

А.Б. Шишляникова, Д.А. Данилов, И.В. Змитрович, И.В. Бачериков

ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Введение. Дуб черешчатый (*Quercus robur*) представляет своеобразный и адаптированный к умеренно-холодному климату дериват теплолюбивого и процветавшего в терциере на обширных пространствах Евразии и Северной Америки рода *Quercus* [Недолужко, 1995; Grimshaw, Bayton, 2009]. Ценоспектр дуба черешчатого в пределах его ареала своеобразен и охватывает степную, лесостепную, широколиственнолесную, подтаежную зоны и южную полосу таежной зоны. Ценооптимум дуба черешчатого мы наблюдаем в неморальных поймах в пределах широколиственнолесной и подтаежной зон. Именно на дренированных гривах центральной поймы, ежегодно обогащаемых речным аллювием и лишенных бокового затенения, складываются условия, наиболее благоприятные для роста дуба черешчатого [Фирсов и др., 2021]. В равновесном с текущей биогеоценотической обстановкой состоянии некроз ветвей дуба черешчатого является фактором, имеющим адаптивное значение, а изучение грибов-сапротрофов, вовлеченных в процесс самоизреживания кроны, представляет теоретический и практический интерес [Шишляникова и др., 2023].

Цель работы – оценка влияния некротрофных и сапротрофных видов грибов на жизненное состояние деревьев дуба черешчатого в оптимум-ареале дуба черешчатого и севернее его естественного распространения. Для достижения поставленной цели нами был проведен комплексный анализ насаждений, сформированных в различных условиях произрастания дуба черешчатого.

Материал и методы. Нами была намечена зонально-меридиональная трансекта, пересекающая наиболее широкий спектр местообитаний дуба черешчатого (рис. 1). В субширотном направлении она идет от Тулы до Пушкиногорья, поворачивая субмеридионально в направлении Выборга.

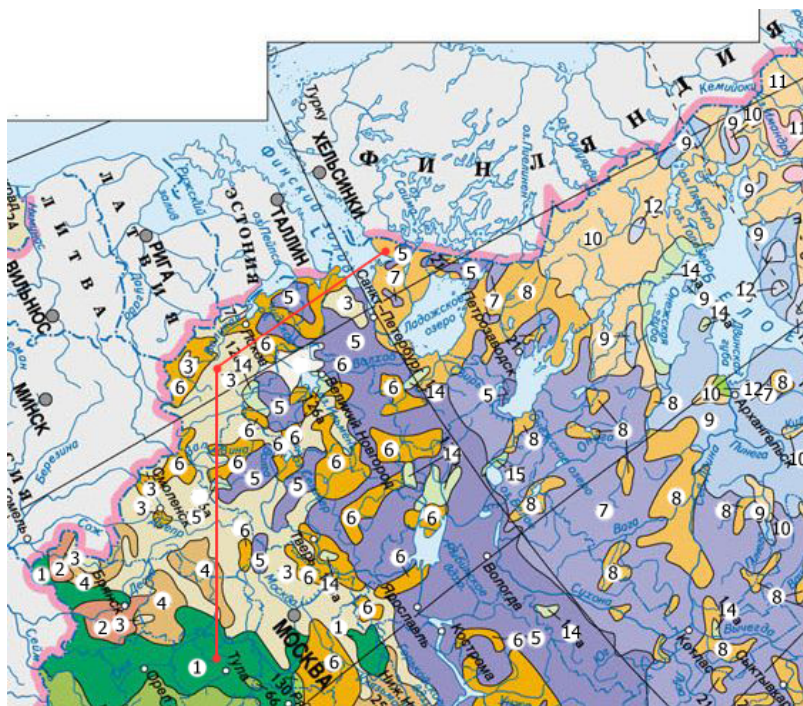


Рис. 1. Зонально-меридиональная трансекта ЕТР и пересекаемые ею типы растительности [Национальный атлас, 2007]: 1 – липово-дубовые широколиственные леса; 2 – сосново-широколиственные леса; 3 – елово-широколиственные подтаежные леса; 4 – сосновые подтаежные леса с южноборовыми и лесостепными видами; 5 – еловые южнотаежные леса; 6 – сосновые южнотаежные леса с южноборовыми видами; 7 – еловые среднетаежные леса; 8 – сосновые среднетаежные леса; 9 – еловые северотаежные леса; 10 – сосновые северотаежные леса; 11 – тундрово-редколесные горные таежные леса; 12 – травяно-гипново-сфагновые грядово-мочажинные болота; 13 – травяно-кустарничково-сфагновые болота; 14 – сфагновые верховые болота

Fig. 1. Zonal-meridional transect of the ETR and vegetation types crossed by it [from: National Atlas, 2007]: 1 – linden-oak broadleaved forests; 2 – pine-broadleaved forests; 3 – spruce-broadleaved sub-taiga forests; 4 – pine sub-taiga forests with southern pine and forest-steppe species; 5 – spruce southern taiga forests; 6 – southern taiga pine forests with southern grasses species; 7 – middle taiga spruce forests; 8 – middle taiga pine forests; 9 – northern taiga spruce forests; 10 – northern taiga pine forests; 11 – tundra-rare mountain taiga forests; 12 – grass-hypno-sphagnum ridge-moss bogs; 13 – grass-shrub-sphagnum bogs; 14 – sphagnum bogs

Исследование проводилось на территориях, относящихся к разным лесорастительным районам (Приказ Минприроды..., 2014 с изм. 2023)¹: лесостепная зона Российской Федерации, лесостепной район европейской части Российской Федерации (Щекинский район Тульской области); зона хвойно-широколиственных лесов Российской Федерации, район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (Пушкиногорский район Псковской области); таежная зона, Балтийско-Белозерский таежный район (г. Санкт-Петербург и Ленинградская область).

Объекты нашего исследования – комплекс ксилосапротрофных грибов, ассоциированных с побеговой системой дуба черешчатого в насаждениях дуба черешчатого в лесных и парковых экосистемах (табл. 1–8) вдоль субширотной-субмеридиональной трансекты «Тула – Выборг», отражающей движение из зоны оптимум-ареала этой породы к его периферии. Исследование проводилось в разных лесорастительных зонах и лесорастительных районах (Приказ Минприроды..., 2014, с изм. 2023)¹.

Таблица 1

Характеристика участков исследования

Characteristics of the study sites

Виды участков	Селивановская лесная дача Крюковского участкового лесничества ГУ ТО «Плавское лесничество»	
Номер участка	1	2
Площадь участка, га	38,4	42,0
Высота над уровнем моря, м	185,3	158,6
Особенности рельефа	Холмистая равнина, расчлененная овражно-балочной системой	Холмистая равнина, расчлененная овражно-балочной системой
Тип леса или посадки; состав насаждения	Дубняк ясенево-липовый снытевый 6Д4ЛП+Б+С+ОС+КЛ (неоднородный) 1 ярус – Дуб выс	Дубняк кленово-липовый снытевый 5Д5ЛП+ОС+Б +ИВ (неоднородный) 1 ярус – Дуб выс
Подрост, подлесок (при наличии)	Подрост 4ЯЗКЛЗЛП Подлесок ЛЩ Р Ж густой	Подрост 5КЛ4ЛП1Д Подлесок ЛЩ ЧР Ж средний
Преобладающие типы почв	Серая лесная	Дерново-среднеоподзоленная

¹ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». Зарегистрирован 29.09.2014 г. № 34186 (с изм. на 02.08.2023 г.).

Таблица 2

Характеристика участков исследования
Characteristics of the study sites

Виды участков	Насаждения дуба черешчатого в окрестностях и на территории Дендрария ГОУ СПО ТО «Крапивенский лесхоз-техникум»
Номер участка	3
Площадь участка, га	15,1
Высота над уровнем моря, м	176,8
Особенности рельефа	Холмистая равнина
Тип леса или посадки; состав насаждения	Линейные, куртинные; отдельные деревья 10Д
Подрост, подлесок (при наличии)	нет
Преобладающие типы почв	Тяжелые суглинки, сильно оподзоленные и оглеенные

Таблица 3

Характеристика участков исследования
Characteristics of the study sites

Виды участков	Государственный мемориальный историко-архитектурный и природно-ландшафтный музей-заповедник А.С. Пушкина «Михайловское», территория «Усадьба-музей Михайловское»		
Номер участка	1	2	3
Площадь участка, га	6,7	7,1	6,7
Высота над уровнем моря, м	100,4	99,0	88,4
Особенности рельефа	Равнинно-холмисто-грядовый	Равнинно-холмисто-грядовый	Равнинно-холмисто-грядовый
Тип леса или посадки; состав насаждения	Ельник (с липой и дубом) кислично-зеленуковый с полянами из лиственных пород 4Е2С2ЛП2Д1Б+Р	Ельник (с липой и дубом) зеленчуково-волосистоосоковый с полянами из лиственных пород 3ЕЗЛП2С2Д1Б1КЛ	Сосняк сложный лещиново-чернично-кисличный с полянами из лиственных пород 4С2Д2ЛП1Е1КЛ+ЯС
Подрост, подлесок (при наличии)	Подрост 3ЕЗКЛЗЛП 1Д Подлесок ЛЩ Ж КЛН КРС СМР БРК МЛ	Подрост 3ЕЗКЛЗЛП 1Д+Б Подлесок ЛЩ Ж	Подрост 2Е2КЛ2ЛП2Д1В Подлесок ЛЩ КРС Р Ж
Преобладающие типы почв	Дерново-подзолистые и дерновые легкие	Дерново-подзолистые и дерновые легкие	Дерново-слабоподзолистые супесчаные

