

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/10>

УДК 630*181.5:630*232.311.62(470.6)

Особенности роста и культивирования насаждений *QUERCUS ROBUR* L. на песках северо-восточного Предкавказья

Александр С. Манаенков¹, manaenkov1@yandex.ru, ORSID 0000-0002-20842147

Сергей Ю. Андреев², achikylak356890@mail

Максим А. Ульянов³, ulyanov-m@vfanc.ru

^{1,3}Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, 400062, Российская Федерация, info@vfanc.ru

²Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», с. Ачикулак, 356890, Российская Федерация, achikylak356890@mail

Рациональное использование и предупреждение дефляционного опустынивания песчаных земель аридной зоны невозможно без их обустройства защитными лесными насаждениями. На пастбищах региона высоким защитным эффектом и долговечностью обладают древостои дуба черешчатого. Цель исследования – изучить особенности роста и водного питания дуба на разных геоморфологических типах песков, усовершенствовать режимы их облесения и приемы выращивания дубрав в регионе. Объектами исследования служили 68-85-летние насаждения на Терском и Бажиганском песчаных массивах, произрастающие при норме атмосферных осадков около 320 мм/год, испаряемости 800-1000 мм/год. Состояние и рост древостоев изучали на временных пробных площадях с использованием общепринятых методов с последующей математической обработкой полученных данных.

Установлено, что влияние атмосферных осадков на водное питание дубрав имеет относительно невысокое и крайне нестабильное влияние. Лишь в 6-9 % лет оно обеспечивается их количеством. В остальные годы рост и жизнеспособность древостоев определяется доступностью грунтовой воды, пополнение которой происходит подтоком со стороны соседних не облесенных участков. Лучшие для роста дуба условия складываются на супесчаной почве понижений с залеганием пресной или слабо минерализованной грунтовой воды на глубине 2-4 м. На переветренных многочленных песках лесорастительные условия ухудшаются по мере уменьшения мощности предварительно увлажненного атмосферными осадками слоя почвогрунта и при минерализации грунтовой воды свыше 8-9 г/л, а также повсеместно с возрастом насаждений, в связи с израсходованием стартового запаса почвенно-грунтовой влаги. Пастбищная дигрессия травостоя на прилегающих выпасах замедляет этот процесс, способствует повышению долговечности древостоев.

На всех типах песков актуальны мелкоконтурное размещение насаждений, их чередование с открытыми участками функционирующих пастбищ, влагонакопительная обработка почвы, создание чистых культур, своевременные агротехнические уходы и изреживания древостоя.

Ключевые слова: *аридная зона, песчаные земли, лесорастительные условия, создание и выращивание насаждений*

Финансирование. Работа выполнена ФНЦ агроэкологии РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 125021302093-8 «Теоретическое обоснование инновационных технологий создания многоцелевых защитных лесных насаждений в сельскохозяйственных районах, на опустыненных пастбищах и низкопродуктивных землях засушливой зоны России» (шифр FNFE-2025-0002)».

Благодарности. автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Манаенков А.С., Андреев С. Ю., Ульянов М.А. Особенности роста и культивирования насаждений *QUERCUS ROBUR* L. на песках северо-восточного Предкавказья // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 4 (60). – С. 162-179. – Библиогр.: с. 176-178 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/10>.

Поступила 19.09.2025. Пересмотрена 25.10.2025. Принята 30.11.2025. Опубликовано онлайн 26.12.2025.

Article

Peculiarities of growth and cultivation of plantations of *QUERCUS ROBUR* L. on the sands of the north-eastern Pre-caucasian region

Alexander S. Manaenkov¹, manaenkov1@yandex.ru, ORSID 0000-0002-20842147

Sergey Yu. Andreev², achikylak356890@mail.ru

Maxim A. Ulianov³, ulyanov-m@vfanc.ru

^{1,3}*Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”, Volgograd, 400062, Russian Federation, info@vfanc.ru*

²*North Caucasus Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences”, v. Achikulak, 356890, Russian Federation, achikylak356890@mail*

Abstract

Rational use and prevention of deflationary desertification of the sandy lands of the arid zone is impossible without their provision with protective forest plantations. On the pastures of the region, the stands of oak have a high protective effect and durability. The purpose of the study is to study the peculiarities of oak growth and water supply on different geomorphological types of sands, to improve their afforestation regimes and methods of growing oak forests in the region. The objects of the study were 68-85-year-old plantations on the Tersk and Bazhigansky sand massifs, growing at a precipitation rate of about 320 mm/year, with an evaporation rate of 800-1000 mm/year. The condition and growth of stands were studied in temporary test areas using generally accepted methods followed by mathematical processing of the data obtained.

It has been established that the influence of atmospheric precipitation on the water supply of oak forests has a relatively low and extremely unstable effect. Only in 6-9% of the years it is provided by their number. In other years, the growth and viability of stands is determined by the availability of groundwater, which is replenished by the influx from neighboring non-forested areas. The best conditions for oak growth are formed on sandy loam soil of depressions with the occurrence of fresh or slightly mineralized groundwater at a depth of 2-4 m. On re-sown multi-layered sands, forest conditions worsen as the thickness of the soil layer previously moistened by precipitation decreases and with groundwater mineralization exceeding 8-9 g/l, as well as everywhere with the age of plantings, due to the depletion of the initial reserve

of soil and soil moisture. Pasture digression of the herbage in adjacent pastures slows down this process and helps to increase the longevity of the stands.

On all types of sands, fine-contoured plantings, their alternation with open areas of functioning pastures, moisture-accumulating tillage, the creation of clean crops, timely agrotechnical care and thinning of the stand are relevant.

Keywords: *arid zone, sandy lands, forest conditions, creation and cultivation of plantations*

Financing. The work was performed by the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 125021302093-8 "Theoretical substantiation of innovative technologies for creating multipurpose protective forest plantations in agricultural areas, on desolate pastures and low-yielding lands of the arid zone of Russia" (code FNFE-2025-0002).

Thanks. The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Manaenkov A.S., Andreev S.Yu., Ulianov M.A. (2025) Peculiarities of growth and cultivation of plantations of *QUERCUS ROBUR* L. on the sands of the north-eastern Pre-Caucasian region. Forestry Engineering journal. Vol. 15, No. 4 (60), pp. 162-179 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/10>.

Received 19.09.2025.

Revised 25.10.2025.

Accepted 30.11.2025.

Published online 26.12.2025.

Введение

Песчаные земли Северо-Восточного Предкавказья (Терско-Кумского междуречья) с давних времен является ценным пастбищным массивом. Интенсивный выпас скота на его территории уже в XIII-XIV вв. привел к вспышке, распространению и пролонгации до настоящего времени антропогенной дефляции почвенного покрова, сформировавшегося на отложениях древней климатогенной дефляции (А.А. Трушковский, 1961). За прошедшее время возникли сложные комплексы барханных, слабо заросших и заросших бугристых песков с участками (останцами) в разной степени дефлированных зональных супесчаных почв, преобладанию разреженной псаммофильной растительности. Существенно снизилась продуктивность и устойчивость песчано-степных экосистем, периодически возникают новые очаги подвижных песков.

Исследования в области аридных экосистем и агролесоводства демонстрируют устойчивый интерес к проблемам опустынивания и адаптивного землепользования. Работы Манасенкова и др. (2023) [1] и Манаенкова и Рыбашлыковой (2020) [5] сосредоточены на решении практических задач

мелиорации деградированных земель Прикаспийского региона. Эффективность кулисных посадок кустарников для мелиорации аридных пастбищ юга России убедительно показана в исследовании Тютюмы и др. (2020) [8].

