

УДК 574.23

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.16

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ НА ГРАНИЦЕ АРЕАЛА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Н. Ю. Кулакова

Институт лесоведения Российской академии наук,
Российская Федерация, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, 21
E-mail: nkulakova@mail.ru

Приведены результаты исследования почвы плакора под высокостебельным древостоем дуба черешчатого, а также начала склона коренного берега реки Хопёр под низкостебельными насаждениями дуба и под травянистой сухостепной растительностью. Показано, что содовое засоление почв является препятствием для произрастания дуба черешчатого в условиях южной лесостепи при содержании ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} около 2 ммоль/100 г почвы на глубине менее 100–130 см. Сильное сульфатно-кальциевое засоление (до 21 ммоль/100 г почвы), очень низкая обеспеченность растений калием и фосфором отражаются на развитии деревьев дуба, но не являются факторами, лимитирующими их распространение.

Ключевые слова: дуб черешчатый; южная лесостепь; засоление почв; агрохимические показатели.

Введение. Исследование границы ареала растений позволяет выявить факторы, лимитирующие их распространение и возможности для его расширения. Отмечаемое в последние годы сокращение площади дубрав в Европе [1] на фоне изменений климатических показателей [2] привлекает внимание учёных к вопросам адаптации дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) к неблагоприятным факторам среды [3–6] и к причинам усыхания и гибели деревьев [7, 8]. Широкое использование этого древесного растения в городском озеленении и увеличение загрязнения урбанизированных территорий легко-растворимыми солями [9] также вызывает интерес к исследованию пределов адаптации дуба к такому неблагоприятному фактору, как засоление почв [10]. В южной лесостепи на коренном берегу рек выделяются небольшие – от нескольких десятков до нескольких сотен метров в длину – участки с засоленными почвами, на кото-

рых формируется чёткая граница между лесной и травяной растительностью. В лесных экосистемах доминирует дуб черешчатый, а растительность полей представлена сухостепными видами: понтийской полынью, грудницей, молодилом, кермеком, типчаком.

Исследование солевывносливости древесных растений проводится как в вегетационных опытах, так и в насаждениях. Опыт Д.В. Федоровского [11] показал, что при возможности пользоваться влагой из незасоленных и засоленных (20 ммоль-экв./100 г почвы) горизонтов почвы растения извлекают из последних 7–13 % воды, необходимой на транспирацию. Было установлено, что для корней вяза токсичным является содержание иона Cl^- до 2 мг-экв./100 г почвы, а ионы SO_4^{2-} замедляют рост корней [12, 13]. Корни деревьев дуба черешчатого в насаждениях на почвах солонцового комплекса обходят горизонты со смешанным гидрокарбонатно-

© Кулакова Н. Ю., 2018.

Для цитирования: Кулакова Н. Ю. Почвенные условия на границе ареала дуба черешчатого в южной лесостепи Европейской части России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 3 (39). С. 16–39. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.16

сульфатно-натриевым засолением с суммой анионов около 30 ммоль-экв./100 г почвы [14].

Работа на природных объектах осложняется многообразием действующих факторов, усиливающих или ослабляющих влияние негативных условий; вместе с тем, эта сторона исследований необходима. Устойчивость растений может меняться в зависимости от их возраста, эволюционного пути, пройденного популяцией. Особенный интерес представляют популяции, прошедшие длительную адаптацию к неблагоприятным факторам среды. Анализ состава и динамики неструктурных углеводов в органах деревьев [6] показал, что дубравы Теллермановского леса, произрастающие на границе с травяной растительностью полей, хорошо адаптированы к условиям постоянно действующего засоления.

Целью работы было выявление почвенных показателей, определяющих развитие дуба черешчатого или препятствующих произрастанию деревьев в условиях засоления почв разного химизма на юге лесостепной зоны в Теллермановском лесничестве Института лесоведения (ИЛАН РАН). В **задачи** работы входило изучение свойств почв, занимающих автоморфное положение (плакор) и исследование их изменений в катене, расположенной в начале склона коренного берега реки Хопёр и пересекающей поляну и дубравы параллельно речной долине.

Объекты и методы. Исследовались как незасолённые почвы лесных экосистем, так и засоленные на коренном берегу реки Хопёр. Происхождение солей в почве этих экотопов связано, по мнению исследователей [15], со смыканием водупора и крыши водоносного горизонта, а также выпотом слабо засоленных грунтовых вод из более водоносного в прошлом горизонта. Основные водоносные слои на водоразделах залегают на высотах 140 и 120 м над уровнем моря. В первом случае в составе солей преобладают ионы HCO_3^-

(0,8–0,9 г/л при близкой величине сухого остатка). В нижележащем слое преобладают ионы SO_4^{2-} (0,9–1 г/л при величине сухого остатка 2–3 г/л и концентрации HCO_3^- иона 0,1–0,2 г/л). Участки с засоленными почвами приурочены в основном к началу склонов юго-восточной экспозиции, к небольшим вогнутым понижениям [16]. Грунтовые воды формируются над относительными водоупорами в толще слоистых лёссовидных суглинков. Главным источником влаги для растений на автоморфных позициях являются атмосферные осадки при среднегодовом количестве осадков 530 мм и коэффициенте испарения близком к единице.

Положение разрезов и скважин в дубравах определялось рельефом и различиями в развитии деревьев. Один разрез (точка 1) заложен в плакорной части водораздела на высоте около 160 м над уровнем моря в чистом по составу 80-летнем древостое дуба черешчатого I класса бонитета, который был создан на вырубке посевом желудей поздней фенотипа. Водоразделы заняты высокобонитетными снытевыми и снетово-осоковыми дубравами с примесью ясеня, клёна остролистного, ильма, клёна полевого и липы [17, 18]. Разрезы и скважины катены находились на высоте около 140 м над уровнем моря. В начале склона коренного берега на расстоянии 20–50 м от края поляны бонитет насаждений резко снижается до IV–V класса. Здесь исследовалась почва под древостоем 120-летнего возраста с преобладанием ранней фенотипа, имеющим в основном порослевое происхождение. На расстоянии 1–3 м от края поляны дуб приобретает кустообразную форму. Эти низкбонитетные дубравы получили название «солонцовых». Древостой плакора имел показатели роста и продуктивности близкие к максимальным, а «солонцовые дубравы» – к минимальным для дубрав южной лесостепи [6]. Второй разрез (точка 2) заложен в дубраве IV класса бонитета, находящейся пример-

но в 20 м от границы произрастания дуба. Одна скважина находилась под деревьями дуба V класса бонитета на расстоянии 14 м от края леса (точка 3), а другая – в одном метре от края под кустообразной формой дуба (точка 4). Под травяной растительностью разрез располагался в 10 м от края поляны (точка 5), а на середине поляны примерно в 30 м от её края была заложена скважина (точка 6). Травяной покров в дубравах был представлен в основном осокой волосистой. В середине «солонцовой дубравы», на расстоянии 20–14 м от края леса, травянистая растительность была развита слабее, чем на других участках. Рядом с каждым разрезом были заложены также скважины, из которых отбирали образцы почвы для определения азота, углерода, фосфора и калия.

