А. С. МАНАЕНКОВ

ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ АРЕН ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ

Волгоград∗ФНЦ агроэкологии РАН∗2018

УДК 634.0232.631.411.1
Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. – 2-е изд. перераб. и доп. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. – 428 с.

Рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с лесомелиоративным обустройством и безопасным вовлечением в хозяйственный оборот систем природоохранных объектов нарушенных песчаных земель на юге Русской равнины. Обосновано расширение комплекса форм их освоения и развитие нетрадиционного природопользования. Приводятся оригинальная методика ландшафтно-хозяйственной классификации арен и критерии их облесения на территории засушливого пояса.

Особое внимание уделено теоретическому и экспериментальному обоснованию количественной оценки лесопригодности земель, рубок ухода в молодняках сосны как средства повышения их влагообеспеченности.

Рассмотрены особенности роста и питания культур сосны на близководных песках аридной зоны. Разработаны научное обоснование и технология лесокультурного освоения высокобугристых арен полупустыни.

Раскрыта специфика формирования пожарной и патологической опасности в искусственных хвойных лесах, а также влияния лесоразведения на гидрологический режим песков степной зоны.

Большую часть работы занимает изложение научных основ и новых технологий восстановления растительного покрова в современных очагах дефляции и на сильно сбитых пастбищах Северо-Западного Прикаспия.

Рассмотрена эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации низкопродуктивных земель.

Книга предназначена для использования учеными, аспирантами, специалистами проектных и производственных предприятий лесного, аграрного и природоохранного профиля, а также студентами высших учебных заведений.

В настоящее издание внесены изменения и дополнения в главы 2 и 9.

Manayenkov A. S. Forest reclamation of dry zone arenas. – 2nd edition revised and corrected. – Volgograd: FSC of agroecology of RAS, 2018. – 428 p.

Wide range of aspects connected with forest reclamation arrangement and safe involving in economic activities of nature protected sites on degraded sandy lands of southern Russian plane is considered. The expansion of their developing variants complex and nonconventional nature use is reasoned. The original methods of landscape-economical characteristics of arenas and criteria for their afforestation on the territory of droughty belt are grounded.

Special emphasis to theoretical and experimental substantiation of quantitative estimation of lands forest suitableness and improvement cuttings in young pine plantations as means of their moisture supply increase is laid.

The peculiarities of pine plantations growth and nutrition on arid zone sands with high ground water are considered. Scientific basis and technology of high-hilly semidesert arenas developing by means of forest plantations are worked out.

The specificity of fire and pathology danger forming in planted coniferous forests as well as influence of forestations upon hydrological regime of steppe zone sands is discovered.

The statement of scientific basis and new technologies for vegetative cover restoration in modern deflation focus and strongly devastated pastures of North-Western Pricaspian takes up much on paper.

Ecological and economical effectiveness of low-productive lands forest reclamation is considered.

This book is intended for scientists, students and post-graduate students, as well as for specialists of design and production enterprises of forest, agrarian and environmental types.

Рецензент – **А. М. Степанов**, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор с.-х. наук, профессор

© А. С. Манаенков, 2014
© Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, 2014
© А. С. Манаенков, 2018, дополнение и переработка
ISBN 978-5-9909842-3-3 © ФНЦ агроэкологии РАН, 2018, дополнение и переработка

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АО – аккумулятивная область
ВЗ – влажность завядания
ГВ – грунтовая вода
ГГ – гидрологический год
ДАВ – диапазон активной влаги
ДАО – деструктивно-аккумулятивная область
ДК – дефляционная котловина
ДО – деструктивная область
ЗЛН – защитное лесное насаждение
ЗП – землепользование
ЕТР – европейская территория России
КК – капиллярная кайма
КС – корнеобитаемый слой
ЛП – лесная полоса
МГ – максимальная гигроскопичность
МГВ – минерализация грунтовой воды
НВ – наименьшая влагоемкость
ПВ – продуктивная влагоемкость
ПП – пробная площадь
УГВ – уровень грунтовой воды
ФГ – физическая глина
ЦБ – цепи барханов
ЭХФ – эколого-хозяйственный фактор

ВВЕДЕНИЕ

В ряду наиболее острых вызовов современного мира стоят задачи сохранения и рационального использования земельных и водных ресурсов, за историческое время в наибольшей степени подвергшихся трансформации и загрязнению. Особенно проблемным в этом отношении является засушливый пояс Земли, где наиболее продолжительная и повышенная антропогенная нагрузка сочетается с невысокой устойчивостью природных экосистем.