Современные зарубежные исследования отражают тенденцию к технологизации мониторинга агролесоводческих систем. Так, Dogliotti и др. (2025) [2] применяют методы дронного лазерного сканирования для оценки параметров деревьев в силвопастбищных системах. В то же время Le и др. (2025) [3] проводят систематический анализ традиционных европейских агролесоводческих систем, выявляя перспективы их сохранения.

Значительное внимание уделяется микроклиматическим аспектам агролесоводства. Исследование Llanos и др. (2025) [4] демонстрирует улучшение термального комфорта для скота в эвкалиптовых насаждениях, тогда как Sánchez-Romero и др. (2025) [7] анализируют влияние интенсивности выпаса на растительность и почвы тропических лесов.

Актуальной проблеме адаптации к климатическим изменениям посвящена работа Safeer и др. (2025) [6], где исследуются связи между

климатической изменчивостью и внедрением агролесоводства в Пакистане. Комплексный подход, сочетающий экологические и социальные аспекты, становится характерной чертой современных исследований в данной области.

По многочисленным наблюдениям, на полиминеральных песках региона лучшими породами являются робиния (*Robinia pseudoacacia* L.), вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia* JACQ.), осокорь (*Populus nigra* L.) и многие крупные листовые кустарники, а также сосна крымская (*Pinus pallasiana* LAMB.) (Н.А. Смирнов, А.И. Полякова, 1963; А.С. Манаенков, Г.А. Сурхаев, И.Г., Сурхаев, 2010).

Благоприятные условия для этих пород на Терских полиминеральных одночленных песках (НВ - ВЗ = 3-4,5%) складываются при залегании пресной или слабоминерализованной воды на глубине 2-5 м. На Бажиганских пылевато-мелкозернистых многочленных песках – после барханной стадии сбоя растительности при уровне грунтовой воды 6-7 м (Манаенков, Г.А. Сурхаев, И.Г., Сурхаев, 2010; Н.Ф. Кулик, 1963, 1979). На заросших песках в первый год жизни культур лучшее увлажнение ризосферы обеспечивает зяблевая вспашка (П.Г. Язан, 1955; Н.А. Смирнов, 1963). Преимущество в росте и сохранности имеют чистые древостои (П.Г. Язан, 1955; Н.А. Смирнов, 1963).

На супесчаных почвах и холмисто-мелкобугристых песках, подстилаемых многочленными отложениями (НВ - ВЗ = 4-6%) при глубине залегания (уровне) грунтовой воды (УГВ) до 8 м минерализацией (МГВ) до 6-8 г/л относительно медленно растут, но имеют большую устойчивость и долговечность, чем другие породы, насаждения дуба черешчатого [П.Г. Язан, 1955; Н.Ф. Кулик, 1979; В.И. Петров и др., 2000]. По исследованиям Н.Ф. Кулика их водное питание, как и насаждений других листовых пород в засушливых условиях, в апреле – июне осуществляется за счет просочившейся (до 70-200 см) атмосферной влаги, а в июле, августе и сентябре ее запасы в слое 0-400 см снижаются до ВЗ и ниже. Водопитание из этого слоя осуществляется только после сильных дождей. Недостаток почвенной влаги

древостой восполняет за счет грунтовой воды (ГВ). Ее «...потребление (243 мм) превышает количество использованных атмосферных осадков (94 мм) более чем в два раза» (Н.Ф. Кулик, 1979, с. 211). Во влажные годы потребление ГВ сокращается, в засушливые – увеличивается. «Отсутствие сквозного промачивания почвогрунтовой толщи в большинстве насаждений на Терско-Кумских песках свидетельствует о том, что подземные воды пополняют свои запасы за счет смежных участков» (Н.Ф. Кулик, 1963, с. 36). То есть за счет бокового притока из-под не облесенных песков.

Дуб экономнее расходует влагу. Его транспирационный коэффициент меньше, чем у тополя и робинии. В расчете на массу сухих листьев он составляет 1240, против 1900 и 1522 соответственно (Н.Ф. Кулик, 1963), [9]. Однако с возрастом в насаждениях дуба, как и других пород, при питании минерализованной влагой происходит повышение содержания (денсация солей) в капиллярной кайме и ГВ, что постепенно ухудшает условия произрастания. При хлоридно-сульфатном и сульфатно-хлоридном засолении их предельные значения для дуба составляют соответственно 0,5-0,6% и 15-18 г/л (В.И. Петров, 1989; В.И. Петров и др., 2000).

Исследования Н.Ф. Кулика посвящены исключительно изучению водного баланса в насаждениях дуба. Они проводились в середине 50-х годов на примере культур 1924-1926 гг., созданных на мелкобугристых пылевато-мелкозернистых песках Бажиганского массива при залегании сильно минерализованной (8,9 г/л) ГВ глубже 7 м. Эти насаждения начали рано распадаться и окончательно погибли в конце 60-х годов.

В настоящее время в регионе имеется около 70 га жизнеспособных искусственных дубрав, созданных позднее и достигших возраста 69-85 лет. Однако их сохранность и производительность, а также почво-пастбищезащитная эффективность уже в возрасте 25-30 лет существенно отличалась в зависимости от условий произрастания [П.Г. Язан, 1955]. Появилась возможность изучить влияние физических свойств песчаных отложений и ГВ на состояние старовозрастных древостоев дуба [10-13].

Для решения таких задач успешно используют ретроспективный анализ ростовых процессов модельных деревьев [14-21].

Цель исследования – изучить особенности роста и водного питания дуба на разных геоморфологических типах песков, усовершенствовать режимы их облесения и приемы выращивания дубрав в регионе.

Объекты, материалы и методы исследования

Объектами исследования служили 68-85-летние насаждения дуба семенного (ПП 1, 2, 4-6 и 10), смешанного (ПП 7 и 9) и порослевого (ПП 3) происхождения, произрастающие на Бажиганском (ПП 1-3, 5-10) и Терском (ПП 4) песчаных массивах в разных почвенно-грунтовых условиях (табл. 1). Норма атмосферных осадков в регионе составляет 320-360 мм/год при испаряемости 800-1000 мм/год (Атлас СССР, 1983).

Состояние и рост древостоев исследовали на временных пробных площадях методом сплошного перече́та и отбора средних деревьев (Н.П. Анучин, 1982; А.Р. Родин, М.Д. Мерзленко, 1984). Пробные площади прямоугольной формы закладывали в наиболее характерных участках насаждений с расчетом получить их объективные показатели для всех выделов хозяйственной секции. Подробно

описывали строение древостоя, характеристики подлеска и подроста, живого и мертвого напочвенного покрова, другие особенностей насаждений. Изучение почвенных условий проводили методом бурового зондирования на всю толщину зоны аэрации с отбором образцов почвы и грунта (включая материнскую породу) для лабораторных анализов. Определяли глубину залегания верхнего горизонта ГВ и ее минерализацию.

Толщину радиального прироста древесины: годовичного кольца (ГК), ранней древесины (РД) и поздней древесины (ПД) измеряли на срезах и с помощью компьютерного сканирования кернов, взятых из 3-5 модельных деревьев на высоте 1,3 м с последующей математической обработкой полученных данных. Тесноту его связи определяли методами регрессионного анализа с суммой осадков (по данным ближайшей метеостанции с. Ачикулак) за различные периоды гидрологического года, средневзвешенным содержанием физической глины в верхнем 2-метровом слое почвогрунта (СФГ), УГВ и МГВ. Ход рост в высоту модельных деревьев изучали на срезах, взятых через 1 м, с определением тесноты связи высоты с возрастом дерева и почвенно-грунтовыми факторами.