Плакорные участки заняты серыми и тёмно-серыми лесными почвами [19]. Нами в точке 1 исследовалась серая лесная почва с погребённым гумусовым горизонтом, совмещённым с гумусово-элювиальным горизонтом, имеющая следующее строение профиля: [ao (0-5) – AU (5-22) – AEL (hh) (22-42) – BEL (42-70) – Bt (70-100) – BtCA(100...)]. Безлесные участки, находящиеся под травяной растительностью, заняты, по мнению С.В. Зонна [16, 19], солонцами столбчатыми и корковыми. В нашем случае в точке 5 строение профиля следующее: [ao(0-2) – AJ(2-7) – EL (5(7)-10) – BCN (10-20) – BМК (20-40) – ВСА (40-56) – ВСА'(56-70) – ВСА''(70-100)]. И строение профиля, и морфология гумусового и элювиального горизонтов исследуемой почвы вполне соответствовали солонцу, хотя наличие среднетощных глинистых кутан в солонцовом горизонте свидетельствовало о слабой выраженности солонцового процесса в настоящее время. Эти почвы, опираясь на классификацию 2004 года [20], можно отнести к солонцам светлым осолоделым. Между этими двумя точками полосой в несколько десятков метров тянутся переходные почвы. Почву

разреза, находящегося под лесной растительностью в 20 м от края поляны, имеющую следующий набор генетических горизонтов: [ao (0-3) – AJ (3-7) – AEL (3(7)-12) – BEL (12-39) – BМ (39-55) – ВСА (55-70) – ВСА'(70-100)], мы отнесли к серой метаморфической осолоделой.

Состав легкорастворимых солей в водной вытяжке из почвы определяли общепринятыми методами: кальций и магний (Ca^{2+} и Mg^{2+}) – трилометрическим способом (ПНД Ф 14.1:2.95-97); натрий (Na^+) – пламенно-фотометрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.138-98); хлориды (Cl^-), карбонатную и бикарбонатную щёлочность (HCO_3^- , CO_3^{2-}) – титриметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.96-97); сульфаты (SO_4^{2-}) – по ПНД Ф 14.1:2:4.157-99; содержание С и N – на анализаторе элементного состава VarioMicroCube; содержание доступных растениям подвижных форм калия и фосфора – по методу Мачигина [21].

Результаты и обсуждение. В профиле серой лесной почвы (точка 1) легкорастворимые соли отсутствовали. В почве катены максимальные значения суммы солей отмечаются на краю леса, а не на поляне (рис. 1): 1,51–1,42 % от веса почвы под деревьями V класса (точка 3) и 1,35 % – в одном метре от края леса под дубом кустообразной формы (точка 4). В почве дубравы IV класса бонитета (точка 2) максимальные значения суммы солей гораздо меньше – 0,37 % от веса почвы, как и в почве под травяной растительностью на расстоянии 10 м от края поляны (точка 5) – 0,45–0,47 %. К середине поляны (точка 6) засоление увеличивается до 0,74 – 1,1 % от веса почвы. Наибольшее засоление почвы под деревьями IV класса бонитета отмечается на глубине 40–50 см. До глубины 40 см содержание легкорастворимых солей плавно увеличивается с 0,01 до 0,20 %, а начиная с глубины 40 см содержание солей постоянное, незначительно изменяясь между значениями 0,31–0,37 %. Под деревьями V класса до глуби-

ны 40 см характер распределения солей такой же, но ниже по профилю чётко выделяется горизонт максимального засоления, который занимает толщу с 50 до 105 см (величина суммы солей в нём более 1,2 % от веса почвы). В толще, лежащей ниже этого горизонта, средняя величина суммы солей 0,30 %. Горизонт с высоким содержанием легкорастворимых солей (1,20–1,35 % от веса почвы) выделяется и под деревьями дуба кустообразной формы. Он менее мощный (с 60 до 90 см) и среднее содержание солей в нём 0,31 %.

Под травяной растительностью в точке 5 до глубины около 50 см наблюдается медленное увеличение суммы солей от 0,07 до 0,32 %, а ниже содержание солей в почве близко к средней величине 0,41 %. В почве в середине поляны сумма солей резко возрастает от 0,07 % в слое 0–5 см до 0,36 % на глубине 20 см. Наибольшие значения суммы солей приходятся на глубину 60 см. Ниже значения уменьшаются, а с глубины 100–130 см превосходят более чем в 1,7 раза значения концентрации под древесной растительностью. Ярко выраженный максимум солей в почве на краю леса, располагающейся под зоной максимального распространения корней, связан, вероятно, с подтягиванием солей

из нижележащей толщи в результате десукции.

Несмотря на большую плотность и худшую, чем в серой лесной почве структуру горизонтов, а также на засоленность горизонта ВМ серой метаморфической почвы, её верхняя 60-см толща хорошо освоена корнями растений. По данным В. И. Миной [22], масса корней дуба на расстоянии около 1 м от ствола в почве «солонцовой дубравы», на глубине 20–30 и 40–60 см (в горизонтах ВЕЛ и ВМ) составляет около 12,5 и 21,3 г/дм³, что в 1,8 и в 2,7 раза больше, чем на этих же глубинах в серой лесной почве. На расстоянии 2 м от ствола эта закономерность сохранялась для толщи до 40 см (горизонт ВЕЛ и верхняя часть горизонта ВМ). Непосредственно рядом со стволом дерева масса корней переходной почвы была по всему профилю в 1,5–3 раза ниже, чем в серой лесной почве. Очевидно, такое развитие корневых систем деревьев дуба свидетельствует о необходимости иметь большую площадь водосбора и питания на засоленных почвах, чем на серых лесных почвах плакора, а также о вполне благоприятных условиях в переходных почвах для развития корневых систем.