Таблица 4

Характеристика участков исследования

Characteristics of the study sites

Виды участков	Баболовский парк, г. Пушкин			
Номер участка	1	2	3	4
Площадь участка, га	24,5	12,5	17,9	16,5
Высота над уровнем моря, м	73,0	63,5	62,5	69,3
Особенности рельефа	Равнинный	Равнинный	Равнинный с понижением, с постоянным избыточным увлажнением	Равнинный с понижением, с избыточным увлажнением, застоем воды
Тип леса или посадки; состав насаждения	Линейные посадки и отдельные деревья, в глубине лесопарковые насаждения 6Б4ДЗЕ	Вдоль дорожек линейные посадки, в глубине лесопарковые насаждения 6Б4ОЛ	Линейные посадки и отдельные деревья 10Д	Вдоль дорожек линейные посадки, в глубине лесопарковые насаждения 1 ярус 10Б 2 ярус 9Е2Д1ОЛ
Подрост, подросток (при наличии)	Подрост 5Е5ОС угнетен	Подрост 4Е3КЛЗОС +Д угнетен Подросток КРС Р ЧР	нет	Подрост 4Е4ОС2КЛ +Д угнетен Подросток КРС Р ЧР
Преобладающие типы почв	Дерновая слабо-подзолистая глеевая антропогенно-трансформированная суглинистая	Дерновая слабо-подзолистая глеевая антропогенно-трансформированная суглинистая	Дерновая слабо-подзолистая глеевая антропогенно-трансформированная суглинистая	Дерновая слабо-подзолистая глеевая антропогенно-трансформированная суглинистая

Таблица 5

Характеристика участков исследования

Characteristics of the study sites

Виды участков	Отдельный (Нижний) парк, г. Пушкин	
Номер участка	1	2
Площадь участка, га	9,1	7,3
Высота над уровнем моря, м	30,9	39,4
Особенности рельефа	Равнинный	Равнинный
Тип леса или посадки; состав насаждения	Линейные и куртинные посадки, сырые луга 10Д	Линейные и куртинные посадки, сырые луга 10Д
Подрост, подросток (при наличии)	нет	нет
Преобладающие типы почв	Дерново-подзолистая (урбаноземы)	Дерново-подзолистая (урбаноземы)

Таблица 6

Характеристика участков исследования

Characteristics of the study sites

Виды участков	Государственный природный комплексный заказник «Дубравы у деревни Велькота»			
Номер участка	1	2	3	4
Площадь участка, га	31,9	28,1	40,1	6,6
Высота над уровнем моря, м	119,7	61,5	97,7	101,1
Особенности рельефа	Равнинный	Равнинный	Равнинный	Равнинный
Тип леса или посадки; состав насаждения	Дубняк снытевый Aegopodio- Quercetum 8Д+2Б+ОС	Дубняк снытевый Aegopodio- Quercetum 10Д+Я	Дубняк снытевый Aegopodio- Quercetum 10Д+В	Куртины и отдельные деревья 10Д
Подрост, подросток (при наличии)	Подрост ЗОС2Б2КЛ 2ЛП1Я+Д Подросток ЛЩ Ж КЛН КРС ЧР	Подрост 2Б2КЛ 2ЛП2ОС1В 1Я+Д Подросток ЛЩ Ж КЛН КРС ЧР	Подрост 2Б2В2КЛ 2ЛП2ОС+Д Подросток ЛЩ Ж КЛН КРС ЧР	Подрост 2КЛ2ЛП1Т 1Я
Преобладающие типы почв	Дерново-карбонатные оподзоленные	Дерново-карбонатные оподзоленные	Дерново-карбонатные оподзоленные	Дерново-карбонатные

Таблица 7

Характеристика участков исследования**Characteristics of the study sites**

Виды участков	Парк Дубки Сестрорецкие (Дальние)			
Номер участка	1	2	3	4
Площадь участка, га	3,5	1,6	1,0	3,3
Высота над уровнем моря, м	2,9	3,5	2,9	4,3
Особенности рельефа	Равнинный с понижением, с избыточным увлажнением	Равнинный, дренирован	Равнинный с понижением, с избыточным увлажнением, застоем воды	Равнинный с понижением, с избыточным увлажнением
Тип леса или посадки; состав насаждения	Линейные посадки, отдельные деревья 10Д	Отдельные деревья 10Д	Линейные посадки, отдельные деревья 10Д	Лесопарковые насаждения 2Б2Д2ОЛ2ОС1Е1С +ЛП+Т
Подрост, подлесок (при наличии)	нет	нет	нет	Подрост 1Б1Д1ОЛ 1ОС Подлесок Ж КЛН КРС ЧР
Преобладающие типы почв	Дерново-подзолистая (урбаноземы)	Дерново-подзолистая (урбаноземы)	Дерново-подзолистая (урбаноземы)	Дерново-подзолистая (урбаноземы)

Изучение насаждений дуба черешчатого проходило в пределах участков, как правило, ограниченных дорожно-тропиночной сетью, по методу безразмерных пробных площадей или пробных площадей по непроवेशенной ходовой линии [Тальман, Катаев, 1964; Мозолева и др., 1984]. Пробной площадью служил весь обследуемый участок, обследование начиналось от любой произвольной точки на границе участка. От этой точки происходило движение в глубину участка, по направлению к заранее выбранному ориентиру. По ходу движения детально обследовались все деревья дуба черешчатого, находящиеся в десяти метрах по обе стороны от непроवेशенной ходовой линии. Дойдя до ориентира, произвольно выбиралось направление к другому ориентиру.

Таблица 8

Характеристика участков исследования

Characteristics of the study sites

Виды участков	Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник «Парк Монрепо»				
Номер участка	1	2	3	4	5
Площадь участка, га	2,7	2,0	2,6	1,5	1,7
Высота над уровнем моря, м	0,7	3,0	3,3	0,8	8,4
Особенности рельефа	Равнинный, заболоченный	Скалистый	Возвышенный	Острова и полуостров	С повышением
Тип леса или посадки; состав насаждения	Отдельные группы деревьев 10Д	Группы деревьев по скалам и вдоль дорог 10Д	Массивы и группы деревьев по склонам 10Д	Группы деревьев 10Д	Отдельные группы деревьев 10Д
Подрост, подлесок (при наличии)	Подрост 9ОЛ1КЛ	Подрост 2Б2КЛ2ОЛ2ОС2Р	Подрост 4ИВ3КЛ3ОС	Подрост 9ОЛ1КЛ	Подлесок КЛ Р ЧР
Преобладающие типы почв	Насыпные среднемошные суглинистые и дерново-глеевые, насыпные мощные на иле	Примитивные на граните и дерново-подзолисто-супесчаные на двучлене	Примитивные на граните и слабоподзолистые песчаные	Насыпные мощные суглинистые на иле	Слабоподзолистые супесчаные на граните

Примечание: Б – Береза, БРК – Бересклет, В – Вяз, Д – Дуб, Е – Ель, Ж – Жимолость, ИВ – Ива, КЛ – Клен, КЛН – Калина, КРС – Крушина, ЛП – Липа, ЛЩ – Лещина, МЛ – Малина, ОЛ – Ольха, ОС – Осина, Р – Рябина, СМР – Смородина, С – Сосна, Т – Тополь, ЧР – Черемуха, Я – Ясень.

Диаметр дерева замеряли мерной вилкой Mantax Black Haglof арт. № 11-200-1004; размер и градуировка 800 мм; 30"; вес 750 г; материал шкалы – анодированный алюминий, безбликовый; материал рукоятки по-

ликарбонатный пластик, армированный стекловолокном; ножки складные алюминиевые и стальные; запатентована FPA и РТВ.

Высоту дерева замеряли лазерным дальномером Nikon Forestry Pro WJ 069092; измеряемое расстояние 10 – 500 м; измеряемое расстояние с отражателем до 999 м; угол $\pm 890^\circ$; увеличение 6 X; эффективный диаметр объектива 21 мм; внутренний дисплей Act (Actual Distance – реальное расстояние) точность 0,5 м (до 100 м), точность до 1 м (свыше 100 м), Hor (Horizontal Distance – горизонтальное расстояние) и Hgt (Height – высота) точность 0,2 м (до 100 м), точность до 1 м (свыше 100 м), Ang (Angle – угол) с точностью 0,10 (менее 100), с точностью 1,00 (более 100); Внешний дисплей Act (Actual Distance – реальное расстояние) с точностью 0,5 м, Hor (Horizontal Distance – горизонтальное расстояние) и Hgt (Height – высота) с точностью 0,2 м, Ang (Angle – угол) с точностью 0,10; угол по направлению вниз от горизонтальной линии: отображаемые значения «–».