Таблица 1 / Table 1

Экологические условия и таксационные показатели насаждений дуба черешчатого на Терско-Кумских песках /

Ecological conditions and taxation indicators of oak plantations on the Tersko-Kumsky sands

№ ПП — PP	Происхождение Origin	Возраст, лет Age, years	Рельеф Relief	СФГ, % PСС, %	УГВ, м GV, m	МГВ, г/л MG, g/l	Гус-тога, шт./га Density, pi/he	Нер., м Нав., m	Дер., см Dav., sm	V, м ³ /га V, m ³ /he	Бони-тет Bonitet	Пол-нога, ед. Completeness. pi	Состоя-ние насажде-ния The state of the plantation
Бажиганский песчаный массив Bzhigansky sand massif													
1	Семен. seed	85	Полого- бугристый hollow bumpy	6,8	5,7	5,4	350	11,2	27	104	V	0,5	Хорошее Good

2	Семен. seed	85	Мелко- бугристый Finely bumpy	5,1	7,9	8,7	290	11,0	36	126	V	0,4	Хорошее Good
3	Порос. coppicing	68	Полого- волнистый Hollow-wavy	10,5	4,0	5,2	420	11,3	30	182	V	0,6	Хорошее Good
5	Семен. seed	76	Полого- бугристый hollow bumpy	9,1	4,7	8,5	150	8,0	30	45	Va	0,3	Хорошее Good
6	Семен. seed	83	Мелко- бугристый Finely bumpy	8,6	4,9	8,7	190	12,0	35	114	V	0,5	Хорошее Good
7	Смеш. mixed	76	Полого- бугристый hollow bumpy	10,2	5,2	8,5	200	10,0	30	87	Va	0,6	Хорошее Good
8	Порос. coppicing	83	Понижение Downgrading	6,2	7,5	7,5	170	11,0	34	102	V	0,4	Хорошее Good
9	Смеш. mixed	71	Понижение Downgrading	10,8	3,7	6,9	18	12,0	27	78	IV	0,6	Хорошее Good
10	Семен. seed	83	Мелко- бугристый Finely bumpy	14,4	7,3	4,3	160	16,0	32	100	IV	0,5	Хорошее Good
Терский песчаный массив Tersk sand massif													
4	Семен. seed	70	Понижение Downgrading	9,1	2,9	10,6	390	17,0	32	265	III	0,7	Хорошее Good

Примечание. № III, Nsr., Dsr. и V – Номер пробной площади, средняя высота и средний диаметр насаждения, запас стволовой древесины живых деревьев (сухостой отсутствует).

Note. PP, Nsr., Dsr. and V are the number of the test area, the average height and average diameter of the plantation, and the stock of live tree trunks (there is no deadwood).

Корреляционный и регрессионный анализ данных полевых наблюдений проводили на ЭВМ с использованием типовой программы STATGRAPHICS 5.0; оценку уровня связи роста древостоев с изучаемыми факторами – по (Б.А. Доспехов, 1979).

Результаты исследования и их обсуждение

Погодные условия периода роста дуба мало отличались от средних многолетних показателей. За последние 71 год среднегодовая сумма осадков составила 323 мм с колебаниями от 123 мм (в 1985/1986 г/г.) до 697 мм (в 2003/2004 г/г.). За холодный период (ноябрь–март) выпадало от 39 мм (в 1983/1984 г/г.) до 409 мм (в 2003/2004 г/г.), в среднем 99 мм (31%). За теплый период – от 72 мм (1974/1975 г/г.) до 489 мм (в 2008/2009 г/г.), в

среднем 224 мм. Коэффициент вариации сумм осадков составил соответственно 53, 32 и 37%. Из них 30 лет на 10% и более были влажнее средних, 34 года засушливее, а 7 лет близкие к ним. При этом влажные периоды состояли из 2-5 лет и чередовались с засушливыми периодами из 3-4 лет. Наиболее нестабильными были осадки холодного периода, обеспечивающие весенний запас почвенной влаги и прирост РД.

При норме водопотребления насаждений дуба на разных по плодородию почвогрунтах 300-350 мм/год атмосферные осадки могли обеспечивать её только в 6-9%-х лет.

Средняя температура воздуха фиксировалась несколько выше многолетней нормы в оба сезона последних семи десятилетий.

На Бажиганских пылевато-мелкозернистых песках 70-85-летние насаждения дуба (см. табл. 1) в большинстве представлены относительно редким (150-200 деревьев / га), с неравномерно сомкнутым лесным пологом, низкорослым (8-12 м) чистыми древостоем IV-Va бонитета из толстомерных (20-50 см) деревьев, имеющих здоровый вид и жизнеспособное состояние (сильно ослабленных и усыхающих деревьев 1-3%). Деревья дуба растут как в понижениях, так и на песчаных буграх, сопутствующие породы практически выпали. Подлесок отсутствует. В понижения древостой дуба гуще и тоньше. Встречается его 1-2-летний самосев. При невысокой производительности и товарности, он надежно стабилизирует рельеф и создает благоприятную экологическую обстановку. Проекция крон редко стоящих деревьев составляет 50-100 м², в куртинах – несколько меньше. В знойные дни летнего периода в 14:30 – 15:00 тень под их пологом покрывает 80-90 % площади насаждения, надежно защищая поверхность почвы и животных от перегрева.

На многочисленных влагоемких песках наиболее высокие насаждения (до 15-16 м) приурочены к участкам с относительно большой мощностью зоны аэрации и низкой минерализацией ГВ (ПП 10). В обширном понижении на супесчаной почве Терского массива при УГВ около 3 м полнотное насаждение дуба (ПП 4) с подлеском из скумпии, вяза и груши высотой 1-3 м и редким подростом произрастает в окружении древостоев робинии, гледичии и вяза. Благонадежный подрост дуба высотой до 2-3 м встречается и на значительном расстоянии от этого насаждения. К 70 годам оно достигло высоты 17-18 м. Однако МГВ за последние десять засушливых лет увеличилась с 3-4 г/л до 10-11 г/л, что может привести к его быстрому расстройству.

На всех исследованных участках пылевато-мелкозернистых песков кривые хода роста в высоту дуба имеют схожий характер (рис.1). Семенные древостой растут медленно – средний прирост в высоту составляет 11-14 см в год, редко больше. Немногом быстрее растут порослевые и смешанные по происхождению насаждения (ПП 3 и 7).

