резерв для повышения продуктивности.

Указанные базы данных и технологии анализа ресурсного потенциала почв разработаны с помощью открытого программного обеспечения (QGIS) и могут использоваться в научной работе, учебном процессе и производстве при планировании и проведении лесовосстановления. Разработанная структура геоинформационной базы допускает расширение и доработку структуры под любые запросы науки и производства. Поскольку все использованное в работе программное обеспечение является свободным, любая дальнейшая доработка и совершенствование ГИС для научных или производственных задач не потребует существенных материальных затрат, связанных с покупкой лицензий.

Создание информационно-насыщенных проектов-ГИС с поддержкой пространственно-временной выборки и динамичным картографированием значительно повышают качество и целесообразность проведения лесохозяйственных мероприятий. Предложенная технология анализа данных позволяет применить многовариантную систему оценки потенциала почвенных ресурсов.

На современном этапе развития автоматизированных методов обработки и анализа данных

о почвенных ресурсах открываются широкие возможности для организации системы оперативного и объективного мониторинга почв и построения вероятностных сценариев их изменений.

Список литературы

- [1] Вукколова И.А. ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Пушкино: ВИПКЛХ, 2008. 79 с.
- [2] ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы. М.: Дата+, 1999. 506 с.
- [3] Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. М.: Кудиц-Пресс, 2009. 272 с.
- [4] Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с.
- [5] Arrouays D., Leenaars J., A.C. Richer-de-Forges, K. Adhikari. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives // *GeoRes J.*, 2017, v. 14, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2017.06.001>
- [6] Arrouays D., Savin I., Leenaars J.G.B., McBratney A.B. GlobalSoilMap // *Digital Soil Mapping from Country to Globe*. 1st ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. 173 p.
- [7] Голозубов О.М., Рожков В.А., Алябина И.О., Иванов А.В., Колесникова В.М., Шоба С.А. Технологии и стандарты в информационной системе почвенно-географической базы данных России // *Почвоведение*, 2015. № 1. С. 3–13.
- [8] Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 2004. 50 с.
- [9] Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л. Технологии составления и обновления почвенных карт. М.: Перо, 2019. 328 с.
- [10] Савин И.Ю. Проблема масштаба в современной почвенной картографии // *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*, 2019. № 97. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20
- [11] Пузаченко М.Ю. Многомерный анализ почвенного покрова на основе полевой и дистанционной информации // *Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 252–269.
- [12] Герасимова М.И., Ананко Т.В., Савицкая Н.В. Почвенный покров южно-таежного тестового полигона (Московская область) на новой цифровой почвенной карте России масштаба 1:2,5 млн // *Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов*. Третья Всерос. открытая конф. «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование»: сб. докл. Москва, 09–11 декабря 2019 г. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. С. 39–43.
- [13] Щепашенко Д.Г., Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Щепашенко М.В. Опыт совместного анализа материалов полевой почвенной съемки и данных лесоустройства на примере Щелковского УОЛХ // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, № 7, 2007. С. 47–49.
- [14] Гудкова Д.А., Ершов Д.В. Ретроспективный анализ динамики лесного покрова территории Новой Москвы по спутниковым данным // *Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве*. V Всерос. конф. (с международным участием), посвященная памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина: доклады, Москва, 22–24 апреля 2013 г. М.: ЦЭПЛ, 2013. С. 129–130.
- [15] Никифоров А.А. Разработка информационной системы Лисинского УОЛХ с применением ГИС-технологий // *Сб. докл. молодых ученых на ежегодной науч.*

- конф. Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2002. Вып. 6. С. 54–59.
- [16] Стоноженко Л.В., Коротков С.А. Динамика состояния лесов Московской области // Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы Всерос. науч. конф., Москва, 25–27 октября 2016 г. М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2018. С. 170–173.
- [17] Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Теплов О.А. Динамика лесных ресурсов и лесопользования Московской области // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: междунар. сб. науч. статей / ред. Э.А. Курбанов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. С. 94–105. URL: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forestecosystems-in-a-changing-climate/> (дата обращения 19.02.2020).
- [18] Миртова И.А., Ершов Д.В., Гудкова Д.А. Анализ динамики лесов Московской области по космическим снимкам для целей геоэкологического мониторинга // ИВУЗ Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. № 1. С. 78–83.
- [19] Khabarova O., Savin I. Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia // ACS, 2015, v. 5, no. 2, pp. 91–105.
- [20] Никифоров А.А. Анализ структуры, динамики и продуктивности лесного растительного покрова с применением ГИС-технологий, математического и 3D моделирования: дисс. ... канд. с.-х. наук: СПб., 2005. 157 с.
- [21] Зеликов В.Д. Почвы и бонитет насаждений. М.: Лесная пром-сть, 1970. 120 с.
- [22] Гаврилюк Ф.Я. Бонитировка почв. Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1984. 228 с.
- [23] Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Щепашенко Д.Г., Онтиков П.В. Зависимость продуктивности сосновых насаждений от почвенно-грунтовых условий в Московском учебно-опытном лесничестве // Лесоведение, 2017. № 6. С. 411–417.