Одним из обширных засушливых регионов является южная треть Восточно-Европейской (Русской) равнины, в широтном направлении распростертая от Карпат до Уральских гор. За последние 100-150 лет почвенный покров на этой территории опасно деградировал, многие средние и крупные реки и водоемы превратились в коллекторы или хранилища сточных вод, а малые реки и ручьи заилились и прекратили существование. Основная причина негативных процессов заключается в ненормированной распашке, истощительном использовании кормовых угодий, уничтожении лесов и строительстве плотин гидроэлектростанций. На этой территории только в границах РФ, где сосредоточено около 25% сельскохозяйственных земель страны, в той или иной степени деградацией охвачено более половины угодий (свыше 27 млн га) [291], а затоплению подверглись свыше 1,5 млн га плодородных земель. Лесистость черноземной полосы снизилась в 3-6 раз, водосборных бассейнов крупных рек в 1,3-3,0 раза [361]. Под влиянием антропогенного фактора их годовой сток на юге России уменьшился на 10-40% [405], что привело к снижению и без того недостаточной водообеспеченности развитой агропромышленной территории.

От агропастбищного воздействия, а в последние десятилетия и транспорта, геологоразведки и добычи полезных ископаемых, строительных работ в наибольшей степени пострадали песчаные массивы (арены) и приаренный комплекс земель с податливыми дефляции почвами. Очагами масштабной эоловой трансформации песчано-степных ландшафтов в разное время являлись арены речных долин степной зоны (Нижнеднепровские, Придонские, При-

волжские) и песчаные массивы обширных полупустынных и пустынных районов Волго-Уральского, Волго-Кумского и Терско-Кумского междуречий, на 80% состоящих из пастбищ. В годы вспышки дефляции на их территории насчитывалось до 1 [177] – 4 млн га [390] подвижных песков. На кормовых угодьях Черных земель Калмыкии во второй половине XX в. возникла и около 20 лет просуществовала дефляционная пустыня. В период кульминации в ядре ее развития убыль пастбищных экосистем достигала 5% в год. Эоловой перестройке подверглось около 55% занятой ими территории [177].

Антропогенно обусловленная трансформация песчаных земель сопровождается аридизацией местного климата, резким ухудшением состояния природной среды, снижением плодородия, устойчивости, усложнением строения поверхностных отложений. Местности с древними почвами и богатыми коренными экосистемами замещаются бугристыми песками с бедным растительным покровом и низкой несущей способностью, доля которых уже достигла 30-50% площади многих арен. Часто необратимо разрушается хозяйственная инфраструктура и демографическое благополучие обжитых территорий, а нанесенный им эколого-экономический ущерб (в современном ценовом исчислении) может превышать триллион рублей [301].

В связи с этим возникла необходимость в широкомасштабном искусственном закреплении и облесении песков, что привело к развитию методов лесной, комплексной мелиорации и адаптивного хозяйственного освоения песчаных земель [46]. Результатом их практического воплощения на территории региона в минувшем столетии стало восстановление пастбищных и полевых угодий, создание садов и виноградников на площади около 1 млн га, а также сплошное облесение более 450 тыс. га малопродуктивных песчаных земель [46, 302]. В степной зоне ежегодно создавалось более 10 тыс. га новых лесных, преимущественно сосновых, насаждений защитно-хозяйственного назначения. Лесная мелиорация предотвратила огромный ущерб от разрушения почвенного покрова, засыпания песком промышленных, транспортных, жилых и водных объектов, уменьшила поверхностный сток, многократно усилила природосберегающую и рекреационную функцию арен.