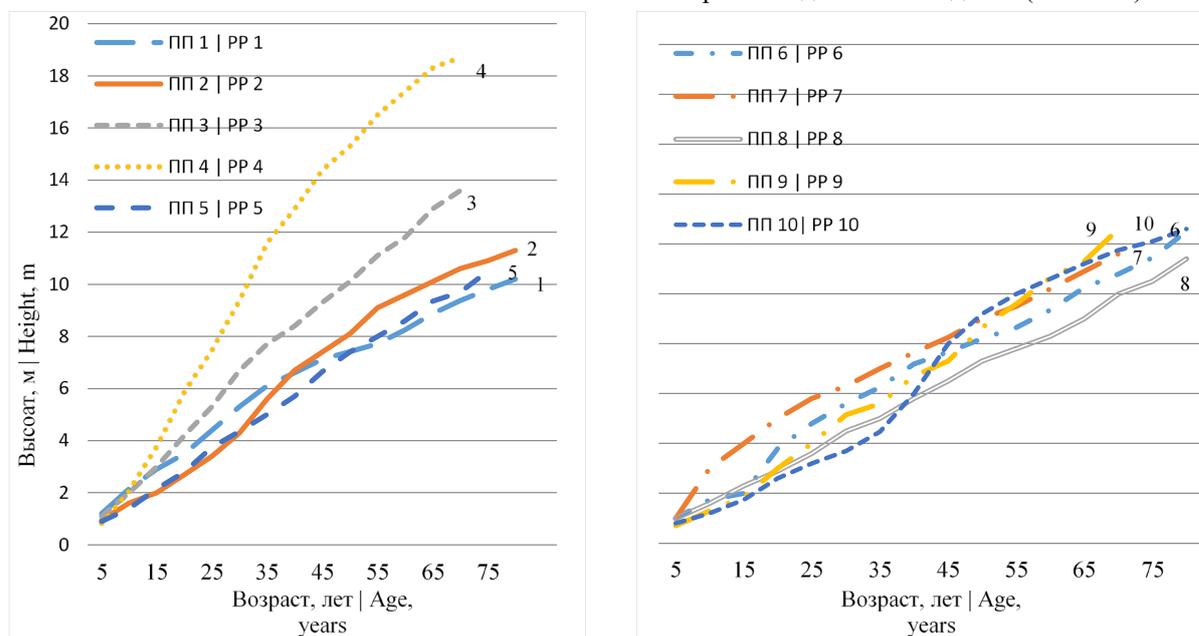


Рис.1. Ход роста в высоту дуба черешчатого в насаждениях на Терско-Кумских песках.

Fig.1. Growth rate in height of petiole oak in plantations on the Tersko-Kumsky sands.

Источник: собственные графики автора

Source: the author's own charts

Утяжеление гранулометрического состава верхней 2-метровой толщи в диапазоне связный песок – средняя супесь (табл. 2) несколько угнетает этот рост до 40-45 лет, а после 70 – стимулирует его ($r = 0,59 - 0,63$). В первый период роста, это может быть вызвано снижением увлажняющей эффективности весенне-летних осадков. В последующие годы обусловлено, по-видимому, разреживанием лесного полога, значительным

сокращением текущего прироста, формированием его преимущественно за счет весеннего запаса почвенной влаги. Понижение УГВ с 4 до 8 м отрицательно сказывается на росте дуба в высоту после 5 лет, а повышение МГВ с 4 до 8-9 г/л его не угнетает, что обусловлено питанием молодого древостоя в основном влагой атмосферных осадков текущего и предшествующего периодов.

Таблица 2 / Table 2

Зависимость (r) высоты древостоя дуба черешчатого от почвенно-грунтовых условий на Терско-Кумских песках /

Dependence (r) of stand height of oak cherry stands on soil and ground conditions in the Tersko-Kumsky sands

Возраст древостоя, лет The age of the stand, age	СФГ, % РСС, %	УГВ, м GV, m	МГВ, г/л MG, g/l	СФГ+ УГВ РСС + GV	СФГ+ МГВ РСС + MG	УГВ+ МГВ GV + MG	СФГ+ УГВ+ МГВ РСС + GV + MG
5	-0,36	0,16	-0,19	-0,38	-0,63	-0,22	-0,66
10	-0,16	-0,25	0,26	-0,32	0,26	-0,32	-0,33
15	-0,13	-0,45	0,34	-0,50	0,35	-0,50	-0,51
20	-0,08	-0,65	0,48	-0,68	0,54	-0,72	-0,72
25	-0,10	-0,72	0,50	-0,76	0,56	-0,79	-0,79
30	-0,16	-0,74	0,48	-0,80	-0,79	-0,79	-0,80
35	-0,21	-0,67	0,51	-0,75	0,52	-0,75	-0,76
40	-0,15	-0,64	0,50	-0,69	0,54	-0,72	-0,72
45	-0,03	-0,58	0,42	-0,59	0,50	-0,63	-0,64
50	0,04	-0,58	0,39	-0,58	0,52	-0,62	0,64
55	0,04	-0,57	0,38	-0,57	0,51	-0,61	0,63
60	0,06	-0,60	0,38	-0,57	0,51	-0,61	0,63
65	0,07	-0,62	0,37	-0,62	0,53	-0,65	-0,67
70	0,08	-0,63	0,35	-0,64	0,51	-0,66	-0,67
75	0,63	-0,13	-0,24	0,72	0,7	0,3	0,89
80	0,59	-0,03	0,06	0,59	0,97	0,06	0,98

Примечание. r – коэффициент корреляции.

Note. r is the correlation coefficient.

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's own calculations

Наиболее заметное снижение прироста в высоту в среднем возрасте древостоя происходит с обогащением верхнего слоя глиной при

одновременном понижении УГВ, т.е. при снижении увлажняющей эффективности летних осадков и доступности грунтовой влаги на фоне отсутствия

буферного запаса почвенной влаги (накопленного до создания и в ювенильный период роста культур).

Радиальный прирост дуба (толщина годовичного кольца, табл. 3) увеличивается до третьего (ПП 2, 4, 6-10) – четвертого (ПП 1, 3, 5 и 7) десятилетия (в среднем с 1,4-2,6 мм – в первое десятилетие, до 2,1-4,6 мм – в 3-4-е), а затем постепенно уменьшается до 1,0-1,3 мм в последние годы. За весь период жизни древостоя его средняя величина составляет 1,8-3,3 мм, но чаще – 2,0-2,5 мм, а коэффициент вариации по пробным площадям – 28-43 (до 76) %. Наибольший прирост и его ранняя кульминация отмечены в насаждении при близком

залегании УГВ (ПП 4). Последнее, по-видимому, является следствием повышенной динамичности её уровня и минерализации.

В структуре радиального прироста большую долю занимает поздняя древесина. В среднем она составляет 51-89%, а коэффициент ее вариации – 37-80%. Это подтверждает мнение о доминирующем значении в водном питании насаждений дуба на песках засушливой зоны ГВ и влаги осадков второй половины вегетации, а также свидетельствует о повышенной пространственной пестроте лесорастительных условий.

Таблица 3 / Table 3

Радиальный прирост (мм) и его коэффициент вариации (С, %) в насаждениях дуба на Терско-Кумских песках (фрагмент) /
Radial growth (mm) and its coefficient of variation (C, %) in oak stands on the Tersko-Kumsky sands (fragment)