Возраст дерева, наличие скрытой гнили в древесине в полевых условиях определяли при помощи приростного (возрастного) бурава Djos 350/14” мм Haglof, буровая коронка диаметром 5,15 мм, 3-резьбовая, экс-трактор.

При оценке состояния отдельных деревьев и древостоев дуба применяли визуальный подход, основанный на глазомерной оценке морфологических признаков и выделении категорий (баллов) состояния [Мозолевская и др., 1984; Кузьмичев и др., 2004], используя шкалу категорий состояния.

Нами при детальном обследовании дубовых насаждений парков и ООПТ была принята специализированная шкала категорий состояния дуба [Звягинцев и др., 2019], с дополнениями [Селочник, Каплина, 2011; Фурменкова, Кочергина, 2021]. В данной шкале (табл. 9) всем признакам придается равное значение. Признаки состояния дерева в данной шкале разделены на три группы, последовательно определяемые для каждого отдельного дерева.

Сначала оценка дается по признакам в кроне, затем – по признакам на стволе и в заключение – по внутренним признакам, при необходимости выявленным при вскрытии коры. Признаки (симптомы) ослабления дерева в кроне, на стволе и внутренние признаки равнозначны, все они должны в полной мере использоваться для оценки текущего состояния дерева. По каждой группе признаков дереву последовательно присваивается одна из 9 категорий состояния.

Таблица 9

Шкала категорий состояния деревьев дуба

Scale of English oak tree condition categories

Категория состояния деревьев, балл	Признаки ослабления	
1 – без признаков ослабления	в кроне	Крона густая, листва зеленая; прирост текущего года нормальный для возраста и условий местопроизрастания, сухие ветви единичны
	на стволе	нет
	дополнительные	нет
1,5-единичные признаки ослабления, без снижения жизнеспособности	в кроне	Крона густая, листва зеленая; прирост текущего года нормальный для возраста и условий местопроизрастания, сухие ветви внизу кроны; дефолиация до 5%
	на стволе	Единичные водяные побеги; механические повреждения до 1 дм ² ; поперечный рак до 1/3 периметра ствола
	дополнительные	нет
2 – небольшая степень ослабления	в кроне	Крона слабоажурная, листва зеленая (возможно объедание); усыхание отдельных ветвей (до 15%) в верхней и средней частях кроны; дефолиация 5–10%
	на стволе	Местные повреждения ствола и корневых лап болезнями или абиотическими факторами
	дополнительные	Локализованные деревом сухобочины под корой до 1/8 окружности; возможны однолетние базидиомы дереворазрушающих грибов
2,5 – средняя степень ослабления	в кроне	Крона слабоажурная, листва зеленая (возможно объедание); усыхание отдельных ветвей (до 25%) в верхней и средней частях кроны, прирост уменьшен по сравнению с нормальным; дефолиация 10–30%
	на стволе	Местные повреждения ствола и корневых лап болезнями или абиотическими факторами
	дополнительные	Локализованные деревом сухобочины под корой до 1/8 окружности; попытки поселения попытки ксилофагов; повреждение отдельных корневых лап опенком; возможны базидиомы дереворазрушающих грибов

Продолжение табл. 9

Категория состояния деревьев, балл	Признаки ослабления	
3 – сильная степень ослабления	в кроне	Крона сильноажурная, листва мельче обычной или преждевременно опадает; усыхает в верхней и средней частях кроны 26–30% ветвей (в возрасте до 80 лет) или 26–40% (в возрасте 80 лет и более), прирост слабый; дефолиация 30–40%
	на стволе	Повреждение корневых лап и ствола (гнилевое, механическое, огневое и т. п.) на 26–30% окружности (до 80 лет) или 26–40% (80 лет и старше); сокоотечение на стволе и ветвях; обильные водяные побеги; на стволе раковые опухоли от поперечного рака закрытого типа
	дополнительные	Распространение под корой внутренней сухобочины; возможны локальные поселения ксилофагов до 1/4 окружности ствола; повреждения бактериальной водянойкой или опенком ствола на 1/4 окружности, или 1/4 от количества корневых лап; возможны многолетние базидиомы дереворазрушающих грибов
3,5 – очень сильная степень ослабления	в кроне	Усыхание ветвей в верхней и средней частях кроны 31–50% (до 80 лет) или 41–60% (80 лет и старше), суховершинность; дефолиация 40–60%.
	на стволе	Повреждение корневых лап и ствола (гнилевое, механическое, огневое и т. п.) на 31–50% окружности (до 80 лет) или 41–60% (80 лет и старше)
	дополнительные	Распространение под корой внутренней сухобочины; успешное поселение стволовых вредителей, повреждение бактериальной водянойкой или опенком ствола на 1/4–1/2 окружности или 1/4–1/2 от количества корневых лап; базидиомы дереворазрушающих грибов
4 – усыхающие	в кроне	Усыхание ветвей в верхней и средней частях кроны более 50% (до 80 лет) или более 60% (80 лет и более); листва преждевременно опадает, желтеет или усыхает; дерево существует за счет вторичной кроны (водяных побегов); дефолиация более 1/2 кроны (60–80%)
	на стволе	Повреждено более 50% (до 80 лет) или более 60% (80 лет и старше) окружности ствола или корневых лап; признаки грибного поражения луба и заболони; сокоотечение; сухобочины, заселенные или с выходными отверстиями ксилофагов; усыхающие водяные побеги

Категория состояния деревьев, балл	Признаки ослабления	
4 – усыхающие	дополнительные	Заселение стволовыми вредителями более 1/2 окружности ствола или продолжение освоения ксилофагами от сухобочины или прошлогоднего поселения; освоение опенком или бактериальной водянкой более 1/2 окружности ствола с отмиранием луба; базидиомы дереворазрушающих грибов
5 – сухостой текущего года	в кроне	Листва отсутствует или усохла; возможно частичное опадение ветвей; могут сохраняться отдельные живые водяные побеги
	на стволе	Мицелиальные пленки и ризоморфы опенка; заселение или выходные отверстия ксилофагов по всему стволу; возможно частичное опадение коры; базидиомы дереворазрушающих грибов
	дополнительные	Под корой – следы массового развития ксилофагов; поражение луба и заболони грибной и бактериальной инфекцией
6 – сухостой прошлых лет	в кроне	Листвы нет, часть ветвей опала
	на стволе	Заболонь и луб разрушаются или разрушены; кора отслоилась от древесины либо опала
	дополнительные	Заболонь и луб разрушаются или разрушены; кора отслоилась от древесины либо опала

Пораженность кроны ключевыми грибными агентами усыхания учитывалась по следующим шкалам:

– пораженность кроны *Colpoma quercinum*: 1 балл – нижняя часть кроны, поражено 5–10% кроны; 2 балла – нижняя и частично средняя часть кроны, поражено 10–25% кроны; 3 балла – средняя и частично верхняя часть кроны, поражено 25–40% кроны; 4 балла – преимущественно верхняя часть кроны, поражено 40–60% кроны; 5 баллов – поражено 60–80% кроны; 6 баллов – поражено более 80% кроны.

– пораженность кроны *Vuilleminia comedens*: 1 балл – нижняя часть кроны, поражено 5–10% кроны; 2 балла – нижняя и частично средняя часть кроны, поражено 10–15% кроны; 3 балла – средняя и частично верхняя часть кроны, поражено 15–20% кроны; 4 балла – преимущественно верхняя часть кроны, поражено 20–40 % кроны; 5 балла – поражено 40–60% кроны; 6 баллов – поражено 60–80% кроны.

Пораженность листы *Erysiphe alphitoides* учитывалась по шкале: 1 балл – поражено 5–10% листы; 2 балла – поражено до 25% листы; 3 балла – поражено до 40% листы; 4 балла – поражено до 55% листы; 5 баллов – поражено $\geq 75\%$ листы.

Наличие базидиом / раковых образований учитывалось как: 1 – *Laetiporus sulphureus*; 2 – *Fomitiporia robusta*; 3 – *Daedalea quercina*; 4 – ступенчатый рак, возбудитель *Neonectria ditissima* (= *Nectria galligena*); 5 – поперечный надломовидный рак, возбудитель бактерия *Pseudomonas quercina*; 6 – *Inonotus dryophilus*; 7 – *Armillaria lutea*.

Наличие дупел (пораженность гнилями) учитывалось как: 1 – дупла по всей длине ствола, в т. ч. сквозные; гниющие сучья – ствольные гнили; 2 – дупла в комлевой части ствола; до 2 м по высоте ствола – комлевые гнили; 3 – некроз коры ствола – гниль корней.