Однако, несмотря на большой опыт и рост технической оснащенности лесокультурных и лесоводственных работ, эффективность лесоразведения и лесной мелиорации нарушенных зе-

мель в регионе недостаточно высока. Одной из причин является сложность лесорастительных условий, вызванная дефицитом и динамичностью по годам атмосферного увлажнения, большой климатической, геолого-геоморфологической неоднородностью территории, ростом нагрузки и разнообразия антропогенного воздействия на ландшафты. Не последнюю роль играет в этом и быстрая смена экономических и социальных приоритетов в использовании природных ресурсов.

По-прежнему одной из сложных научных задач является установление главной причины безлесья степных равнин, повышение объективности оценки лесопригодности земель засушливой зоны как основы планирования лесомелиоративных и лесохозяйственных мероприятий с ориентацией на повышение засухоустойчивости и долговечности насаждений.

Остается актуальной оценка возможности использования ландшафтно-гидрологических ресурсов и оптимальной лесистости, а также модернизация агротехники облесения бугристогрядовых песков полупустыни.

Расширение площади хвойных лесов на территории засушливых областей спровоцировало развитие лесных пожаров, опасных инвазий и эпифитотий, вызвало необходимость разработки зональной системы мероприятий противопожарной и санитарной профилактики, не вызывающих снижения жизнестойкости древостоев.

Остается в состоянии дискуссии и нуждается в разрешении проблема оценки гидрологической роли лесов [64]. Особенно остро она возникает при планировании лесоразведения на песках степной зоны.

В мире непрерывно растет спрос на услуги отдыха и туризма, развивается рекреационное освоение земель засушливого пояса [9, 15, 49, 196], в котором арены могут занять ведущее положение. В связи с этим большое практическое значение имеет развитие методов оперативной оценки наибольшей отраслевой пригодности песчаных земель с акцентом на повышение безопасности природопользования.

Поскольку лесная мелиорация признается обязательным условием и важным элементом адаптивного хозяйственного освоения арен, необходимо совершенствование системы критериев оптимизации лесоразведения на песках.

Вспышкой деградации земель в Прикаспии в конце XX в. и

высокой вероятностью ее повторения в связи с развитием рынка продукции животноводства на территории стран Содружества обусловлено совершенствование и обогащение арсенала методов и приемов закрепления песков и комплексной фитомелиорации деградированных кормовых угодий, повышения продуктивности и устойчивости равнинных пастбищ аридной зоны.

В настоящей монографии в той или иной мере затронуто решение всех перечисленных проблем. Использованы результаты экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в 1980-2013 гг. Кроме автора в разное время в этой работе принимали участие Н. С. Зюзь, А. Ф. Гусиков, В. А. Дидык, А. К. Кладиев, В. И. Кондрашов, А. Н. Кузин, Н. А. Прозоров и др. Планирование исследований и обсуждение их результатов проходили при участии А. Г. Гаеля, В. С. Габая, Н. Ф. Кулика, К. Н. Кулика, В. И. Петрова, А. С. Подгорнова. Всем им выражаю искреннюю благодарность.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Засушливая зона на юге Русской равнины занимает свыше 1 млн км^2 (Юго-Восток б. СССР) и охватывает биоклиматический пояс лесостепь – пустыня. Континентальность и засушливость климата ее территории увеличиваются с северо-запада на юго-восток (амплитуда многолетних абсолютных температур воздуха достигает 80-86°С, от 35-45°С в июле до –40…–45°С в январе). Она высоко обеспечена теплом – годовая сумма положительных температур воздуха составляет 2700-4100°С, температур выше 10°С – 2100-3600°С. Норма осадков уменьшается с 450-600 мм/год в лесостепи до 170-160 мм/год в пустыне Прикаспия, а испаряемость увеличивается с 450-500 мм/год до 800-1000 мм/год [11, 23 и др.].

Особенности климата региона: большая изменчивость годовой и сезонных сумм атмосферных осадков, сильные ветры в весенний период, быстрое нарастание числа суховеев и засушливости теплого периода (рис. 1), а также случаев совместного проявления атмосферных и почвенных засух во второй половине лета – осенью осложняют проведение и ограничивают результативность лесокультурных работ на песках. В направлении от степных к пустынным районам стремительно увеличивается опасность гибели молодых насаждений от недостатка влаги.