Прирост Growth	№ ПП № PP								
	1		2		3		4		
	Прирост Growth	C							
До 10 лет Up to 10 years old									
ГК AR	1,92±0,09	16,2	1,37±0,12	29,0	3,55±0,24	21,4	4,43±0,38	27,6	
РД EW	0,83±0,06	24,1	0,67±0,05	26,3	1,20±0,08	21,5	0,79±0,05	21,0	
ПД LW	1,09±0,10	29,4	0,73±0,08	38,2	2,25±0,17	24,0	3,34±0,37	35,3	
11-20 лет 11-20 years old									
ГК AR	1,94±0,13	21,6	2,07±0,22	34,9	2,40±0,17	23,6	7,80±0,93	37,7	
РД EW	0,77±0,07	30,0	0,77±0,08	35,7	0,92±0,05	19,0	0,81±0,06	24,3	
ПД LW	1,12±0,09	28,1	1,30±0,17	43,6	1,48±0,15	32,1	7,39±0,66	28,4	
21-30 лет 21-30 years old									
ГК AR	1,93±0,19	32,4	2,90±0,31	34,2	2,67±0,37	43,9	3,80±0,47	39,3	
РД EW	0,78±0,07	30,0	0,94±0,09	32,1	1,05±0,13	41,6	0,63±0,06	33,5	
ПД LW	1,15±0,15	42,0	1,96±0,25	40,4	1,62±0,24	48,2	3,12±0,39	39,9	
31-40 лет 31-40 years old									
ГК AR	2,11±0,10	15,8	2,77±0,31	36,0	4,60±0,61	42,1	2,56±0,17	21,8	
РД EW	0,97±0,02	6,9	1,04±0,06	19,3	1,60±0,17	35,4	0,42±0,03	24,5	
ПД LW	1,14±0,09	27,4	1,76±0,24	44,0	3,00±0,44	47,1	2,62±0,41	49,4	
41-50 лет 41-50 years old									
ГК AR	1,93±0,17	27,8	2,45±0,34	44,5	3,80±0,24	20,7	1,50±0,02	5,4	
РД EW	0,91±0,06	21,0	0,87±0,12	45,6	1,40±0,14	32,8	0,25±0,01	21,0	
ПД LW	1,02±0,12	38,8	1,58±0,24	49,3	2,40±0,14	19,1	1,26±0,03	7,6	
51-60 лет. 51-60 years old									
ГК AR	1,52±0,15	32,7	3,16±0,31	31,8	2,38±0,18	25,1	1,43±0,01	3,3	
РД EW	0,74±0,07	31,9	1,17±0,07	20,5	1,08±0,08	23,8	0,23±0,01	21,0	
ПД LW	0,78±0,08	34,0	1,99±0,26	42,5	1,40±0,17	40,5	1,22±0,01	3,4	
61-70 лет 61-70 years old									
ГК AR	1,67±0,12	24,1	2,49±0,29	37,9	2,00±0,21	32,6	1,42±0,01	3,2	
РД EW	0,80±0,06	27,6	0,83±0,06	23,4	0,86±0,07	26,4	0,18±0,01	18,8	
ПД LW	0,87±0,06	23,0	1,56±0,24	50,3	1,08±0,15	42,9	1,22±0,01	3,7	

71-80 лет 71-80 years old									
ГК AR	1,44±0,15	34,6	1,78±0,11	20,6	-	-	-	-	-
РД EW	0,66±0,06	30,4	0,58±0,02	13,6	-	-	-	-	-
ПД LW	0,78±0,10	43,9	1,25±0,10	25,9	-	-	-	-	-
За весь период жизни For the entire period of life									
ГК AR	1,78±0,05	28,2	2,34±0,11	42,9	3,07±0,15	43,0	3,33±0,30	76,3	
РД EW	0,80±0,02	27,2	0,85±0,03	35,3	1,16±0,05	36,8	0,48±0,03	58,3	
ПД LW	0,90±0,03	36,7	1,49±0,08	51,2	1,90±0,11	49,9	2,93±0,28	79,5	

Примечание. До 10 лет, 11-20 лет ... – возраст древостоя.

Note.; up to 10 years, 11-20 years ... – the age of the stand.

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's own calculations

Математический анализ среднего радиального прироста древесины для всей совокупности насаждений (табл. 4) показал, что в возрасте до 10 лет он имеет слабую положительную связь с осадками холодного периода ($r = 0,10$). Более тесно ($r = 0,30$) он связан с осадками за апрель-июнь, и в средней степени с их суммой за июль-сентябрь, весь теплый период и г/г (соответственно $r = 0,35$, $0,34$ и $0,35$). При этом прирост ранней древесины практически индифферентен к сумме осадков и ритмике их выпадения в г/г, а поздней – имеет значительную зависимость ($r = 0,39-0,47$) от их параметров в вегетационный период. Т.е. развитие молодняков дуба на песках в основном определяется стартовым запасом почвенной влаги,

сформировавшимся до создания культур и в ювенальный период их жизни, а также обеспеченностью осадками весенне-летнего и летне-раннеосеннего периодов. В последующие годы, вплоть до высокого возраста, значение осадков холодного периода для его формирования остается низким, а значение осадков теплого периода и всего г/г носит неустойчивый характер ($r = 0,00-0,37$). Это, по-видимому, обусловлено в целом невысокой почвоувлажняющей эффективностью атмосферных осадков в сформировавшихся насаждениях дуба и разной для них доступностью ГВ в зависимости от почвенных условий.

Таблица 4 / Table 4

Зависимость (r) радиального прироста дуба черешчатого от суммы атмосферных осадков в насаждениях на Терско-Кумских песках /

The dependence (r) of the radial growth of the black oak on the amount of precipitation in the plantations on the Tersko-Kuma sands

Возраст древос-тоя, лет The age of the stand, age	Средний прирост, мм Average growth, mm	Сумма атмосферных осадков (мм)						
		ХП CP	ТП WP	г/г H/Y	IV-VI	VII-IX	X	ХП+X
1-10	ГК AR	0,10	0,34	0,35	0,30	0,35	-0,13	0,08
	РД EW	-0,26	-0,06	-0,16	-0,09	-0,04	0,08	-0,23
	ПД LW	0,15	0,45	0,47	0,39	0,45	-0,14	0,14
11-20	ГК AR	0,05	0,16	0,16	0,16	0,09	0,02	0,01
	РД EW	0,04	0,19	0,18	0,12	0,20	-0,05	-0,08
	ПД LW	0,02	0,15	0,14	0,18	0,05	0,01	-0,01
21-30	ГК AR	0,06	0,07	0,08	0,09	0,01	-0,03	0,05
	РД EW	0,04	0,02	0,03	-0,04	0,09	-0,04	0,03
	ПД LW	0,03	0,09	0,09	0,11	0,01	-0,05	0,02

31-40	ГК AR	-0,03	0,10	0,08	0,13	0,04	-0,15	-0,07
	РД EW	0,19	0,06	0,13	0,08	0,03	-0,11	0,17
	ПД LW	-0,11	0,05	0,00	0,10	-0,02	-0,14	-0,15
41-50	ГК AR	0,00	0,11	0,09	0,08	0,12	-0,04	0,01
	РД EW	0,03	0,07	0,07	0,08	0,08	-0,09	0,01
	ПД LW	-0,04	0,12	0,09	0,07	0,13	0,01	-0,01
51-60	ГК AR	-0,03	-0,01	-0,02	-0,05	0,01	0,03	-0,03
	РД EW	-0,07	0,00	-0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,08
	ПД LW	0,04	-0,01	0,01	-0,08	0,03	0,05	0,04
61-70	ГК AR	-0,05	0,10	0,05	0,10	0,04	0,05	-0,01
	РД EW	0,02	0,16	0,12	0,12	0,11	0,08	0,06
	ПД LW	-0,13	-0,01	-0,06	0,04	-0,03	-0,05	-0,11
71-80	ГК AR	0,25	0,33	0,37	0,22	0,23	0,08	0,28
	РД EW	0,21	0,22	0,27	0,22	0,09	0,06	0,17
	ПД LW	0,22	0,30	0,34	0,16	0,25	0,07	0,29

Примечание. ХП, ТП, г/г, IV-VI, VII-IX и X – за холодный, теплый периоды, гидрологический год, апрель-июнь, июль-сентябрь и октябрь гидрологического года.

Note. ХП, ТП, г/г, IV-VI, VII-IX and X are for cold, warm periods, hydrological year, April-June, July-September and October of the hydrological year.