Сведения об авторах

Максимова Алина Николаевна — аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), maximova@mgul.ac.ru

Карминов Виктор Николаевич — канд. с.-х. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук», karminov@mgul.ac.ru

Мартыненко Ольга Вениаминовна — канд. с.-х. наук, доцент, ФАУ ДПО «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», martinen75@yandex.ru

Онтиков Петр Вячеславович — заместитель начальника отдела государственной инвентаризации лесов, ФГБУ «Центральный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Рослесинфорг», orpv86@mail.ru

Поступила в редакцию 26.05.2020.

Принята к публикации 15.06.2020.

FOREST SOIL RESOURCES ANALYSIS IN NORTH-EASTERN MOSCOW REGION BASED ON GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

A.N. Maksimova¹, V.N. Karminov^{1, 2, 3},
O.V. Martynenko³, P.V. Ontikov⁴

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, 84/32 bldg. 14, Profsoyuznaya st., 117997, Moscow, Russia

³All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), 20, Institutskaya st., 141200, Pushkino, Moscow reg., Russia

⁴Roslesinforg, Centresproekt 10, Zavodskaya st., 141200, Ivanteevka, Moscow reg., Russia

maximova@mgul.ac.ru

The results of processing and analysis of spatial and temporal information about soils and forest stands on geoinformation technologies are presented. Spatial analysis of combined soil and forestry data showed that the most productive plantings were confined to sod-podzolic automorphic soils. In the main coniferous forest-forming species, such as European spruce and pine, when signs of hydromorphism appear, productivity significantly decreases. Among the studied plantings, the lowest-yielding ones are formed on swamp-podzolic soils. Retrospective analysis revealed a noticeable improvement in productivity and breed composition that occurred in the late 1970s and early 1980s. The assessment of the current situation shows that there is a certain reserve for increasing the productivity of existing forest stands, associated with a more effective use of the natural fertility of forest soils.

Keywords: geoinformation systems, soil bonitization, analysis of soil resources, spatial analysis, forest management materials

Suggested citation: Maksimova A.N., Karminov V.N., Martynenko O.V., Ontikov P.V. *Analiz pochvennykh resursov lesov severo-vostochnogo Podmoskov'ya na osnove geoinformatsionnykh tekhnologiy* [Forest soil resources analysis in north-eastern Moscow region based on geoinformation technologies]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 39–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-39-50

References

- [1] Vukolova I.A. *GIS-tekhnologii v lesnom khozyaystve* [GIS technologies in forestry]. Pushkino: VIPKLLKh, 2008, 79 p.
- [2] DeMers M.N. *Geograficheskie informatsionnye sistemy* [Geographical information systems]. Moscow: Data+, 1999, 506 p.
- [3] Zhurkin I.G., Shaytura S.V. *Geoinformatsionnye sistemy* [Geoinformation systems]. Moscow: KUDITs-PRESS, 2009, 272 p.
- [4] Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geoinformation systems and technologies]. Moscow: Finansy i statistika, 1998, 288 p.
- [5] Arrouays D., Leenaars J., Richer-de-Forges A.C., Adhikari K. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives. *GeoRes J.*, 2017, v. 14, pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.grj.2017.06.001>.
- [6] Arrouays D., Savin I., Leenaars J.G.B., McBratney A.B. *GlobalSoilMap // Digital Soil Mapping from Country to Globe*, 1st ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2018, 173 p.
- [7] Golozubov O.M., Rozhkov V.A., Alyabina I.O., Ivanov A.V., Kolesnikova V.M., Shoba S.A. *Tekhnologii i standarty v informatsionnoy sisteme pochvenno-geograficheskoy bazy dannykh Rossii* [Technologies and standards in the information system of the soil-geographical database of Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2015, no. 1, pp. 3–13.
- [8] Savin I.Yu. *Analiz pochvennykh resursov na osnove geoinformatsionnykh tekhnologiy* [Analysis of soil resources based on geoinformation technologies]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Moscow, 2004, 50 p.
- [9] Savin I.Yu., Stolbovov V.S., Ivanov A.L. *Tekhnologii sostavleniya i obnoveniya pochvennykh kart* [Technologies for composing and updating soil maps]. Moscow: Pero, 2019, 328 p.
- [10] Savin I.Yu. *Problema masshtaba v sovremennoy pochvennoy kartografii* [The problem of scale in modern soil cartography]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva], 2019, no. 97, pp. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-5-20
- [11] Puzachenko M.Yu. *Mnogomernyy analiz pochvennogo pokrova na osnove polevoy i distantsionnoy informatsii. Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* [Multidimensional analysis of soil cover based on field and remote information]. Moscow: Pochvennyy in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2012, pp. 252–269.
- [12] Gerasimova M.I., Ananko T.V., Savitskaya N.V. *Pochvennyy pokrov yuzhno-taezhnogo testovogo poligona (Moskovskaya oblast') na novoy tsifrovoy pochvennoy karte Rossii masshtaba 1:2,5 mln* [Soil cover of the South taiga test range (Moscow region) on the new digital soil map of Russia scale 1: 2,5 million]. *Sovremennye problemy izucheniya pochvennykh i zemel'nykh resursov. Sbornik dokladov Tret'ey Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii* [Modern problems of studying soil and land resources. Collection of reports of the Third all-Russian open conference]. Moscow: Dokuchaev Soil Institute, 2019, pp. 39–43.
- [13] Shchepashchenko D.G., Karminov V.N., Martynenko O.V., Shchepashchenko M.V. *Opyt sovmevnogo analiza materialov polevoy pochvennoy s'emki i dannykh lesoustroystva na primere Shchelkovskogo UOLKh* [Experience of a joint analysis of materials of field soil survey and forest inventory data on the example of the Shchelkovo forestry]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2007, no. 7, pp. 47–49.
- [14] Gudkova D.A., Ershov D.V. *Retrospektivnyy analiz dinamiki lesnogo pokrova territorii Novoy Moskvy po sputnikovym dannym* [Retrospective analysis of the dynamics of forest cover in the territory of New Moscow on satellite data]. *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaystve doklady V Vserossiyskoy konferentsii* [Aerospace Methods And GIS–Technologies in Forestry, Forest Management and Ecology: Proceedings of the V All-Russian Conference.]. Moscow: CEPF, 2013, pp. 129–130.