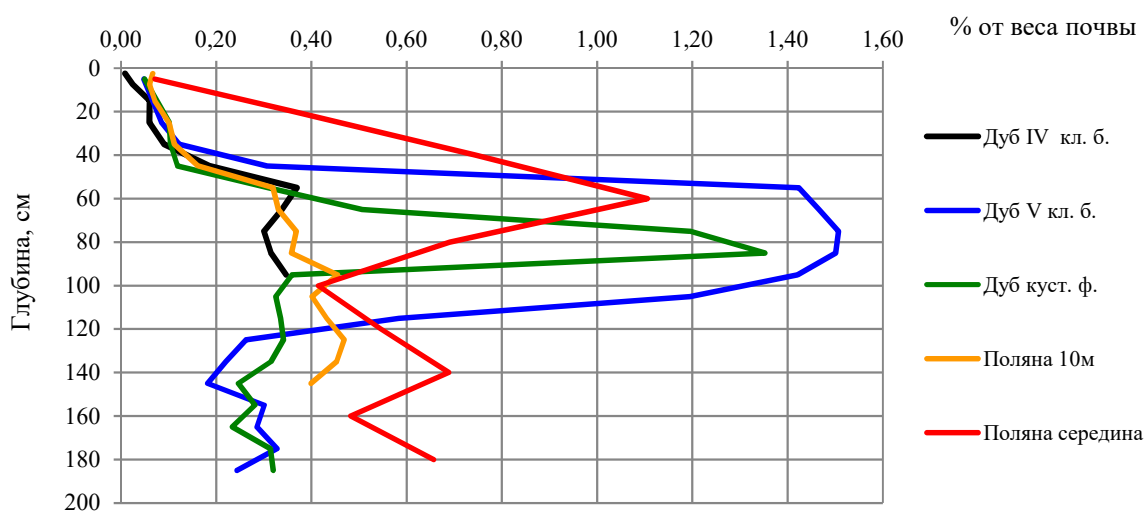


Рис. 1. Распределение содержания солей по профилю почвы (в % от веса абсолютно сухой почвы)

Под лесной растительностью и на поляне химизм засоления почв различный. В почвах поляны засоление содовое по всему профилю. В почве точки 6, находящейся в середине поляны, доли ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} приблизительно одинаковы и составляют в среднем по профилю 71 % от суммы анионов. Существенно меньше содержание ионов SO_4^{2-} – 19 % от суммы анионов. Высоко и довольно равномерно относительное содержание в профиле ионов натрия – в среднем 97 % от суммы катионов. У края поляны, в почве под травяной растительностью, ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} составляют от 58 до 93 % от суммы анионов (в среднем 77 %), SO_4^{2-} - ионы – около 23 %. Доля натрия составляет 84 %, а кальция и магния – 13 и 3 % от суммы катионов.

В почвах под насаждениями в горизонтах с суммой легкорастворимых солей более 0,3 % от веса почвы (с глубины примерно 50 см) засоление сульфатно-кальциевое во всех трёх исследуемых точках. Гипсовые новообразования отсутствуют. Под насаждением дуба IV класса бонитета доля сульфатов составляет на глубине 50–100 см 89 % от суммы анионов, HCO_3^- и CO_3^{2-} – менее 8 %, а Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ – 47, 19 и 33 % от суммы катионов соответственно. Под древостоем V класса бонитета сульфатно-кальциевый тип засоления свойственен горизонтам на глубинах 50–130 см. Доля сульфатов здесь составляет 84 % от суммы анионов, ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} – 14 %, а кальция, магния и натрия – 59, 14 и 27 % от суммы катионов. Под дубом кустообразной формы сульфатно-кальциевое засоление обнаружено на глубине 40–80 см, доля сульфатов составляет здесь 75 % от суммы анионов, а доля карбонат- и бикарбонат-ионов – 22 %; доля Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ – соответственно 43, 22 и 36 % от суммы катионов.

В почве дубравы на краю леса в горизонтах с суммарным засолением ниже 0,3 % в составе солей водной вытяжки преобладают карбонат- и бикарбонат-ионы. В почве насаждения V класса бони-

тета на глубинах 5–50 и 130–190 см ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} составляют в среднем 78 % от суммы анионов, а сульфат-ионы – 15 %. В составе катионов преобладают ионы натрия (60 % от суммы катионов), а магний и кальций составляют 4 и 35 % соответственно. В почве точки 4 в толще 5–40 и 80–170 см сумма HCO_3^- и CO_3^{2-} ионов и сульфатов составляет 63 и 27 % от суммы анионов, а доля натрия, кальция и магния – 52, 37 и 11 % от суммы катионов. В почве под древостоем IV класса бонитета сульфатно-кальциевый состав солей отмечается по всему профилю. Таким образом, в почве под древостоем V класса бонитета и под деревьями дуба кустообразной формы на краю леса на глубине 50–100 (120) см выделяется горизонт с сильным сульфатно-кальциевым засолением. Так как на опушке низкорослые кустообразные деревья дуба потребляют меньше влаги, чем более крупные деревья вдали от края леса, а почва, кроме того, лучше промывается из-за накопления снега, то горизонт с максимальным содержанием солей имеет здесь меньшую мощность. Во всех других случаях, даже в практически незасоленных горизонтах верхней части профиля исследуемых почв, доля карбонат- и бикарбонат-ионов и ионов натрия максимальна в составе солей.

Щёлочность почв, обусловленная карбонат- и бикарбонат-ионами, увеличивается по мере продвижения от точки 2 к точке 6 (рис. 2). Максимальное содержание ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} в почве точки 2 не превышает значение 0,7 ммоль-экв./100 г почвы, на краю леса – 2–2,6, на краю поляны – 3,6, а в центральной её части – 4,9 ммоль-экв./100 г почвы. Соответственно возрастают и значения концентрации иона натрия. Значения концентрации ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} в профиле почв на краю дубравы (точки 3 и 4) возрастают с поверхности до глубины около 50 см с 0,5 до 1 ммоль-экв./100 г почвы. Под насаждением V класса бонитета концентрация ионов остаётся на этом уровне

до глубины 120 см. В почве под дубом кустообразной формы с глубины 50 см до 1 м концентрация анионов HCO_3^- и CO_3^{2-} не превышает 1,5 ммоль-экв./100 г почвы. Значения, близкие к 2 ммоль-экв./100 г почвы, в почве под дубом V класса бонитета встречаются на глубине 130 см, в почве под дубом кустообразной формы – на глубине 100 см, на поляне же обнаруживаются в краевой её части уже на глубине 50 см, а в центральной части – на глубине около 30 см.

Содержание сульфатов, кальция и магния (рис. 3) увеличивается в почве дубравы по направлению к краю насаждения, а в почве под травянистой раститель-

ностью резко уменьшается. В почве древостоя IV класса бонитета наибольшее содержание сульфатов отмечается на глубине 50–60 см (4,92 ммоль-экв./100 г почвы); под древостоем V класса бонитета – на глубине 70–80 см оно примерно в пять раз выше (21,17 ммоль-экв./100 г почвы). Близкие значения (18,72 ммоль/экв.) на глубине 80–90 см зафиксированы в почве под кустообразной формой дуба. В почве поляны на расстоянии 10 м от её края концентрация сульфатов в 16 раз меньше (1,16 ммоль-экв./100 г почвы), а в центральной её части – в четыре раза меньше (4,45 ммоль-экв.), чем в почве краевой части дубравы.