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's own calculations

В этом обеспеченном теплом регионе с большой продолжительности вегетационного периода атмосферные осадки октября не оказывают влияния на рост дуба в толщину. Их величина лишь незначительно повышает его зависимость от осадков холодного периода в следующем г/г (до 70-летнего возраста r не превышает 0,01-0,17), свидетельствуя о большом расходе влаги октябрьских дождей на физическое испарение. Однако коэффициент вариации суммы осадков холодного периода текущего года, вместе с осадками за октябрь предыдущего г/г, снижается на 11% (с 53 до 42%), что не исключает возможность их позитивного влияния на влагозарядку почвы – выравнивание весеннего запаса влаги по годам.

Анализ связи радиального прироста древесины с осадками отдельно по пробным площадям свидетельствует о ее большой изменчивости. Тем не менее, в сформировавшихся (30-50 лет) и старшего возраста древостоях на относительно тяжелых почвогрунтах (ПП 1, 5, 7, 8, 9, 10, физической глины в 2-м слое 6-14 %) и при глубоком залегании (5-7 м) минерализованной (7-10 г/л) ГВ она более тесная ($r=0,30-0,77$), особенно с

осадками холодного периода и июля – сентября. На участках с более легкими отложениями или близким залеганием менее засоленной грунтовой влаги эта связь ослабевает. А при УГВ 3-4 м связь прироста с суммой атмосферных осадков становится отрицательной (ПП 3, 4), и, по-видимому, объясняется высоким подъемом ее уровня во влажные годы, подтоплением и кислородным голоданием корневой системы дуба.

Данные математического анализа связи радиального прироста древесины с почвенно-грунтовыми условиями (табл. 5) не противоречат сделанным выводам.

Так, на среднюю (за весь период жизни древостоев) толщину годичного кольца и поздней древесины положительно сказывается утяжеление состава верхнего 2-метового слоя – повышение его влагоемкости. Особенно сильно ($r=0,30-0,77$) этот эффект проявляется в насаждениях до 20-летнего возраста, и обусловлен формированием относительно большого стартового запаса почвенной влаги, ее повышенной биологической эффективностью в период, когда ГВ еще не доступна, или мало доступна для корней. В среднем

возрасте, после исчерпания буферного запаса почвенной влаги и снижения эффективности осадков гидрологического года, значение глинистости песков снижается до незначительной величины и становится противоречивой, а после 50-ти лет снова повышается.

Понижение уровня ГВ и повышение ее концентрации, напротив, сопровождаются сокращением средней толщины годичного кольца и поздней древесины, особенно в период наиболее активного роста древостоев. С возрастом насаждений их значение может становиться как положительным, так и отрицательным, что, очевидно, обусловлено большой мозаикой и неоднозначностью влияния различных сочетаний почвенно-грунтовых факторов на водное питание дуба.

Оценка совместного влияния различных почвенно-грунтовых факторов (см. табл. 5), вследствие их наложения, а также воздействия лесокультурных, биоценологических и других особенностей, не дает однозначного ответа на вопрос о динамике лесопригодности земель.

Зависимость (*r*) радиального прироста дуба черешчатого в пастбищезащитных насаждениях на Терско-Кумских песках от почвенно-грунтовых условий/
*The dependence (*r*) of the radial growth of scalloped oak in pasture-protective plantations on the Tersko-Kuma sands on soil and soil conditions*

Возраст древостоя, лет The age of the stand, age	Ширина прироста, мм Increment width, mm	Экологические факторы					
		СФГ, % РСС, %	УГВ, м GV, m	МГВ, г/л MG, g/l	СФГ+ УГВ РСС + GV	СФГ+ МГВ РСС + MG	УГВ+ МГВ GV + MG
До 10 лет Up to 10 years old	ГК AR	0,34	-0,07	-0,72	-0,74	0,38	-0,73
	РД EW	0,12	-0,17	-0,48	-0,55	0,17	-0,48
	ПД LW	0,32	-0,02	-0,65	-0,66	0,39	-0,66
В 11-20 лет At the age of 11-20	ГК AR	0,72	-0,32	-0,55	-0,69	0,73	0,80
	РД EW	0,39	-0,28	-0,09	-0,32	0,40	0,40
	ПД LW	0,65	-0,27	-0,52	-0,64	0,67	0,74
В 21-30 лет At the age of 21-30	ГК AR	-0,12	0,51	0,02	0,52	0,56	-0,12
	РД EW	-0,28	0,39	0,08	0,42	0,40	-0,28
	ПД LW	-0,09	0,43	0,04	0,44	0,48	-0,09
В 31-40 лет At the age of 31-40	ГК AR	-0,10	0,01	-0,39	-0,39	-0,11	-0,45
	РД EW	-0,27	0,00	-0,11	-0,11	-0,34	-0,33
	ПД LW	0,15	-0,04	-0,53	-0,54	0,16	-0,53
В 41-50 лет At the age of 41-50	ГК AR	-0,27	0,10	-0,26	-0,27	-0,29	-0,45
	РД EW	-0,29	0,10	-0,16	-0,17	-0,31	-0,39
	ПД LW	-0,19	0,09	-0,32	-0,32	-0,19	-0,44
В 51-60 лет At the age of 51-60	ГК AR	0,08	-0,31	0,57	0,61	-0,34	0,63
	РД EW	-0,23	-0,09	0,51	0,51	-0,37	0,52
	ПД LW	0,29	-0,40	0,43	0,54	-0,40	0,61
В 61-70 лет At the age of 61-70	ГК AR	0,11	-0,46	0,51	0,63	-0,50	0,57
	РД EW	-0,23	-0,15	0,48	0,23	-0,18	0,24
	ПД LW	0,39	-0,56	0,33	-0,19	0,12	0,19
В 71-80 лет At the age of 71-80	ГК AR	0,46	-0,90	0,24	-0,91	-0,91	0,61
	РД EW	0,36	-0,77	-0,25	-0,76	-0,61	0,15
	ПД LW	0,42	-0,80	0,40	-0,55	-0,46	0,24
За весь период жизни For the entire period of life	ГК AR	0,43	-0,18	-0,62	-0,68	0,45	-0,68
	РД EW	-0,17	-0,02	-0,06	-0,07	-0,23	-0,20
	ПД LW	0,47	-0,14	-0,52	-0,57	0,50	-0,62

Примечание. Обозначения те же, что и в таблицах 1 и 3.

Note. The designations are the same as in Tables 1 and 3.

Источник: собственные вычисления автора

Source: the author's own calculations

Тем не менее, полученные данные позволяют утверждать, что в первом десятилетии жизни с понижением УГВ с 3-4 до 7-8 м прирост дуба в толщину сокращается как в первой, так и во второй половине периода вегетации ($r = -0,48$ и $-0,66$). Во втором – по-видимому, благодаря достижению корнями капиллярной каймы ГВ, он ускоряется. В 3-5-ом десятилетиях рост древостоя замедляет повышение МГВ. Позднее положительный отзыв радиального прироста на понижение УГВ высокой концентрации можно объяснить изреживанием насаждений, снижением их потребности в грунтовой влаге и позитивной динамикой атмосферного увлажнения в нулевые годы текущего столетия.

В целом проведенное исследование подтверждает вывод Н.Ф. Кулика о решающей роли грунтовой влаги в питании сформировавшихся насаждений дуба на песках Восточного Предкавказья, но оно имеет существенную возрастную, эдафическую динамику и может корректироваться в процессе их выращивания.

Выводы

Таким образом, на песках Терско-Кумского междуречья влияние атмосферных осадков на увлажнение ризосферы и водное питание древостоев носит крайне неустойчивый характер. С возрастом насаждений и ростом их потребности в почвенной влаге оно снижается. При норме расхода сомкнутых дубрав на транспирацию в размере 300-350 мм/год оно может удовлетворяться за счет осадков лишь в 6-9 % лет. В остальные годы их влагообеспеченность, рост и состояние определяет доступность грунтовой воды (капиллярно-подпертой влаги), пополнение которой происходит путем подтока со стороны соседних слабо заросших или открытых песков.