- [15] Nikiforov A.A. *Razrabotka informatsionnoy sistemy Lisinskogo UOLKh s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Development of the information system of the Lisinsky forestry with the use of GIS technologies]. Sbornik dokladov molodykh uchenykh na ezhegodnoy nauchnoy konferentsii Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Symposium of Annual Young Scientists Conference, St. Petersburg State Forest Technical Academy], 2002, v. 6, pp. 54–59.
- [16] Stonozhenko L.V., Korotkov. S.A. *Dinamika sostoyaniya lesov Moskovskoy oblasti* [Dynamics of the state of forests in the Moscow region]. Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. [Scientific foundations of sustainable forest management. Materials of the all-Russian scientific conference]. Moscow: Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN [Center for ecological problems and productivity of forests Russian Academy of Sciences], 2018, pp. 170–173.
- [17] Stonozhenko L.V., Korotkov. S.A., Teplov O.A. *Dinamika lesnykh resursov i lesopol'zovaniya Moskovskoy oblasti* [Dynamics of forest resources and forest management in the Moscow region]. Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey [Forest ecosystems in the conditions of climate change: biological productivity and remote monitoring: international collection of scientific articles]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2017. P. 94–105. Available at: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forestecosystems-in-a-changing-climate/> (accessed 19.02.2020).
- [18] Mirtova I.A., Ershov D.V., Gudkova D.A. *Analiz dinamiki lesov Moskovskoy oblasti po kosmicheskim snimkam dlya tseley geoekologicheskogo monitoringa* [Analysis of forest dynamics in the Moscow region using satellite images for geo-ecological monitoring]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Geodesy and aerophotosurveying], 2014, no. 1, pp. 78–83.
- [19] Khabarova O. *Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia* [Changes in Environmental Parameters and Their Impact on Forest Growth in Northern Eurasia]. ACS, 2015, v. 5, no. 2, pp. 91–105.
- [20] Nikiforov A.A. *Analiz struktury, dinamiki i produktivnosti lesnogo rastitel'nogo pokrova s primeneniem GIS-tekhnologiy, matematicheskogo i 3D modelirovaniya*. [Analysis of the structure, dynamics and productivity of forest vegetation cover using GIS technologies, mathematical and 3D modeling] Dis. Cand. Sci. (Agric.). Saint Petersburg, 2005, 157 p.
- [21] Zelikov V.D. *Pochvy i bonitet nasazhdeniy* [Soils and bonitet of plantings]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1970, 120 p.
- [22] Gavrilyuk F.Ya. *Bonitirovka pochv* [Betermination of soil quality]. Rostov-on-Don: Rostov State University, 1984, 228 p.
- [23] Martynenko O.V., Karminov V.N., Shchepashchenko D.G., Ontikov P.V. *Zavisimost' produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy ot pochvennogo-gruntovykh usloviy v Moskovskom uchebno-opytном lesnichestve* [Dependence of productivity of pine plantations on soil-ground conditions in the Moscow educational and experimental forestry]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 411–417.

Authors' information

Maksimova Alina Nikolaevna — Pg. of the BMSTU (Mytishchi branch), maximova@mgul.ac.ru

Karminov Victor Nilolaevich — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch); Senior Staff Scientist. Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (CEPF RAS), Associate Professor of All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), karminov@mgul.ac.ru

Martinenko Olga Veniaminovna — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of All-Russian Institute of Continuous Education in Forestry (ARICEF), martinen75@yandex.ru

Ontikov Petr Vyacheslavovich — Deputy Head of the State Forest Inventory Department, Federal forestry agency FSBI «Roslesinform» «Centrlesproekt», opv86@mail.ru

Received 26.05.2020.

Accepted for publication 15.06.2020.