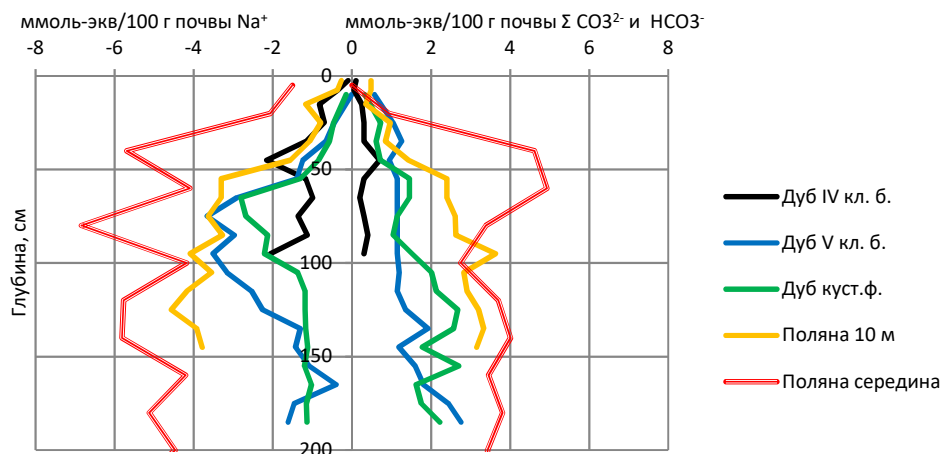


Рис. 2. Характер распределения содержания натрия, суммы карбонат- и бикарбонат-ионов в исследуемых почвах

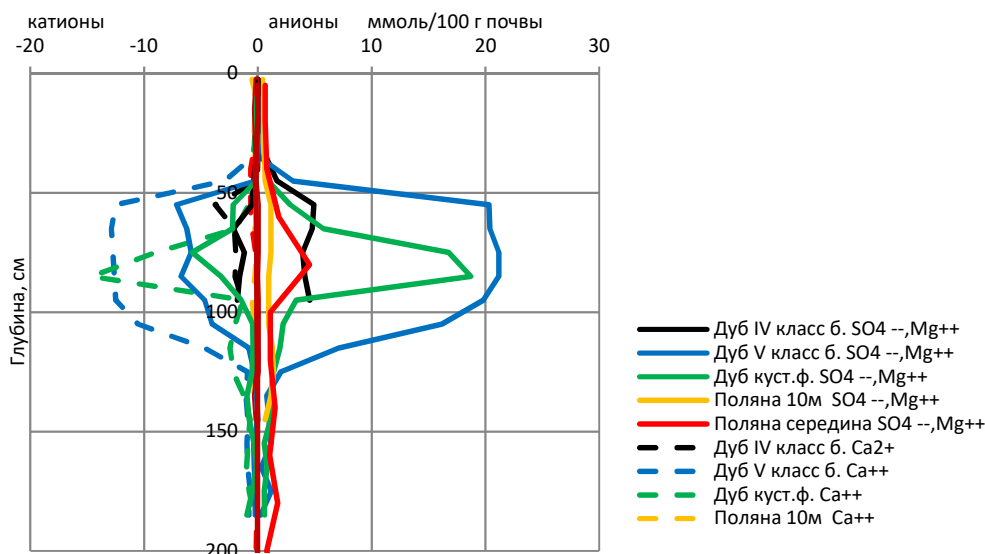


Рис. 3. Характер распределения содержания ионов SO_4^{2-} , Ca^{2+} и Mg^{2+} в исследуемых почвах

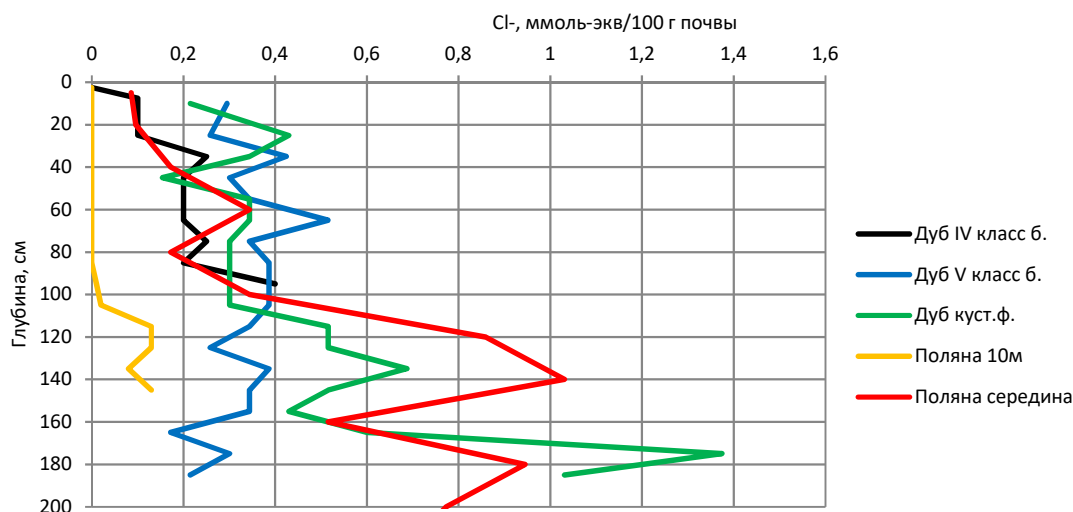


Рис. 4. Характер распределения содержания ионов Ca^{2+} в исследуемых почвах

В распределении кальция в почвах катены наблюдается похожая закономерность: существенная разница (примерно в четыре раза) между содержанием этого элемента в почве середины «солонцевой дубравы» и на краю, а в почве под травянистой растительностью она в 6–12 раз меньше, чем в краевой части леса. Магния в почве дубравы на границе со степной растительностью содержится примерно в три раза больше, чем в центральной части, и в 26–30 раз больше, чем в почве поляны.

Содержание хлора в верхней метровой толще во всех разрезах незначительное, варьируя от 0 до 0,5 ммоль-экв./100 г почвы (рис. 4). В более низких горизонтах на глубине от 130 до 250 см на поляне (точка б) и у края леса (точка 3) содержание хлора увеличивается до 1,2 и 1,4 ммоль/100 г почвы соответственно. Очевидно, что преобладание сульфатов кальция в составе солей на периферии засоленного участка и содового засоления в центральной части может быть связано с тем, что по мере высыхания водоносного горизонта (и смыкания верхнего и нижнего водоупорных слоёв) менее растворимые соли выпадали на периферии, а более легко растворимые – в центре разгрузки грунтовых вод. Более же вероятным способом образования горизонта с сульфатно-кальциевым засолением, как нам кажется, является подтягивание

солей из более глубокого водоносного горизонта (с преобладанием сульфатов в составе ионов), который здесь, видимо, подходит ближе к поверхности и не перекрывается другим водоупором.