Дополнительно учитывались следующие внешние патологии деревьев дуба: 1 – крупные морозные трещины; 2 – сухобокость; 3 – прорость; 4 – обдир, ошмыг; 5 – наклон (кривизна) ствола; 6 – толстые скелетные ветви; 7 – облом вершины; 8 – облом скелетных ветвей; 9 – усыхание вершины; 10 – усыхание скелетных ветвей; 11 – изреженная (очень маленькая) крона; 12 – многочисленные водяные побеги; 13 – наплывы, каповые наросты.

Полученные результаты обрабатывали при помощи табличного процессора MS Excel, пакета прикладных программ STATISTICA 11.0 [Боровиков, 2001] и разработанной на языке Python программы для автоматизации анализа, использующей библиотеки Pandas [McKinney, 2010], SciPy [Virtanen et al., 2020], Sklearn [Pedregosa et al., 2011], Numpy [Harris, 2020], Matplotlib [Hunter et al., 2007], Seaborn [Waskom, 2021].

В качестве статистических методов применяли непараметрические тесты, так как выборки из переменных принадлежат к интервальной шкале (ранги) и не подчиняются нормальному распределению [Chang, 2003; Мاستицкий, Шитиков, 2014; Баврина, 2021].

Для корректного применения непараметрических тестов значения диаметров были приведены к рангам. Ранг (по диаметру ствола на выс. 1,3 м): 1 – до 10 см; 2 – 12–20 см; 3 – 22–30 см; 4 – 32–40 см; 5 – 42–50 см; 6 – 52–60 см; 7 – 62–70 см; 8 – 72–80 см; 9 – 82–90 см; 10 – 92–100 см; 11 – 102–110 см; 12 – 112–120 см; 13 – 122–130 см; 14 – 132–140 см; 15 – 142–150 см; 16 – 152–160 см; 17 – 162–170 см; 18 – 172–180 см; 19 – 182–190 см; 20 – 192–200 см; 21 – 202–210 см; 22 – 212–220 см; 23 – 222–230 см; 24 – 232–240 см; 25 – 242–250 см.

Сравнение групп выполняли при помощи непараметрического дисперсионного анализа или критерия Краскела–Уоллиса (англ. Kruskal-Wallis

ANOVA by ranks или Kruskal-Wallis rank sum test). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$ [Любищев, 1986; Унгуриану, Гржибовский, 2014].

Исследование взаимосвязи между двумя переменными выполняли при помощи корреляционного анализа с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена. Уровень значимости коэффициента корреляции принимается $p \leq 0,05$ [Баврина, 2021].

Для отображения парной корреляции всех переменных полученный набор данных из всех возможных коэффициентов корреляции представили в виде матрицы корреляций и ее визуализации в виде тепловой карты корреляций.

Для рассмотрения взаимосвязи влияния объясняющей независимой переменной на объясняемую зависимую переменную было проведено статистическое моделирование (англ. statistical learning) уравнения парной линейной регрессии [Мастицкий, Шитиков, 2014].

Результаты и обсуждение. Для оценки вклада различных патологий в категорию состояния деревьев дуба черешчатого был проведен комплексный анализ в насаждениях, сформированных в различных условиях произрастания, что позволяет выявить как сходство, так и различие в фитопатологическом состоянии дуба черешчатого в регионах исследования, выявить общие закономерности формирования ксилосапротрофного миксокомплекса дуба черешчатого в ценооптимуме и на северной границе его распространения.

При оценке категории фитопатологического состояния деревьев на всех опытных объектах (пробных площадях) было выявлено, что наибольший вклад в умеренное поражение побеговой системы дуба черешчатого вносится тремя показателями – поражение ветвей некротрофом *Colpota quercinum* (колпома дубовая), поражение ветвей вызывающим некрозы сапротрофом *Vuilleminia comedens* (вийемения разъедающая), поражение листьев биотрофом *Erysiphe alphitoides* (мучнистая роса дуба).

В результате корреляционного анализа массива данных, полученных при проведении фитопатологического исследования насаждений дуба черешчатого, сформированных в различных условиях произрастания, составлена корреляционная матрица (рис. 2). Коэффициенты корреляции в матрице представлены, в том числе в виде цветов для визуальной демонстрации корреляции факторов в массиве данных друг с другом; в результате матрица имеет вид тепловой карты, что позволяет быстро оценить взаимосвязи внутри массива данных.

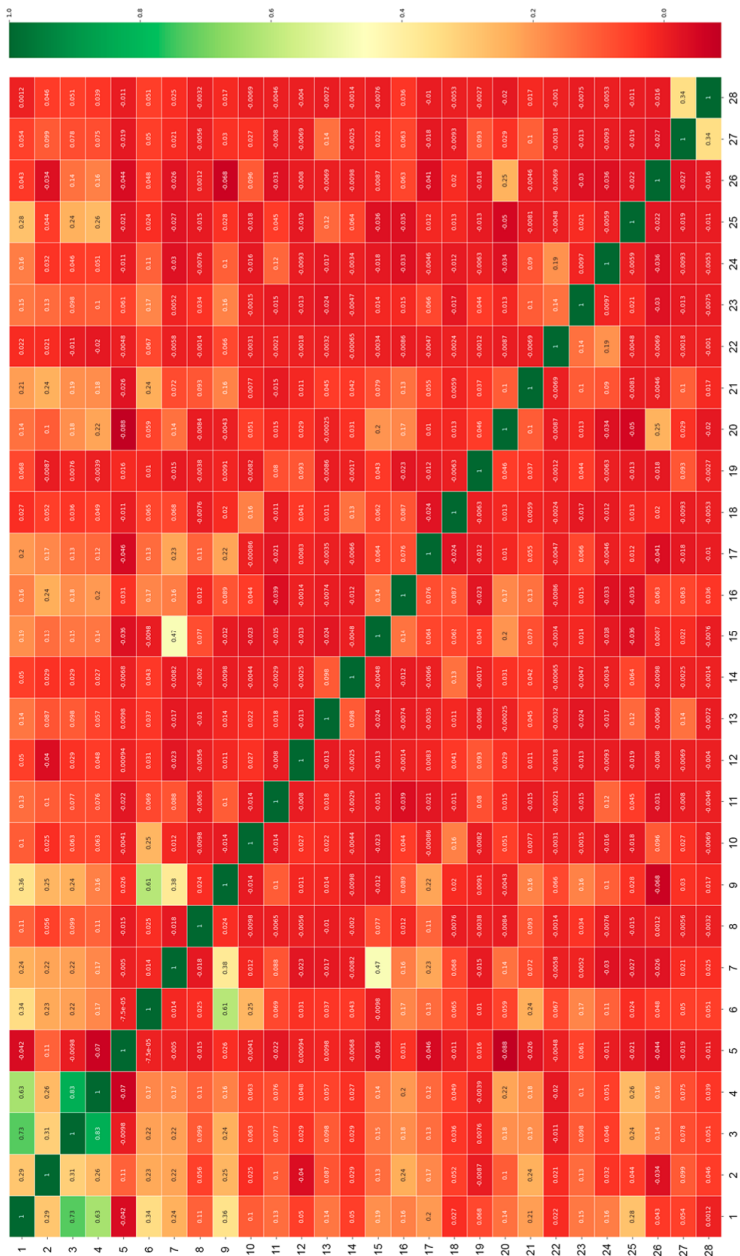


Рис. 2. Корреляции между основными параметрами древостоев дуба черешчатого, по данным, полученным на субширотно-субмеридиональной трансекте «Тула – Выборг»
 1 – категория состояния, балл; 2 – ранг по диаметру ствола; 3 – пораженность кроны *Colpota quercinum*, балл; 4 – пораженность кроны *Vuilleminia comedens*, балл; 5 – пораженность листвы *Erysiphe alphitoides* (Мучнистая роса), балл; 6 – стволовая гниль; 7 – комлевая гниль; 8 – корневая гниль; 9 – базидиомы *Laetiporus sulphureus* (Серно-желтый трутовик); 10 – базидиомы *Fomitiporia robusta* (ложный дубовый трутовик); 11 – базидиомы *Daedalea quercina* (дубовая губка); 12 – ступенчатый рак (возб. *Neonectria ditissima* (= *Nectria galligena*); 13 – поперечный надломовидный рак (возб. *Pseudomonas quercina*); 14 – базидиомы *Inonotus dryophilus* (Дубовый (Дуболюбивый) трутовик); 15 – базидиомы *Armillaria lutea* (Опенок желтый); 16 – крупные морозные трещины; 17 – сухобокость; 18 – пророст; 19 – обдир, ошмыг; 20 – наклон (кривизна) ствола; 21 – толстые скелетные ветви; 22 – облом вершины; 23 – облом скелетных ветвей; 24 – усыхание вершины; 25 – усыхание скелетных ветвей; 26 – изреженная (очень маленькая) крона; 27 – многочисленные водяные побеги; 28 – наплывы, каповые наросты