Негативной особенностью климата региона является низкая увлажняющая эффективность летне-осенних дождей, небольшая величина и крайне высокая изменчивость суммы осадков холодного периода. Поэтому, на влагообеспеченность, рост и состояние лесонасаждений большое влияние оказывают рельеф, почвенно-грунтовые, агротехнические, лесокультурные и биоценоотические факторы, от

которых зависит стартовый запас, биологическая эффективность доступной влаги, интенсивность ее потребления и пополнения.

Лесорастительные условия облесенных площадей ухудшаются с возрастом древостоев в связи с израсходованием многолетнего (стартового) запаса почвенной влаги, снижением уровня и повышением минерализации грунтовой воды. Пастбищная дигрессия травостоя на прилегающих выпасах замедляет эти процессы, способствует повышению долговечности насаждений.

С небольшим допущением можно утверждать, что лучшие для роста дуба условия складываются на супесчаной почве понижений с неглубоким (2-4 м) залеганием пресной или слабо минерализованной грунтовой воды.

На бугристых пылевато-мелкозернистых многочисленных песках Бажиганского массива при высокой пестроте лесорастительных условий лесообразовательный потенциал земель имеет сравнительно небольшие различия. В молодом возрасте культуры дуба энергично растут как при относительно неглубоком залегании ГВ (в понижениях рельефа), так и при значительной мощности зоны аэрации с наличием большого стартового запаса почвенной влаги. Относительно тяжелый состав верхнего (0-50 см) слоя снижает эффективность осадков теплого периода, ухудшает их водное питание. Условия роста сформировавшихся дубрав на этих песках постепенно ухудшаются с повышением минерализации ГВ. Прогрессирующее угнетение прироста древостоя наступает при её значениях выше 8-9 г/л.

Облесение песчаных земель региона культурами дуба нуждается в дифференцированном подходе.

При освоении участков с супесчаными почвами на одночленных или многочисленных низковлагодомкких песках при неглубоком залегании пресной или слабо засоленной грунтовой воды, наиболее важными являются мероприятия, направленные на снижение интенсивности ее потребления. Они должны включать зяблевую или однолетнюю паровую обработку почвы, посадку (посев) умеренно густых чистых культур дуба,

агротехнические уходы до смыкания крон в междурядьях, своевременное интенсивное изреживание молодняков.

При облесении мощных многочленных песков важно иметь большой стартовый запас почвенной влаги и обеспечивать его экономное расходование. Для этого в первую очередь целесообразно осваивать земли, продолжительное время пребывающие в слабо заросшем состоянии. На сильно задернелых песках следует применять влагонакопительную основную обработку почвы.

Создавать необходимо чистые культуры с относительно широкими междурядьями и увеличенным шагом посадки (посева), своевременно проводить агротехнические уходы. Рубки прочистки и прореживания должны обеспечивать равномерно-редкое размещение деревьев при неплотно сомкнутом состоянии крон.

На всех типах песков актуально мелкоконтурное размещение культур и чередование их с открытыми участками функционирующих пастбищ.

Список литературы

1. Манаенков А.С., Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. Лесопастбищное освоение опустыненных земель Прикаспия // *Arid Ecosystems*. – 2023. – Т. 29, № 1(94). – С. 15–24. – DOI: <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-15-24>.
2. Dogliotti, G., Rizzo, I., Baietto, A., et al. (2025). Evaluating the effect of tree position on crown area, height, and crown asymmetry in Silvopastoral systems using drone laser scanning (DLS)-based segmentation. *Agroforestry Systems*, 99, Article 240. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01340-3>
3. Le, T.H., Bonari, G., Sauerwein, M., et al. (2025). Traditional agroforestry systems in Europe revisited: a systematic review. *Agroforestry Systems*, 99, Article 236. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01335-0>
4. Llanos, P.N., Gonzalez, C.M., Fedrigo, J.K., et al. (2025). Early-stage Eucalyptus-based silvopastures improve thermal comfort conditions for cattle grazing native grasslands during summer. *Agroforestry Systems*, 99, Article 255. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01347-w>
5. Manaenkov, A.S., & Rybashlykova, L.P. (2020). Increasing the efficiency of plant-cover restoration in the modern focus of deflation on pastures of the northwestern Caspian region. *Arid Ecosystems*, 10(4), 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
6. Safer, M., Zubair, M., Hussain, T., et al. (2025). Climatic variability linkages with agroforestry adoption in Pakistan: a socio-ecological review. *Agroforestry Systems*, 99, Article 263. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01359-6>
7. Sánchez-Romero, R., Balvanera, P., García-Barrios, L.E., et al. (2025). Impacts of silvopastoral management intensity and forest age on vegetation and soils of dry tropical forests. *Agroforestry Systems*, 99, Article 220. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01334-1>
8. Tyutyuma, N.V., Bulakhtina, G.K., Kudryashov, A.V., & Kudryashova, N.I. (2020). Meliorative efficiency of shrub coulisses in arid pastures of southern Russia. *Arid Ecosystems*, 10(1), 52–57. <https://doi.org/10.1134/S2079096120010126>
9. Uhl, E., Biber, P., Ulbricht, M., et al. (2015). Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental gradient: experimental design, evaluation methods, and results. *Forest Ecosystems*, 2, Article 17. <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0041-8>
10. Zhang, H., Zhou, Y., Ji, X., Wang, Z., & Liu, Z. (2025). Climate change drives the adaptive distribution and habitat fragmentation of *Betula albosinensis* forests in China. *Forests*, 16(1), Article 184. <https://doi.org/10.3390/f16010184>
11. Lim, W., Park, H.-C., Park, S., Seo, J.-W., Kim, J., & Ko, D.W. (2025). Modeling Tree Mortality Induced by Climate Change-Driven Drought: A Case Study of Korean Fir in the Subalpine Forests of Jirisan National Park, South Korea. *Forests*, 16(1), Article 84. <https://doi.org/10.3390/f16010084>
12. Yang, R., Wang, F., Tang, X., Cui, J., Wang, G., Guo, L., & Zhang, H. (2025). Quantification of Soil Water Dynamics Response to Rainfall in Forested Hillslope Based on Soil Water Potential Measurement. *Forests*, 16(1), Article 75. <https://doi.org/10.3390/f16010075>
13. Zhang, W., Chen, W., Xu, M., Di, K., Feng, M., Wu, L., Wang, M., Yang, W., Xie, H., Chen, J., et al. (2025). Differences