Известно, что содержание питательных веществ в почве прямо связано с бонитетом насаждений и может влиять на их санитарное состояние. В первую очередь это относится к углероду органических соединений, определяющих потенциальное плодородие почвы. Содержание его в серой лесной почве составляет около 11 % в слое 0–5 см гумусового горизонта, снижаясь вниз по профилю до 1,7–1,9 % в нижней части гумусового горизонта на глубине 15–25 см, до 0,88–1,3 % в горизонте Вt на глубине 40–60 см и до 0,43 % на глубине одного метра (табл. 1). Достоверные различия в содержании углерода между серой лесной почвой (точка 1) и серой метаморфической почвой (точка 2) обнаруживаются по всей глубине профиля за исключением верхней части гумусового горизонта и слоя на глубине 60–70 см. Наибольшая разница в содержании углерода наблюдается на глубинах ниже 70 см – содержание С в горизонте Вt серой лесной почвы превышает содержание в засоленной толще метаморфической почвы в два раза. В верхней части профиля разница меньше (1,2–1,7 раза). В почве на краю

дубравы содержание гумуса близко к таковому в почве точки 2. Различия в 1,5–2 раза приурочены к глубинам 45–65 (75) см там, где в периферийной части дубравы сформировался горизонт с сильным сульфатно-кальциевым засолением, менее освоенный корнями растений, видимо, из-за физиологической сухости. На поляне содержание и распределение углерода по профилю не отличалось от этих показателей в дубраве IV класса бонитета до глубины 70 см. Ниже по профилю его содержание в почве поляны в два раза выше, что связано, очевидно, с лучшей освоенностью засоленных горизонтов корнями травянистых растений, чем древесных.

Основным фактором, лимитирующим размеры растений, является, как правило, азот. В засушливых условиях хорошая обеспеченность растений им, с одной стороны, способствует развитию корневых систем, однако, с другой стороны, большая биомасса растений требует соответствующего количества воды на поддержание физиологических процессов. Небольшой размер растений в засушливых условиях – это один из механизмов адаптации к дефициту влаги.

Содержание азота в верхней части гумусового горизонта серой лесной почвы составляет 0,76 % от веса почвы (табл. 2). Вниз по профилю содержание азота убывает до 0,28 % на глубине 5-10 см, до 0,12-0,14 % – на глубине 30-40 см и затем плавно снижается до сотых долей процента на глубине 1 м. Меньше концентрация азота в серой метаморфической почве под деревьями IV и V классов бонитета на глубинах 5-10 и 20-50 см. Более высокое, чем в почве этих точек, содержание азота отмечено в почве под дубом на расстоянии 1 м от края поляны на глубине 5-10 см. В почве поляны содержание азота примерно такое же, как в серой лесной почве. Различия в содержании азота между почвами точек связаны, очевидно, с менее развитым травяным покровом и в связи с этим несколько другим составом поступающего с опадом и отпадком органического вещества. Низкое содержание азота вряд ли можно считать важным фактором, лимитирующим произрастание дуба в засушливых условиях, скорее это условие способствует адаптации дуба к физиологической сухости засоленных почв.

Таблица 1

Содержание органического углерода в почве разных экотопов в % от абсолютно сухой её массы

Глубина, см	Дубрава, серая лесная почва	Дубрава, серая метаморфическая почва			Поляна, солонец светлый
	I класс бонитета	IV класс бонитета	V класс бонитета	кустообразная форма дуба	сухостепная растительность
0-5	10,95±2,52	13,86±1,97	11,9	12,8	9,35±0,98
5-10	4,08±0,64	2,41±0,86	1,87	3,21	2,52±1,00
10-20	2,18±0,12	1,75±0,15	1,45	1,65	2,21±0,87
20-30	1,92±0,24	1,32±0,19	1,08	1,27	1,43±0,56
30-40	1,70±0,12	1,20±0,11	0,92	0,87	1,05±0,34
40-50	1,28±0,09	1,06±0,08	0,71	0,65	0,95±0,15
50-60	0,88±0,09	0,92±0,10	0,44	0,53	0,73±0,08
60-70	0,61±0,05	0,54±0,04	0,29	0,41	0,61±0,09
70-80	0,52±0,05	0,28±0,07	0,19	0,32	0,43±0,04
80-90	0,49±0,06	0,21±0,05	0,20	0,35	0,47±0,05
90-100	0,46±0,05	0,22±0,04	0,15	0,14	0,38±0,05
100-110	0,43±0,07	0,19±0,04	0,15	0,12	0,34±0,06

Таблица 2

Содержание азота в почве разных экотопов в % от абсолютно сухой её массы

Глубина, см	Дубрава, серая лесная почва	Дубрава, серая метаморфическая почва			Поляна, солонец светлый
	I класс бонитета	IV класс бонитета	V класс бонитета	кустообразная форма дуба	сухостепная растительность
0-5	0,76±0,11	0,93±0,12	0,85	0,91	0,75±0,13
5-10	0,28±0,03	0,15±0,03	0,13	0,32	0,17±0,04
10-20	0,14±0,02	0,12±0,02	0,11	0,19	0,15±0,04
20-30	0,13±0,01	0,09±0,01	0,07	0,13	0,11±0,02
30-40	0,12±0,02	0,07±0,02	0,06	0,09	0,08±0,02
40-50	0,09±0,01	0,06±0,01	0,05	0,06	0,08±0,02
50-60	0,06±0,01	0,06±0,02	0,03	0,05	0,06±0,01
60-70	0,05±0,01	0,04±0,01	0,03	0,04	0,06±0,02
70-80	0,05±0,01	0,03±0,01	0,02	0,04	0,04±0,01
80-90	0,05±0,01	0,03±0,01	0,02	0,03	0,04±0,01
90-100	0,05±0,01	0,03±0,01	0,01	0,01	0,04±0,01
100-110	0,05±0,01	0,02±0,00	0,01	0,01	0,04±0,01

Известно, что в поддержании осмотического давления, регуляции процессов поглощения влаги корневыми клетками, открытия и закрытия устьиц на листьях участвует калий, поэтому достаточная обеспеченность растений им повышает устойчивость их к засухам и неблагоприятному воздействию высоких и низких температур [23, 24]. В засоленных почвах калий конкурирует с натрием в процессе поглощения растениями, поэтому его дефицит в почве может приводить к усилению потребления последнего, что сопровождается инактивацией ферментов и нарушением метаболизма.

По содержанию доступного растениям калия почва плакора гораздо более резко отличается от почвы солонцевой дубравы и поляны, чем по содержанию углерода и азота (табл. 3). В серой лесной почве содержание калия повышенное в гумусовом горизонте (24,5–26,1 мг $K_2O/100$ г почвы) и среднее (18 мг) ниже по профилю. В почвах солонцевой дубравы средняя обеспеченность калием характерна только для верхнего 5-см слоя гумусового горизонта (от 12,3 до 18,2 мг $K_2O/100$ г почвы), а в остальных случаях уровень обеспеченно-

сти низкий или очень низкий (от 3,6 до 10,8 мг $K_2O/100$ г почвы). Несколько больше доступного растениям калия в почве под травяной растительностью: от 14,2 до 21,8 мг $K_2O/100$ г почвы в верхнем 5-см слое и от 6,2 до 14,1 мг ниже по профилю. Во всех почвенных профилях, кроме профиля серой лесной почвы, заметно обеднение доступным калием слоя 5–20 см, особенно насыщенного корнями растений, что свидетельствует, вероятнее всего, о дефиците этого элемента.