Fig. 2. Correlations between the main parameters of stands of English oak, according to the data obtained on the sublatitudinal-submeridional transect «Tula – Vybory»

1 – condition category, score; 2 – rank by trunk diameter; 3 – crown infestation with *Colpota quercinum*, score; 4 – crown infestation with *Vuilleminia comedens*, score; 5 – powdery mildew infestation with *Erysiphe alphitoides*, score; 6 – stem rot; 7 – butt rot; 8 – root rot; 9 – basidiomes of *Laetiporus sulphureus* (sulfur-yellow tinder fungus); 10 – basidiomes of *Fomitiporia robusta* (false oak tinder fungus); 11 – basidiomes of *Daedalea quercina* (oak sponge); 12 – step cancer (causal agent *Neonectria ditissima* = *N. galligena*); 13 – transverse fracture cancer (causal agent *Pseudomonas quercina*); 14 – basidiomes of *Inonotus dryophilus* (oak-loving tinder fungus); 15 – basidiomes of *Armillaria lutea* (yellow honey fungus); 16 – large frost cracks; 17 – dryness; 18 – sprouting; 19 – stripping, scaly; 20 – tilt (curvature) of trunk; 21 – thick skeletal branches; 22 – broken top; 23 – broken skeletal branches; 24 – drying out of top; 25 – drying out of skeletal branches; 26 – sparse (very small) crown; 27 – numerous water shoots; 28 – burls, burl growths

Корреляционная матрица (рис. 2) показала наибольшую связь между категорией состояния и поражением терминальных ветвей кроны дуба черешчатого *Colpota quercinum* на статистически достоверном уровне $R_s = 0,73$. Несколько меньшая связь с категорией состояния деревьев дуба наблюдается с поражением кроны *Vuilleminia comedens* – $R_s = 0,63$. Значимая корреляция категории состояния наблюдается с наличием плодовых тел *Laetiporus sulphureus* на стволах деревьев дуба – $R_s = 0,36$. Статистически значимая, но менее значительная корреляция наблюдается со стволовыми гнилями – $R_s = 0,24$ и $0,34$. Также наблюдается значимая связь усыхания скелетных ветвей с категорией состояния деревьев дуба черешчатого – $R_s = 0,28$. Слабая, но значимая связь внешних патологий – сухобокости и толстых скелетных ветвей с категорией состояния деревьев дуба практически одинакова и составляет $R_s = 0,20$ и $0,21$ соответственно. С остальными учтенными поражениями корреляция или очень слабая, или отсутствует.

Взаимосвязь с поражениями и категорией состояния с диаметром на высоте 1,3 м у деревьев дуба имеет меньшие по величине корреляции. Категория состояния деревьев дуба значимо коррелирует с диаметром последних, и составляет $R_s = 0,29$. Для поражений ветвей некротрофом *Colpota quercinum* и ветвей вызывающим некрозы сапротрофом *Vuilleminia comedens*, которые наиболее коррелируют с категорией состояния насаждения дуба, для рангов диаметров деревьев выявлены значимые, но более низкие коэффициенты корреляции – $R_s = 0,31$ и $0,26$ соответственно. Со стволовыми и комлевыми гнилями выявлена также значимая связь с показателями диаметра деревьев дуба – $R_s = 0,23$ и $0,22$ соответственно. Также показатель диаметра дерева коррелирует с наличием плодовых тел *Laetiporus sulphureus*, $R_s = 0,25$. Патологии стволов – крупные морозные трещины и

толстые скелетные ветви имеют одинаковый статистически значимый коэффициент корреляции $R_s = 0,24$, аналогичный со стволовыми гнилями, как и в случае с категорией состояния деревьев, причем наличие толстых скелетных ветвей имеет более высокий коэффициент корреляции с диаметрами деревьев, чем в случае с категорией состояния деревьев. Остальные поражения имеют слабую связь с показателем диаметра ствола дерева дуба.

Значимая корреляция категории состояния с рангом по диаметру ствола ($R_s = 0,29$) объясняется конституциональным различием «эвтрофных» и «олиготрофных» экад дуба черешчатого и большей устойчивостью к стрессорным воздействиям эвтрофных экад.

Значимая корреляция некроза кроны с рангом по диаметру ствола ($R_s = 0,31$) объясняется конституциональным различием «эвтрофных» и «олиготрофных» экад дуба черешчатого и большей устойчивостью к стрессорным воздействиям эвтрофных экад. Этим же объясняется выраженная связь поражения *Vuilleminia comedens* с рангом по диаметру ствола ($R_s = 0,26$).

Высокозначимая корреляция некроза кроны (возбудитель – некротроф *Colpoma quercinum*) с категорией состояния ($R_s = 0,73$) связана с тем, что некроз кроны выступает ключевым индикатором при оценке состояния дерева. Вторым индикатором некроза кроны является поражение крупных ветвей *Vuilleminia comedens* – корреляция между наличием некроза кроны и плодовых тел *V. comedens* составляет $R_s = 0,83$.

Значимая корреляция между наличием плодовых тел *Laetiporus sulphureus* и такими характеристиками как категория состояния, ранг по диаметру, некроз кроны – $R_s = 0,36$; $R_s = 0,25$; $R_s = 0,24$ соответственно: в первом случае наличие базидиом свидетельствует о поражении ядра и является одним из индикаторов состояния дерева, во втором случае – о более выраженном иммунном ответе (гипертрофия и гиперплазия каллусной ткани, интенсивное застание раковых язв) крупных деревьев с более интенсивным флözмным трафиком, а в третьем случае прогрессирующий некроз кроны можно также рассматривать как индикатор снижения фитоиммунитета.

Сравнительный анализ категорий состояния деревьев дуба черешчатого в насаждениях, сформированных в разных условиях произрастания (рис. 3) показывает, что на всем протяжении субширотно-субмеридиональной трансекты «Тула – Выборг» деревья дуба черешчатого, образующие сомкнутые и слабо сомкнутые насаждения, характеризуются хорошим фитосанитарным состоянием.

Выявлено значимое различие по категориям состояния насаждений дуба черешчатого в парке Монрепо – за период между первым и вторым фитопатологическими обследованиями отмечается явное ухудшение категорий состояния древостоя, что, вероятно, связано с ухудшением почвенно-гидрологических условий местопроизрастания и, соответственно, снижением устойчивости деревьев дуба к поражениям.

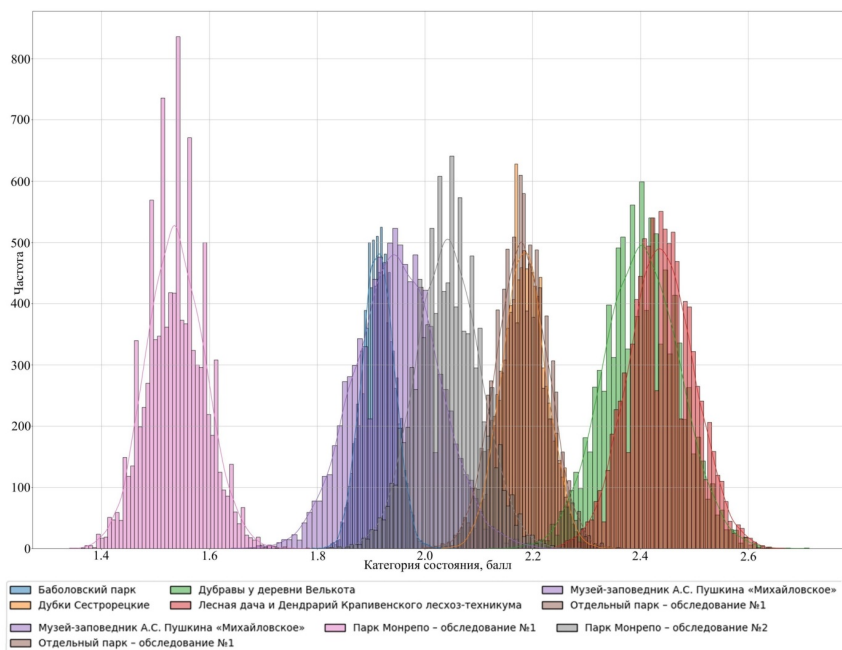


Рис. 3. Категории состояния деревьев дуба черешчатого в насаждениях, сформированных в разных условиях произрастания

Fig. 3. State categories of oak trees in stands formed under different growing conditions

Во всех реперных точках трансекты распределение деревьев дуба черешчатого по категориям состояния приближается к нормальному. Обращает на себя внимание, что различия между состоянием дуба черешчатого в его оптимум-ареале (неморальные поймы и плакоры на границе широколиственнолесной и подтаежной зон) и на северном пределе распространения не столь разительны. Это связано с тем, что дуб черешчатый является давним спутником человека, а антропогенное освоение таежной зоны сопровождается гидролесомелиорацией, сведением леса, раскислением почвы и наработкой дернины – все три направления антропогенных преобразований таежных ландшафтов способствовали продвижению дубовых насаждений на север – вплоть до подзоны средней тайги.