- in the Sensitivity of Gross Primary Productivity and Ecosystem Respiration to Precipitation. *Forests*, 16(1), Article 153. <https://doi.org/10.3390/f16010153>
14. Каплина Н.Ф. Составляющие динамики прироста ранней и поздней древесины ствола дуба черешчатого в нагорной дубраве южной лесостепи // *Известия вузов. Лесной журнал*. – 2020. – № 5(337). – С. 51–63.
 15. Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах // *Известия вузов. Лесной журнал*. – 2020. – № 5. – С. 64–80.
 16. Housset, J.M., Tóth, E.G., Girardin, M.P., Tremblay, F., Motta, R., Bergeron, Y., & Carcaillet, C. (2021). Tree-rings, genetics and the environment: Complex interactions at the rear edge of species distribution range. *Dendrochronologia*, 69, Article 125863. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125863>
 17. Kazimirović, M., Stajić, B., Petrović, N., et al. (2024). Dynamic height growth models for highly productive pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands: explicit mapping of site index classification in Serbia. *Annals of Forest Science*, 81, Article 15. <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01231-0>
 18. Laskurain, N.A., Aldezabal, A., Odriozola, I., Camarero, J.J., & Olano, J.M. (2018). Variation in the Climate Sensitivity Dependent on Neighbourhood Composition in a Secondary Mixed Forest. *Forests*, 9(1), Article 43. <https://doi.org/10.3390/f9010043>
 19. Maillet, J., Nehemy, M.F., Mood, B., Pappas, C., Bonsal, B., & Laroque, C. (2022). A Multi-Scale Dendroclimatological Analysis of Four Common Species in the Southern Canadian Boreal Forest. *Dendrochronologia*, 72, Article 125936. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125936>
 20. Savero, A.M., Kim, J.-H., Purusatama, B.D., Prasetya, D., Wahyudi, I., Iswanto, A.H., Lee, S.-H., & Kim, N.-H. (2024). Radial Variation of Wood Anatomical Characteristics and Maturation Ages of Six Korean Oak Species. *Forests*, 15(3), Article 433. <https://doi.org/10.3390/f15030433>
 21. Tree Ring: Online International Tree-Ring Data Bank. NOAA, National Centers for Environmental Information. Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>

References

1. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P., Sivtseva S.N., Makhovikova T.F. Lesopastbishchnoe osvoenie opustynennykh zemel' Prikaspiya. [Silvopastoral development of desertified lands of the Caspian region]. *Arid Ecosystems*. 2023;29(1(94)):15-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-15-24>.
2. Dogliotti G., Rizzo I., Baietto A. et al. Evaluating the effect of tree position on crown area, height, and crown asymmetry in Silvopastoral systems using drone laser scanning (DLS)-based segmentation. *Agroforestry Systems*. 2025;99:240. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01340-3>.
3. Le T.H., Bonari G., Sauerwein M. et al. Traditional agroforestry systems in Europe revisited: a systematic review. *Agroforestry Systems*. 2025;99:236. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01335-0>.
4. Llanos P.N., Gonzalez C.M., Fedrigo J.K. et al. Early-stage Eucalyptus-based silvopastures improve thermal comfort conditions for cattle grazing native grasslands during summer. *Agroforestry Systems*. 2025;99:255. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01347-w>.
5. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the efficiency of plant-cover restoration in the modern focus of deflation on pastures of the northwestern Caspian region. *Arid Ecosystems*. 2020;10(4):358-367. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>.
6. Safeer M., Zubair M., Hussain T. et al. Climatic variability linkages with agroforestry adoption in Pakistan: a socio-ecological review. *Agroforestry Systems*. 2025;99:263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01359-6>.
7. Sánchez-Romero R., Balvanera P., García-Barrios L.E. et al. Impacts of silvopastoral management intensity and forest age on vegetation and soils of dry tropical forests. *Agroforestry Systems*. 2025;99:220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01334-1>.
8. Tyutyuma N.V., Bulakhtina G.K., Kudryashov A.V., Kudryashova N.I. Meliorativnaya effektivnost' kulis iz kustarnikov na aridnykh pastbishchakh yuga Rossii. [Meliorative efficiency of shrub coullisses on arid pastures of the south of Russia]. *Arid Ecosystems*. 2020;10(1):52-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079096120010126>.

9. Uhl E., Biber P., Ulbricht M. et al. Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental gradient: experimental design, evaluation methods, and results. *Forest Ecosystems*. 2015;2:17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0041-8>.
10. Zhang H., Zhou Y., Ji X., Wang Z., Liu Z. Climate change drives the adaptive distribution and habitat fragmentation of *Betula albosinensis* forests in China. *Forests*. 2025;16(1):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl6010184>.
11. Lim W., Park H.-C., Park S., Seo J.-W., Kim J., Ko D.W. Modeling Tree Mortality Induced by Climate Change-Driven Drought: A Case Study of Korean Fir in the Subalpine Forests of Jirisan National Park, South Korea. *Forests*. 2025;16(1):84. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl6010084>.
12. Yang R., Wang F., Tang X., Cui J., Wang G., Guo L., Zhang H. Quantification of Soil Water Dynamics Response to Rainfall in Forested Hillslope Based on Soil Water Potential Measurement. *Forests*. 2025;16(1):75. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl6010075>.
13. Zhang W., Chen W., Xu M., Di K., Feng M., Wu L., Wang M., Yang W., Xie H., Chen J. et al. Differences in the Sensitivity of Gross Primary Productivity and Ecosystem Respiration to Precipitation. *Forests*. 2025;16(1):153. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl6010153>.
14. Kaplina N.F. Sostavlyayushchiye dinamiki prirosta ranney i pozdney drevesiny stvola duba chereschatogo v nagornoy dubrave yuzhnoy lesostepi. [Components of the dynamics of early and late wood increment of the pedunculate oak stem in the upland oak forest of the southern forest-steppe]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2020;(5(337)):51-63. (In Russ.).
15. Kuz'min S.R. Reaktsiya shiriny godichnogo kol'tsa i doli pozdney drevesiny u sosny obyknovennoy na pogodnyye usloviya v geograficheskikh kul'turakh. [Response of the width of the annual ring and the proportion of latewood in Scots pine to weather conditions in geographical cultures]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2020;(5):64-80. (In Russ.).
16. Housset J.M., Tóth E.G., Girardin M.P., Tremblay F., Motta R., Bergeron Y., Carcaillet C. Tree-rings, genetics and the environment: Complex interactions at the rear edge of species distribution range. *Dendrochronologia*. 2021;69:125863. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125863>.
17. Kazimirović M., Stajić B., Petrović N. et al. Dynamic height growth models for highly productive pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands: explicit mapping of site index classification in Serbia. *Annals of Forest Science*. 2024;81:15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01231-0>.
18. Laskurain N.A., Aldezabal A., Odriozola I., Camarero J.J., Olano J.M. Variation in the Climate Sensitivity Dependent on Neighbourhood Composition in a Secondary Mixed Forest. *Forests*. 2018;9(1):43. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9010043>.
19. Maillet J., Nehemy M.F., Mood B., Pappas C., Bonsal B., Laroque C. A Multi-Scale Dendroclimatological Analysis of Four Common Species in the Southern Canadian Boreal Forest. *Dendrochronologia*. 2022;72:125936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125936>.
20. Savero A.M., Kim J.-H., Purusatama B.D., Prasetya D., Wahyudi I., Iswanto A.H., Lee S.-H., Kim N.-H. Radial Variation of Wood Anatomical Characteristics and Maturation Ages of Six Korean Oak Species. *Forests*. 2024;15(3):433. DOI: <https://doi.org/10.3390/fl15030433>.
21. Tree Ring: Online International Tree-Ring Data Bank. NOAA, National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>

Сведения об авторах

Манаенков Александр Сергеевич – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр., заведующий лабораторией Защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», manaenkov-a@vfanc.ru.

Андреев Сергей Юрьевич – директор Северо-Кавказского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук».

Ульянов Максим Андреевич – лаборант-исследователь лаборатории Защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», ulyanov-m@vfanc.ru.

Information about the authors

Alexander S. Manaenkov – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Scientist. Associate Professor, Head of the Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of low-yielding lands. Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", manaenkov-a@vfanc.ru.

Sergey Yu. Andreev – is the director North Caucasus Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences".

Maxim A. Ulyanov – is a laboratory researcher at the Laboratory of Protective Afforestation and phytomelioration of low-yielding lands. Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", ulyanov-m@vfanc.ru.