В процессах дыхания, фотосинтеза и роста участвует фосфор, недостаток которого сказывается на всех процессах метаболизма. Установлено, что содержание доступного растениям фосфора в серой лесной почве, так же как и содержание калия, по всему профилю выше, чем в почвах других участков (табл. 4). В гумусовом горизонте его содержание составляет 1,64–1,75 мг на 100 г почвы, что соответствует средней обеспеченности растений фосфором. Ниже по профилю оно опускается до 0,85–1,30 мг/100 г. В почвах катены в верхнем 5-см слое содержание P_2O_5 весьма пёстрое: от 0,88 мг на 100 г почвы под деревьями дуба кустообразной формы до

2,69 мг в почве под древостоем V класса бонитета. На глубине 10–40 см оно несколько выше, чем в профилях других лесных почв. Немного более высокие значения регистрируются в почве под травяной растительностью, но и здесь весь профиль, кроме верхнего 5-см слоя гумусового горизонта, характеризуется очень низким уровнем обеспеченности растений фосфором.

Почва плакора существенно плодороднее почвы дубрав под низкобонитетными древостоями и почвы поляны (наибольшие различия отмечены в содержании калия и фосфора). Внутри низкобонитетных дубрав различия почв по содержанию азота, фосфора и калия незначительные или отсутствуют и не связаны с классом бонитета насаждений.

Таблица 3

Содержание К₂O в почве разных экотопов в мг на 100 г абсолютно сухой почвы

Глубина, см	Дубрава, серая лесная почва	Дубрава, серая метаморфическая почва			Поляна, солонец светлый	
	I класс бонитета	IV класс бонитета	V класс бонитета	кустообразная форма дуба	10 м от края леса	30 м от края леса
0-5	26,1±4,6	18,2±3,6	16,9	12,3	14,2±1,8	21,8
5-10	24,5±6,3	3,6±2,6	8,6	5,3	6,2±1,4	8,8
10-20	17,8±2,2	5,4±2,1	10,3	7,3	8,9±1,2	8,8
20-30	17,7±2,4	7,5±1,9	10,6	7,9	10,5±1,1	11,1
30-40	18,5±1,3	7,7±2,5	10,8	9,4	11,4±0,9	13,2
40-50	18,7±1,0	8,4±1,4	10,8	10,3	11,2±1,7	14,1
50-60	18,6±0,8	7,6±1,9	10,1	12,0	10,5±0,8	12,9
60-70	18,0±1,4	7,3±1,5	9,9	11,5	10,0±0,8	12,7
70-80	18,6±1,9	7,6±0,6	10,3	11,5	9,9±0,9	11,3
80-90	18,4±1,5	7,4±1,2	10,3	10,8	10,0±0,8	12,5
90-100	18,7±0,4	7,5±1,4	10,1	10,1	10,7±1,0	12,1

Таблица 4

Содержание P₂O₅ в почве разных экотопов в мг на 100 г абсолютно сухой почвы

Глубина, см	Дубрава, серая лесная почва		Дубрава, серая метаморфическая почва		Поляна, солонец светлый	
	I класс бонитета	IV класс бонитета	V класс бонитета	кустообразная форма дуба	10 м от края леса	30 м от края леса
0-5	1,75±0,26	1,04±0,29	2,69	0,88	3,02±0,78	0,85
5-10	1,64±0,25	0,41±0,11	0,45	0,42	1,42±0,25	0,50
10-20	1,30±0,12	0,19±0,04	0,40	0,14	0,56±0,12	0,53
20-30	1,17±0,10	0,10±0,04	0,24	0,05	0,30±0,02	0,39
30-40	1,06±0,15	0,07±0,02	0,23	0,04	0,46±0,02	0,21
40-50	0,92±0,21	0,05±0,01	0,04	0,04	0,20±0,01	0,21
50-60	0,87±0,16	0,04±0,02	0,02	0,05	0,15±0,02	0,15
60-70	0,87±0,14	0,04±0,00	0,04	0,04	0,07±0,01	0,13
70-80	0,85±0,14	0,05±0,01	0,07	0,04	0,15±0,03	0,10
80-90	0,85±0,17	0,07±0,01	0,08	0,04	0,07±0,01	0,14
90-100	0,83±0,16	0,07±0,02	0,02	0,04	0,07±0,01	0,11

Выводы

1. Основным фактором, лимитирующим распространение деревьев дуба в изучаемых экосистемах, является содовое засоление почв. Пограничная для распространения дуба концентрация карбонат- и бикарбонат-ионов составляет около 2 ммоль на 100 г почвы. Мощность слоя почвы, свободного от ионов с такой концентрацией и, видимо, достаточного для обеспечения растений влагой и питательными веществами в исследуемых экосистемах, – около 100–130 см. Развитие кустообразной формы дуба связано, вероятно, с небольшой мощностью этого слоя на краю дубравы.

Автор выражает признательность директору Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН В.В. Чеботарёвой, кандидату технических наук Н.Г. Жиренко, кандидату биологических наук Н.Ф. Каплиной и доктору биологических наук В.В. Рубцову за помощь и поддержку в работе.