Сравнительный анализ рангов по диаметру деревьев дуба в насаждениях, сформированных в разных условиях произрастания (рис. 4), показывает наличие двух размерных групп – до 50 см в диаметре (с тремя частотными подгруппами) и более 50 см в диаметре (с двумя частотными подгруппами).

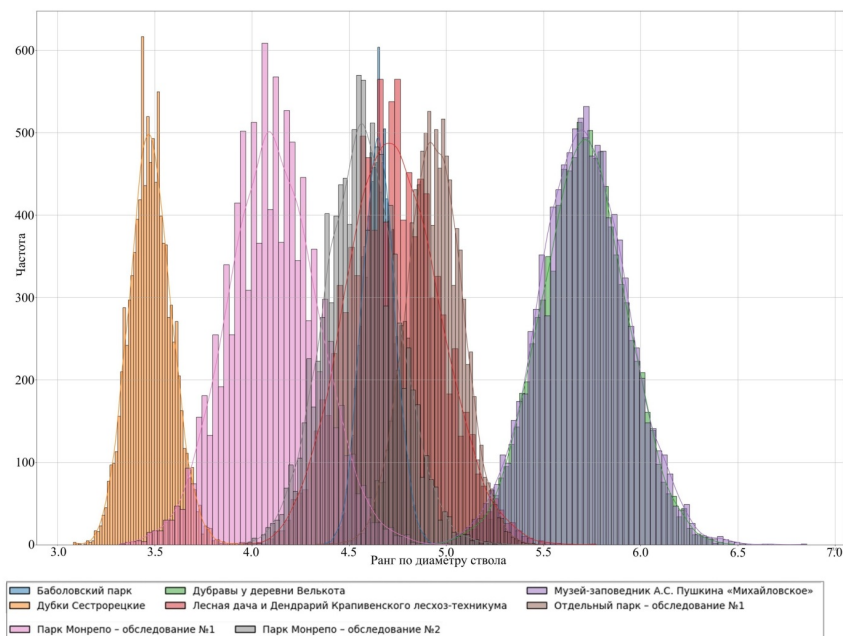


Рис. 4. Ранги по диаметру деревьев дуба черешчатого в насаждениях, сформированных в разных условиях произрастания

Fig. 4. Ranks by diameter of oak trees in stands formed under different growing conditions

Различие деревьев по диаметру связаны с почвенно-гидрологическими условиями занимаемых деревьями микросайтов сообщества.

Согласно Е.Н. Синской [1961], отклонение растения от «усредненного» габитуса по одному признаку, представляющему ответ на локальные условия гетерогенной среды, именуется экадой. Крупномерные деревья дуба черешчатого, связанные с более богатой и дренированной почвой, можно назвать «эвтрофной» экадой, в то время как мелкомерные деревья, связанные изначально с более бедной и обводненной почвой – «олиготрофной» экадой.

Как показали наши исследования, «эвтрофные» экады дуба черешчатого более устойчивы к поражению стволов и кроны и наиболее перспективны в парковом строительстве.

Проведенные исследования фитопатологического состояния деревьев дуба черешчатого в насаждениях, сформированных в различных условиях произрастания, показали, что в зависимости от размерной категории деревьев дуба наблюдается, в большинстве случаев, явное статистически значимое

различие как по категории состояния, так и по основным поражениям, с которыми коррелирует диаметр дерева (рис. 3, 4). Для определения статистически значимого вклада поражений в жизненное состояние деревьев дуба возникает необходимость разработки уравнений зависимости, моделирование уравнений регрессии для определения влияния фитопатогенных факторов на дуб черешчатый в ценооптимуме и на северной границе его распространения.

Для моделирования зависимости категории состояния от комплекса патологий нами было разработано регрессионное уравнение вида:

$$Y = X_1 + \dots X_n + \text{const},$$

где Y – балл состояния; X – показатели поражения деревьев, коэффициенты для уравнения приведены ниже:

«Категория состояния, балл» = +0,885 + 0,437672 * «Пораженность кроны *Colpoma quercinum*, балл» + 0,044722 * «Пораженность кроны *Vuilleminia comedens*, балл» – 0,059085 * «Пораженность листвы *Erysiphe alphitoides* (Мучнистая роса), балл» + 0,259560 * «Стволовая гниль» + 0,119225 * «Комлевая гниль» + 0,438082 * «Корневая гниль» + 0,275299 * «Базидиомы *Laetiporus sulphureus* (Серно-желтый трутовик)» + 0,275686 * «Базидиомы *Fomitiporia robusta* (Ложный дубовый трутовик)» + 0,411373 * «Базидиомы *Daedalea quercina* (Дубовая губка)» + 0,325673 * «Ступенчатый рак (возб. *Neonectria ditissima* (= *Nectria galligena*))» + 0,387658 * «Поперечный надломовидный рак (возб. *Pseudomonas quercina*)» + 0,529913 * «Базидиомы *Inonotus dryophilus* (Трутовик дубовый (дуболюбивый))» + 0,332368 * «Базидиомы *Armillaria lutea* (Опенек желтый)» + 0,033338 * «Крупные морозные трещины» + 0,263404 * «Сухобокость» – 0,186967 * «Прорость» + 0,342125 * «Обдир, ошмыг» – 0,025774 * «Наклон (кривизна) ствола» + 0,053927 * «Толстые скелетные ветви» – 0,309575 * «Облом вершины» + 0,225180 * «Облом скелетных ветвей» + 0,744246 * «Усыхание вершины» + 0,349285 * «Усыхание скелетных ветвей» – 0,093958 * «Изреженная (очень маленькая) крона» – 0,283420 * «Многочисленные водяные побеги» – 0,665445 * «Наплывы, каповые наросты»

Аналогично было смоделировано уравнение зависимости для диаметра на высоте 1,3 м, где коэффициенты для уравнения:

«Ранг по диаметру ствола» = +3,155 + 0,441307 * «Пораженность кроны *Colpoma quercinum*, балл» – 0,016885 * «Пораженность кроны *Vuilleminia comedens*, балл» + 0,566713 * «Пораженность листвы *Erysiphe alphitoides* (Мучнистая роса), балл» + 0,530271 * «Стволовая гниль» + 0,725010 * «Комлевая гниль» + 0,744334 * «Корневая гниль» + 0,456024 * «Базидиомы *Laetiporus sulphureus* (Серно-желтый трутовик)» – 0,309513 * «Базидиомы *Fomitiporia robusta* (Ложный дубовый трутовик)» + 1,765528 * «Базидиомы *Daedalea quercina* (Дубовая губка)» – 1,869770 * «Ступенчатый рак (возб.

Neonectria ditissima (= *Nectria galligena*)» +0,617657 * «Поперечный надломовидный рак (возб. *Pseudomonas quercina*)» +0,826778 * «Базидиомы *Inonotus dryophilus* (Трутовик дубовый (дуболюбивый))» +0,483667 * «Базидиомы *Armillaria lutea* (Опенок желтый))» +0,822550 * «Крупные морозные трещины» +1,238852 * «Сухобокость» +0,565695 * «Прорость» –1,412932 * «Обдир, ошмыг» +0,271431 * «Наклон (кривизна) ствола» +1,043601 * «Толстые скелетные ветви» +0,839505 * «Облом вершины» +0,963885 * «Облом скелетных ветвей» +0,189265 * «Усыхание вершины» +0,019306 * «Усыхание скелетных ветвей» –0,410440 * «Изреженная (очень маленькая) крона» +1,622246 * «Многочисленные водяные побеги» –1,469534 * «Наплывы, каповые наросты»

Метрики полученных уравнений приведены в табл. 10.

Таблица 10

Метрики уравнений линейной регрессии

Metrics of linear regression equations

Метрика	Уравнение категории состояния, балл	Уравнение ранга по диаметру ствола
Зависимая переменная / Dependent variable		
Коэффициент детерминации / Coefficient of determination / R^2	0,686	0,152
Средняя ошибка смещения / Mean Bias Error / (MBE)	0,050	–0,037
Средняя абсолютная ошибка / Mean Absolute Error / (MAE)	0,366	1,736
Среднеквадратическая ошибка / Mean Squared Error / (MSE)	0,217	4,714
Корень средней квадратичной ошибки / Root Mean Squared Error / (RMSE)	0,466	2,171
Средняя абсолютная процентная ошибка / Mean Absolute Percentage Error / (MAPE)	0,204	0,518
Симметричная средняя абсолютная процентная ошибка / Symmetric Mean Absolute Percentage Error / (SMAPE)	18,643	39,108
Средняя логарифмическая ошибка / Mean Squared Log Error / (MSLE)	0,023	0,160
Среднеквадратичная логарифмическая ошибка / Root mean squared log error / (RMSLE)	0,151	0,400
Константа уравнения линейной регрессии / Constant	0,890	3,155

Выводы:

1. Вне процесса развития эпифитотий и в равновесии с эколого-ценотической обстановкой побеговая система дуба черешчатого взаимодействует с пулом ксилосапротрофных грибов, что приводит к изменениям в ее архитектуре.

2. Ключевыми видами, определяющими облик побеговой системы поздних генеративных и субсенильных особей дуба черешчатого являются *Colpota quercinum* и *Vuilleminia comedens*, способствующие изреживанию кроны, *Daedalea quercina*, *Laetiporus sulphureus* и *Fomitiporia robusta*, вызывающие стволовые гнили и в благоприятных для дерева условиях локализуемые в ядровой области, а также *Armillaria lutea*, поражающая преимущественно комлевую область дерева.

3. Адаптивный потенциал деревьев дуба черешчатого определяется локальными почвенно-гидрологическими условиями. Выделяются «эвтрофная» и «олиготрофная» экады дуба черешчатого, характеризующиеся диаметром ствола (на выс. 1,3 м) более и менее 50 см соответственно. Проведенные исследования подтверждают большую устойчивость деревьев «эвтрофной экады» к прогрессирующему отмиранию кроны и ухудшению состояния: высокая корреляция некроза кроны с рангом по диаметру ствола объясняется конституциональным различием «эвтрофных» и «олиготрофных» экад дуба черешчатого и большей устойчивостью к стрессорным воздействиям эвтрофных экад.

4. На лесостепном/широколиственнолесном участке трансекты деревьев дуба слабо дифференцированы на две экады и в целом угнетены липовыми древостоями.

5. На подтаежном участке трансекты наблюдается пестрая картина дифференциации деревьев дуба по фитопатологическому состоянию, причем «эвтрофные» экады демонстрируют низкий балл фитосанитарного состояния.

6. На южнотаежном участке трансекты непрерывный поток поколений дуба черешчатого связан с антропогенно-преобразованной растительностью. Основная задача паркового строительства севернее естественного ареала *Quercus robur* – поддержание дренажной системы и отбор «эвтрофных» экад дуба черешчатого.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Баврина А.П. Современные правила применения параметрических и непараметрических критериев в статистическом анализе медико-биологических данных // Медицинский альманах. 2021. № 1 (66). С. 64–73.

Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2001. 650 с.

Звягинцев В.Б., Блинцов А.И., Козел А.В., Кухта В.Н., Сазонов А.А., Середич М.О., Хвасько А.В. Защита леса. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.

Катаев О.А., Тальман П.Н., Методы лесозащитного обследования. Л.: ЛТА, 1964. 120 с.

Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г. Болезни древесных растений. Справочник. Т. 1. М.: ВНИИЛМ, 2004. 120 с.

Любищев А.А. Дисперсионный анализ в биологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 200 с.

Мастыцкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. Электронная книга 2014. URL: <http://r-analytics.blogspot.com>

Мозолевская Е.Г., Катаев О.А., Семенова И.Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 152 с.

Национальный атлас России / сост. и подгот. к изданию ПКО «Картография» / под общ. рук. М-ва транспорта Российской Федерации и Роскартографии; отв. ред. Г.Ф. Кравченко; предс. редколл. А.В. Бородко. Т. 2: Природа. Экология. Калининград, 2007. С. 370–371.

Недолужко В.А. Конспект дендрофлоры российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1995. 208 с.

Селочник Н.Н., Каплина Н.Ф. Оценка состояния дубрав с учетом развития крон деревьев в неблагоприятных условиях: антропогенных (Московский регион) и климатических (лесостепь) // Вестник Моск. гос. ун-та леса. Лесн. вестник. 2011. № 4 (80). С. 103–108.

Синская Е.Н. Учение о виде и таксонах (конспект лекций). Л.: ВИР, 1961. 46 с.

Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела-Уоллиса в программе STATA // Экология человека. 2014. № 6. С. 55–58.

Фирсов Г.А., Ярмишко В.Т., Змитрович И.В., Бондарцева М.А., Волобуев С.В., Дудка В.А. Морозобоины и патогенные ксилотрофные грибы в парке-дендрарии Ботанического сада Петра Великого. СПб.: Ладога, 2021. 304 с.

Фурменкова Е.С., Кочергина М.В. Методы диагностики состояния древесных растений по внешним патологическим признакам // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2021. № 4(65). С. 164–171.

Шиляникова А.Б., Змитрович И.В., Зарудная Г.И., Перелыгин В.В., Жариков М.В. Результаты микологического обследования побеговой системы «Ириновского дуба» (Ленинградская область, Россия) // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 6. С. 456–461. DOI: 10.31857/S0026364823060120

Chang Y.H. Biostatistics 101: Data presentation // Singapore Medical Journal. 2003. No. 6. P. 280–285.

Grimshaw J., Bayton R. New trees: Recent introductions to cultivation // The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew and The International Dendrology Society, 2009. 976 p.

Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy // *Nature*. 2020. 585. P. 357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.

Hunter J.D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment // *Computing in Science & Engineering*. 2007. Vol. 9, no. 3. P. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55

McKinney W. Data structures for statistical computing in Python // *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. 2010. Vol. 445. P. 56–61. DOI: 10.25080/Majora-92bf1922-00a

Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion B., Grisel O. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830.

Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E., Haberland M. et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python // *Nature Methods*. 2020. No. 17(3). P. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2

Waskom M.L. Seaborn: statistical data visualization // *Journal of Open Source Software*. 2021. 6(60). 3021. DOI: 10.21105/joss.03021.

References

Bavrina A.P. Modern rules for the use of parametric and nonparametric tools in the statistical analysis of biomedical data. *Medicinskij al'manah*, 2021, no. 1 (66), pp. 64–73. (In Russ.)

Borovikov V.P. STATISTICA: the art of analysing data on a computer. SPb.: Piter, 2001. 650 p. (In Russ.)

Chang Y.H. Biostatistics 101: Data presentation. *Singapore Medical Journal*, 2003, no. 6, pp. 280–285. (In Russ.)

Firsov G.A., Yarmishko V.T., Zmitrovich I.V., Bondarceva M.A., Volobuev S.V., Dudka V.A. Morozoboiny i patogennye ksilotrofnye griby v parke-dendrarii Botanicheskogo sada Petra Velikogo. SPb.: Ladoga, 2021. 304 p. (In Russ.)

Furmenkova E.S., Kochergina M.V. Metody diagnostiki sostoyaniya drevesnyh rastenij po vneshnim patologicheskim priznakam. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii imeni V.R. Filippova*, 2021, no. 4(65), pp. 164–171. (In Russ.)

Grimshaw J., Bayton R. New trees: Recent introductions to cultivation. *The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew and The International Dendrology Society*, 2009. 976 p.

Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy. *Nature*, 2020, 585, pp. 357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.

Hunter J.D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 2007, vol. 9, no. 3, pp. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55

Kataev O.A., Tal'man P.N. Metody lesoentomologicheskogo obsledovaniya. L.: LTA, 1964. 120 p. (In Russ.)

Kuz'michev E.P., Sokolova E.S., Mozolevskaya E.G. Bolezni drevesnyh rastenij. Spravochnik. T. 1. M.: VNIILM, 2004. 120 p. (In Russ.)

Lyubishchev A.A. Dispersionnyj analiz v biologii. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. 200 p. (In Russ.)

Mastickij S.E., Shitikov V.K. Statisticheskij analiz i vizualizaciya dannyh s pomoshch'yu R. Elektronnaya kniga 2014. URL: <http://r-analytics.blogspot.com>

McKinney W. Data structures for statistical computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 2010, vol. 445, pp. 56–61. DOI: 10.25080/Majora-92bfl922-00a

Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Semenkova I.G. Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovyh vreditel'ej i boleznej lesa. M.: Lesn. prom-st', 1984. 152 p. (In Russ.)

Nacional'nyj atlas Rossii / sost. i podgot. k izdaniyu PKO «Kartografiya» pod obshch. ruk. M-va transporta Rossijskoj Federacii i Roskartografii; otv. red. G.F. Kravchenko; preds. redkoll. A.V. Borodko. Vol. 2: Priroda. Ekologiya. Kaliningrad, 2007, pp. 370–371. (In Russ.)

Nedoluzhko V.A. Konspekt dendroflory rossijskogo Dal'nego Vostoka. Vladivostok: Dal'nauka, 1995. 208 p. (In Russ.)

Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion B., Grisel O. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 2011, vol. 12, pp. 2825–2830.

Selochnik N.N., Kaplina N.F. Ocenka sostoyaniya dubrav s uchetom razvitiya kron derev'ev v neblagopriyatnyh usloviyah: antropogennyh (Moskovskij region) i klimaticheskikh (lesostep'). *Vestnik Mosk. gos. un-ta lesa. Lesn. vestnik*, 2011, no. 4 (80), pp. 103–108. (In Russ.)