Список литературы

1. Царалунга В. В. Трагедия лесных дубрав // Лесной вестник. 2005. № 6. С.23-30.
2. Уткина И. А., Рубцов В. В. Современные представления о влиянии изменений климата на взаимодействие лесных деревьев и насекомых-фитофагов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 6. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-5-12
3. Мамаев В. В., Рубцов В. В., Уткина И. А. Влияние дефолиаций крон дуба на ростовую активность поглощающих корней // Лесоведение. 2001. № 5. С. 43-49.
4. Рубцов В. В., Уткина И. А. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию. М.: Гриф, 2008. 302 с.
5. Kulakova N., Kaplina N., Zhirenko N. Influence of salinization of soils on the distribution and growth of quercus robur in the forest-steppe zone // Abstract book. Workshop and conference "Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes", September 4-6, 2013, Kecskemet, Hungary. P. 28.
6. Каплина Н. Ф., Кулакова Н. Ю. Содержание неструктурных углеводов в органах дуба черешчатого в условиях южной лесостепи европейской части России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4 (28). С. 84-97.
7. Биохимические особенности суховершинных деревьев дуба черешчатого / Л. В. Полякова, С. Г. Гамаюнова, П. Т. Журова и др. // Лесоведение. 2014. № 4. С.28-35.
8. Толстопятов С. И. О причинах усыхания дуба черешчатого // Лесное хозяйство. 1979. № 7. С. 37-40.
9. Влияние автотранспорта на экологическое состояние почв в западном административном округе Москвы / Н.Е. Кошелева, М. Ф. Дорохова, Н. Ю. Кузьминская и др. // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2018. № 2. С. 16-27.
10. Исследование адаптационных возможностей дуба черешчатого (*Quercus robur*) к автотранспортному загрязнению / Н.Ю. Кулакова, А.В. Колесников, Ю. А. Баранова и др. // Russian Journal of Agricultural land Socio-Economic Sciences. 2017. 2(62). P. 239-249. DOI: <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-02.30>
11. Федоровский Д. В. Микрораспределение питательных веществ в почвах. М.: Наука, 1979. 190 с.
12. Эрперт С. Д. Рост и развитие древесных и кустарниковых растений в культурных биогеоценозах на почвах солонцового комплекса // Биогенетические основы освоения полупустыни Северного Прикаспия. М.: Наука. С. 207-309.
13. Мигунова Е. С. Леса и лесные земли (Количественная оценка взаимосвязей). М.: Экология, 1993. 364 с.
14. Повышение продуктивности засоленных земель / И.Н. Оловяникова, М.К. Сапанов, М.Л. Сиземская и др. – М.: Наука, 1989. 198 с.
15. Экосистемы Теллермановского леса / М.Г. Романовский, В.В. Мамаев, Н.Н. Селочник и др.; Отв. ред. В.В. Осипов. М.: Наука, 2004. 340 с.
16. Зонн С. В. Геоморфологические и почвенные условия произрастания леса в Теллермановском опытном лесничестве // Труды Института леса. М.: Изд. Академии наук СССР, 1950. Том III. С. 19-78.
17. Елагин И. Н., Зворыкина К. В. Древесная и кустарниковая растительность некоторых типов дубового леса // Сообщения Института леса. М.: Изд. Акад. наук СССР, 1954. Вып. 2. С. 5-37.
18. Каплина Н. Ф., Селочник Н. Н. Текущее и долговременное состояние дуба черешчатого в

трёх контрастных типах леса южной лесостепи // Лесоведение. 2015. № 3. С. 191-201.

19. Зонн С. В. Водный режим почв дубовых лесов // Труды Института леса. М.: Изд. Академии наук СССР, 1951. Том VII. С. 9-84.

20. Классификация и диагностика почв России / Под ред. Л. Л. Шишова. Смоленск.: Ойкумена, 2004. 342 с.

21. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 688 с.

22. Мина В. Н. Взаимодействие между древесной растительностью и почвами // Труды Института леса. М.: Изд. Академии наук СССР, 1954. Том XV. С. 229-294.

23. Outlaw W. H. Current Concepts on the role of potassium in stomatal movements // *Physiol. Plant.* 1983. Vol. 59. No 2. P. 302-311.

24. Соколова Т. А. Калийное состояние почв. М.: МГУ, 1987. 48 с.

Статья поступила в редакцию 04.06.18.

Принята к публикации 28.06.18.

Информация об авторе

КУЛАКОВА Нина Юлиановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт лесоведения РАН. Область научных интересов – лесное почвоведение, аридное лесоразведение, экология. Автор 73 публикаций.

UDC 574.23

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.16

SOIL CONDITION ON THE BORDER OF NATURAL HABITAT OF ENGLISH AOK IN SOUTHERN FOREST-STEPPE (EUROPEAN PART OF RUSSIA)

N. Yu. Kulakova

Institute of Forest Science of RAS,

21, Sovetskaya St., Uspenskoe village, Moscow region, 143030, Russian Federation

E-mail: Nkulakova@mail.ru

Keywords: *English oak; southern forest-steppe; soil salination; nutritional characteristics.*

ABSTRACT

Introduction. The topicality of the problem is determined with significant reduction of the area of oak groves in Europe and the necessity to study in detail the limits of adaptation of English oak to the unfavourable factors of environment, in whole, and soil conditions, in particular. Oak groves of water-parting of southern forest-steppe are of particular interest. Such oak groves grow on the border of English oak habitat and are adapted to soil salination. **The goal** of the research is to reveal the indices of the state of the soil, determining English oak development and preventing from growing the trees in the south of forest-steppe zone. **Objects and methods.** The object of research is located in Tellermanovskoe division of forestry of the Institute of Forest Science, RAS. One cut and three pores were made in the upper part of water-parting under a 80-year old stand of English oak (I quality class), established with sowing of acorns of late phenological form. Two cuts and eight pores made the catena, which was going through the oak stand of IV and V quality class, under shrub-like oaks and on the meadow with grassland vegetation. In soil-water extract (1:5), the content of Ca^{2+} and Mg^{2+} was determined with trilonometry, Na^+ – by flame-photometric method, Cl^- – by titrimetric method, sulfates (SO_4^{2-}) – by the method of Kamorovskiy, C and N – on the analyzer of elemental composition, active forms of potassium and phosphorus (available for the plants) – by the method of Machigin. **Results.** The soils in the studied ecotopes were significantly different in content of highly soluble salts which may be explained with the influence of groundwater reservoirs and with their drawing from underlying layer caused by consumption of soil water by plants. In the catena in the part from oak grove of V quality class to the middle of the meadow taper, HCO_3^- and CO_3^{2-} ionic concentration is observed. Gray forest soil of upland were described with high content of C and N, and medium and low content of K and P. The soils of catena under forest and grassland vegetation were significantly different with the indices of fertility and soils of water-parting. **Conclusion.** Sodium-carbonate salinization of soils is the major factor, limiting dispersion of oaks in the studied ecosystems. Extreme concentration of carbonate - and bicarbonate ions is about 2 mmol/100 g of soil. Thickness of soil layer, free from ions with such concentration in the studied ecosystems, is about 100-130 cm. High concentration of sulfates in the soil (up to 21 mmol/100 g), influencing physiological drought and worsening water status of plants, does not stop dispersion of English oak in the studied area. Very low content of potassium and phosphorus is one of the factors to decline the state of trees in the studied salinized ecosystems. Low content of nitrogen in the soil contributes to decrease of phytomass of English oak.