Shishlyannikova A.B., Zmitrovich I.V., Zarudnaya G.I., Pereygin V.V., Zharikov M.V. Results of the mycological investigation of the shoot system of «Irinovsky oak» tree (Leningrad Region, Russia). *Mycology and phytopathology*, 2023, vol. 57, no. 6, pp. 456–461. DOI: 10.31857/S0026364823060120. (In Russ.)

Sinskaya E.N. Uchenie o vide i taksonah (konspekt lekciy). L.: VIR, 1961. 46 p. (In Russ.)

Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E., Haberland M. et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. *Nature Methods*, 2020, no. 17(3), pp. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2

Unguryanu T.N., Grzhibovskij A.M. Sravnenie trekh i bolee nezavisimyh grupp s ispol'zovaniem neparametricheskogo kriteriya Kraskela-Uollisa v programme STATA. *Ekologiya cheloveka*, 2014, no. 6, pp. 55–58. (In Russ.)

Waskom M.L. Seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 2021, 6(60), 3021. DOI: 10.21105/joss.03021.

Zvyaginets V.B., Blincov A.I., Kozel A.V., Kuhta V.N., Sazonov A.A., Seredich M.O., Hvas'ko A.V. Zashchita lesa. Minsk: BG TU, 2019. 164 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 01.08.2024

Шишлянникова А.Б., Данилов Д.А., Змитрович И.В., Бачериков И.В. Фитопатологическая характеристика дуба черешчатого в различных условиях произрастания // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 116–143. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.116-143

Цель настоящей работы – оценка влияния некротрофных и сапротрофных видов грибов на жизненное состояние деревьев дуба черешчатого в оптимум-ареале дуба черешчатого и севернее его естественного распространения. Для достижения поставленной цели нами был проведен комплексный анализ насаждений, сформированных в различных условиях произрастания дуба черешчатого. Объекты нашего исследования – комплекс ксилосапротрофных грибов, ассоциированных с побеговой системой дуба черешчатого в насаждениях дуба черешчатого в лесных и парковых экосистемах вдоль субширотно-субмеридиональной трансекты «Тула – Выборг», отражающей движение из зоны оптимум-ареала этой породы к его периферии. Выявлен комплекс ключевых видов грибов-ксилосапротрофов, определяющий облик побеговой системы поздних генеративных и субсильных особей дуба черешчатого: *Colpota quercinum*, *Vuilleminia comedens* (способствуют изреживанию кроны), *Daedalea quercina*, *Laetiporus sulphureus*, *Fomitiporia robusta* (вызывают стволовые гнили), *Armillaria lutea* (поражает преимущественно комлевую область дерева). Показано, что адаптивный потенциал деревьев дуба черешчатого определяется локальными почвенно-гидрологическими условиями. Выделяются «эвтрофная» и «олиготрофная» экады, характеризующиеся диаметром ствола (на выс. 1,3 м) более и менее 50 см соответственно. Проведенные исследования подтверждают большую устойчивость деревьев «эвтрофной» экады к прогрессирующему отмиранию кроны и ухудшению состояния: высокая корреляция некроза кроны с рангом по диаметру ствола объясняется конституциональным различием «эвтрофных» и «олиготрофных» экад дуба черешчатого и большей устойчивостью к стрессорным воздействиям эвтрофных экад. На лесостепном/широколиственнолесном участке трансекты деревья дуба слабо дифференцированы на две экады и в целом угнетены липовыми древостоями. На подтаежном участке трансекты наблюдается пестрая картина дифференциации деревьев дуба по фитопатологическому состоянию, причем «эвтрофные» экады демонстрируют низкий балл фитосанитарного состояния. На южнотаежном участке трансекты непрерывный поток поколений дуба черешчатого связан с антропогенно-преобразованной растительностью. Основная задача паркового строительства севернее естественного ареала *Quercus robur* – поддержание дренажной системы и отбор «эвтрофных» экад дуба черешчатого.

Ключевые слова: дуб черешчатый, *Quercus robur*, некротрофные грибы, сапротрофные грибы, линейная регрессия.

Shishlyannikova A.B., Danilov D.A., Zmitrovich I.V., Bacherikov I.V. Phytopathological characteristics of *Quercus robur* in different growing conditions. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 116–143 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.116-143

The purpose of the present paper is to assess an influence of necrotrophic and saprotrophic fungi species on the vital state of *Quercus robur* trees in its optimum range

and north of natural distribution. To achieve this purpose, we have carried out a comprehensive analysis of stands formed in various growing conditions of *Q. robur*. Another object of our study was a complex of xylosaprotrophic fungi associated with the shoot system of *Q. robur* in forest and park ecosystems along the sublatitudinal-submeridional transect «Tula – Vyborg», reflecting the movement from the zone of the optimum range of this species to its periphery. A complex of key species of xylosaprotrophic fungi that determine the appearance of the shoot system of late generative and subsenile individuals of *Q. robur* has been identified: *Colpoma quercinum*, *Vuilleminia comedens* (promote a crown thinning), *Daedalea quercina*, *Laetiporus sulphureus*, *Fomitiporia robusta* (cause a trunk rot), *Armillaria lutea* (affects mainly the butt area of the tree). It has been shown that the adaptive potential of *Quercus robur* trees is determined by local soil and hydrological conditions. «Eutrophic» and «oligotrophic» ecades are distinguished, characterized by a trunk diameter (at a height of 1.3 m) of more and less than 50 cm, respectively. The studies carried out confirm the high resistance of trees of the «eutrophic» ecades to progressive crown dying and deterioration. The high correlation of crown necrosis with the rank by trunk diameter is explained by the constitutional difference between the «eutrophic» and «oligotrophic» ecades of *Q. robur* and the high resistance of eutrophic ecadas to stress effects. In the forest-steppe/broadleaf forest section of the transect, oak trees are weakly differentiated into two ecades and are generally suppressed by linden stands. In the subtaiga section, a motley picture of differentiation of oak trees by phytopathological condition is observed, whereas the «eutrophic» ecadas demonstrate a low phytosanitary condition score. In the southern taiga section, the continuous flow of generations of *Q. robur* is associated with anthropogenically transformed vegetation. The main purpose of park building north of the natural range of *Q. robur* is to maintain the drainage system and select «eutrophic» oak stands.

Keywords: English oak, *Quercus robur*, necrotrophic fungi, saprotrophic fungi, linear regression.

ШИШЛЯННИКОВА Арина Борисовна – заведующий отделением Колледжа технологий лесного комплекса и садово-паркового хозяйства, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. SPIN-код: 2962-9507

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ArBorShi@mail.ru

SHISHLYANNIKOVA Arina B. – Head of Department of College of Forestry and Gardening Technologies, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2962-9507

194021. Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: ArBorShi@mail.ru

ДАНИЛОВ Дмитрий Александрович – заведующий кафедрой почвоведения Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент. SPIN-код: 5826-3852. ResearcherID: S-7007-2019. ScopusID: 57205402682. ORCID: 0000-0002-7504-5743.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: stown200@mail.ru

Главный научный сотрудник Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха».

188338, ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Россия.

DANILOV Dmitry A. – DSc (Agricultural), chair of Soil science department of the St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5826-3852. ResearcherID: S-7007-2019. ScopusID: 57205402682. ORCID: 0000-0002-7504-5743

194021. Institutsky per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: stown200@mail.ru

Chief Scientist in Russian Potato Research Centre.

188338. Institutsкая str. 1. Belogorka village. Gatchina district. Leningrad region. Russia.

ЗМИТРОВИЧ Иван Викторович – ведущий научный сотрудник Ботанического института имени В.Л. Комарова Российской академии наук, доктор биологических наук. SPIN-код: 4155-3190. ResearcherID: I-1523-2013. ScopusID: 56521442400. ORCID: 0000-0002-3927-2527

197022, ул. Профессора Попова, д. 2, лит. В, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

ZMITROVICH Ivan V. – DSc (Biology), leading researcher in Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. SPIN-code: 4155-3190. ResearcherID: I-1523-2013. ScopusID: 56521442400. ORCID: 0000-0002-3927-2527

197376. Professora Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: iv_zmitrovich@mail.ru

БАЧЕРИКОВ Иван Викторович – математик-аналитик, ООО «Умные цифровые решения», кандидат технических наук. SPIN-код: 7210-3600. ResearcherID: K-6350-2017. ScopusID: 57217860297. ORCID: 0000-0002-0531-1604.

143001, ул. Западная, стр. 180, этаж 17, часть помещения 11, рабочий поселок Новоивановское, городской округ Одинцовский, Московская область, Россия. E-mail: ivashka512@gmail.com

BACHERIKOV Ivan V. – PhD (Technical), mathematician, «Smart Digital Solutions» LLC. SPIN-code: 7210-3600. ResearcherID: K-6350-2017. ScopusID: 57217860297. ORCID: 0000-0002-0531-1604.

143001. Zapadnaya str. 180. Floor 17. Part of room 11. Novoivanovskoye working settlement. Odintsovsky urban district. Moscow region. Russia. E-mail: ivashka512@gmail.com