REFERENCES

1. Tsaralunga V.V. Tragediya lesnykh dubrav [The Tragedy of Forest Oak Groves]. *Lesnoy zhurnal MGUL* [Forestry Magazine of MSUF]. 2005. No 6. Pp. 23-30. (In Russ.).
2. Utkina I.A., Rubtsov V.V. Sovremennyye predstavleniya o vliyaniy izmeneniy klimata na vzaimodeystvie lesnykh derevev i nasekomykh-fitofagov [Modern Conception of Climate Change Influence on the Cooperation between Forest Trees and Insects Plant Feeders]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Vestnik]. 2017. Vol. 21. No 6. P. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-5-12 (In Russ.).
3. Mamaev V.V., Rubtsov V.V., Utkina I.A. Vliyanie defoliatsiy kron duba na rostovuyu aktivnost pogloshchayushchikh korney [The Influence of Oak Crowns Defoliation on Growth Activity of Absorbing Roots]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2001. No 5. Pp. 43-49. (In Russ.).
4. Rubtsov V.V., Utkina I.A. *Adaptatsionnyye reaksii duba na defoliatsiu* [Adaptive Reactions of Oak on Defoliation]. Moscow: Grif, 2008. 302 p. (In Russ.).
5. Kulakova N. Influence of salinization of soils on the distribution and growth of quercus robor in the forest-steppe zone // Abstract book. Workshop and conference "Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes", September 4-6, 2013. Kecskemét, Hungary. P.28.
6. Kaplina N.F., Kulakova N. Yu. Soderzhanie nestrukturnykh uglevodov v organakh duba chereschatogo v usloviyakh yuzhnoy lesostepi evropeyskoy chasti Rossii [The Content of Nonstructural Carbohydrates in the Organs of English Oak in Conditions of Southern Forest-Steppe in European Russia]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2015. No 4 (28). Pp. 84-97. (In Russ.).
7. Polyakova L.V., Gamaunova S.G., Zhurova P.T. et al. Biokhimicheskie osobennosti sukhovershinnykh derevev duba chereschatogo [Biochemical Peculiarities of Top-Dry Trees of English Oak]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2014. No 4. P. 28-35.
8. Tolstopyatov S.I. O prichinakh usykhaniya duba chereschatogo [On the Reasons for English Oak Drying]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1979. No 7. Pp. 37-40. (In Russ.).
9. Kosheleva N.E., Dorokhova M.F., Kuzminskaya N.Yu. et al. Vliyanie avtotransporta na ekologicheskoe sostoyanie pochv v zapadnom administrativnom okruge Moskvy [Influence of Motor Transport on Ecological Condition of Soils in Western Administrative District of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya* [Vestnik of Moscow University. Ser. 5: Geography]. 2018. No 2. Pp. 16-27. (In Russ.).
10. Kulakova N.Yu., Kolesnikov Yu.A., Baranova Yu.A. et al. Issledovanie adaptatsionnykh vozmozhnostey duba chereschatogo (Quercus robur) k avtotransportnomu zagryazneniyu [Study of Adaptive Capabilities of English Oak (Quercus robur) to Auto Pollution]. *Journal of Agricultura land Socio-Economic Sciences*. 2017. 2(62). P. 239-249. DOI: <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-02.30> (In Russ.).
11. Fedorovskiy D.V. Mikroraspredelenie pitatelnykh veshchestv v pochvakh [Microdistribution of Nutrients in the Soils]. Moscow: Nauka. 1979. 190 p. (In Russ.).
12. Erpert S.D. Rost i razvitie drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy v kulturnykh biogeotsenozakh na pochvakh solontsovogo kompleksa [Growth and Development of Woody and Shrub Vegetation in Tame Biogeocenoses on the Soils of Solonchic Complex.]. *Biogeneticheskie osnovy osvoeniya polupustyni Severnogo Prikaspiya* [Biogenetic Basis to Reclaim the Semi-Desert of Northern Pre-Caspian]. Moscow: Nauka. P. 207-309. (In Russ.).
13. Migunova E.S.. Lesa i lesnye zemli (Kolichestvennaya otsenka vzaimosvyazey). [Forests and Wooded Lands (Quantitative Assessment of Interconnection)]. Moscow: Ekologiya. 1993. 364 p. (In Russ.).
14. Olovyannikova I.N., Sapanov M.K., Sizemskaya M.L. et al. Povyshenie produktivnosti zasolennykh zemel [Productivity Improvement in the Saline Land]. Moscow: Nauka, 1989. 198 p. (In Russ.).
15. Romanovskiy M.G., Mamaev V.V., Selochnik N.N. et al. *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa. Otv. Red. V.V. Osipov* [Ecosystems of Tellermanovskiy Forest. Editor-in-chief – V.V. Osipov.]. Moscow: Nauka, 2004. 340 p. (In Russ.).
16. Zonn S.V. Geomorfologicheskie i pochvennyye usloviya proizrastaniya lesa v Tellermanovskom opytном lesnichestve [Geomorphological and Soil Conditions of Forest Growth in Tellermanovskoe Experimental Forest District]. *Trudy instituta lesa* [Proceedings of Forest University.]. Moscow: Izd. Akadmii nauk SSSR, 1950. Vol. III. P. 19-78. (In Russ.).
17. Elagin I.N., Zvorykina K. V. Drevesnaya i kustarnikovaya rastitelnost nekotorykh tipov dubovogo lesa [Woody and Shrub Vegetation of Some Types of Oak Groves]. *Soobshcheniya instituta lesa* [Reports of Forest University]. Moscow: Izd. Akadmii nauk SSSR, 1954. Iss. 2. Pp. 5-37. (In Russ.).
18. Kaplina N.F., Selochnik N.N. Tekushchee i dolgovremennoe sostoyanie duba chereschatogo v trekh kontrastnykh tipakh lesa yuzhnoy lesostepi [Current and Long-Term Condition of English Oak in Three Contrastive Forest Types in Southern Forest-Steppe]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2015. No 3. Pp. 191-201. (In Russ.).

19. Zonn S.V. Vodnyy rezhim pochv dubovykh lesov [Water Regime of Soils of Oak Forests]. *Trudy instituta lesa* [Proceedings of Forest University]. Moscow: Izd. Akadmii nauk SSSR, 1951. Vol. VII. Pp. 9-84. (In Russ.).
20. Shishov L.L. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk: Oikumena 2004. 342 p. (In Russ.).
21. Mineev V.G. *Praktikum po agrokhimii* [Workshop on Agrochemistry]. Moscow: MGU, 2001. 688 p. (In Russ.).
22. Mina V.N. Vzaimodeystvie mezhdru drevesnoy rastitelnostu i pochvami [Interconnection between Woody Plants and Soils]. *Trudy instituta lesa* [Proceedings of Forest University]. Moscow : Izd. Akadmii nauk SSSR, 1954. Vol. XV. P. 229-294. (In Russ.).
23. Outlaw W. H. Current Concepts on the role of potassium in stomatal movements. *Physiolplanta*. 1983. Vol. 59. No 2. P. 302-311. (In Russ.).
24. Sokolova T. A. Kaliynoe sostoyanie pochv [Potassium Soil Constitution]. Moscow: MGU, 1987. 48 p. (In Russ.).

The article was received 04.06.18.

Accepted for publication 28.06.18.

For citation: Kulakova N. Yu. Soil Condition on the Border of Natural Habitat of English Aok in Southern Forest-Steppe (European Part of Russia). *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018. No 3(39). Pp. 16–29. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.16

Information about the author

KULAKOVA Nina Yulianovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Scientist, Institute of Forest Science of RAS. Research interests – forest pedology, arid forest cultivation, ecology. The author of 73 publications.