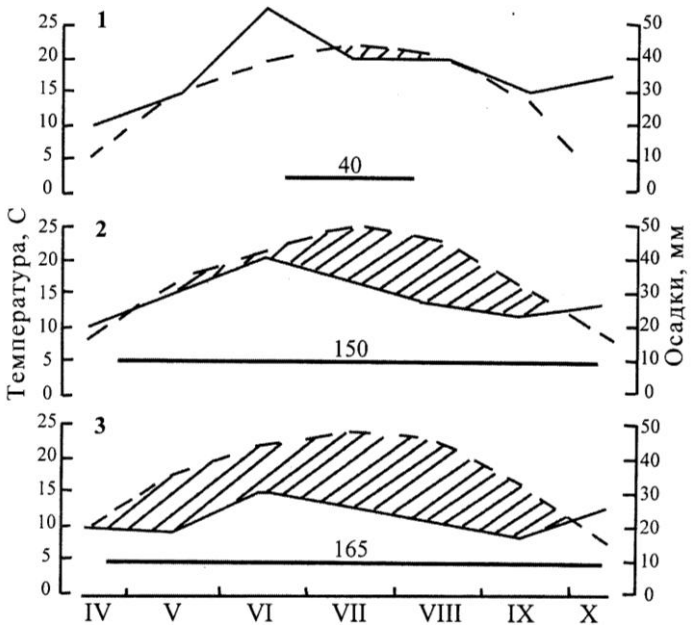


Рис. 1. Гидротермическая напряженность вегетационного периода (по методике Г. Вальтера) [67]:

1 – степь (г. Михайловка), 2 – сухая степь (г. Волгоград), 3 – полупустыня (п. Урда); – – – – среднемесячная температура воздуха, ——— – среднемесячные осадки, – засушливый период, 165 – продолжительность засушливого периода

Ветровой режим наиболее выражен в Прикаспии. На его территории доля дефляционно-опасных потоков (скоростью 5-6 м/с и более) составляет 30-41% [341]. Дефляционные процессы наиболее часто вызывают восточные ветры. Летом на них приходится 22-31% случаев, в осенне-зимний период 33-46%, а в марте – апреле до 48%. Опасных ветров западных румбов в 1,5 раза меньше.

Площадь арен в структуре земель также увеличивается в юго-восточном направлении и вместе с легкими почвами приаренного пояса составляет более 17 млн га [295]. По генезису отложений они принадлежат четырем геохимическим провинциям [127], которые объединяют в лесорастительные районы кварцевых и полиминеральных (полимиктовых) песков, существенно отличающиеся по условиям укоренения и питания древостоев. Эти условия в большой степени изменяются и под влиянием эоловой переработки почвенного покрова [96].

Арены Волго-Донского междуречья и правобережья Дона сложены древними аллювиальными и морскими кварцевыми (полевых шпатов до 5%) бескарбонатными очень бедными (растворимых соединений менее 1%) средне-мелкозернистыми песками. Небольшое содержание пыли (0,6-1,9%) и физической глины (ФГ) (0,6-2,3%) определяет их низкую водоудерживающую способность (полевая или наименьшая влагоемкость (НВ) равна 3,5%, влажность завядания (ВЗ) – 0,2-0,5%), повышенную объемную массу (1,55-1,70 г/см^3), твердость сложения (1,8-4,0 МПа) и плохую корнепроницаемость [36, 62, 89, 147, 383]. На материнских аллювиальных отложениях сформировались супесчаные, преимущественно черноземовидные почвы, а на древнеперевеянных – более поздние связнопесчаные дерновые почвы [87]. За историческое время на большой площади они разрушены и обращены в массивы бугристых песков с комплексом погребенных и молодых разновозрастных почв.

В верхнем 2-метровом слое гривистых равнин с супесчаными почвами средневзвешенное содержание ФГ составляет 8-12%, гумуса 0,7-1,0%, диапазон активной влаги (ДАВ) – 5-7%, на увалисто-холмистых равнинах со связнопесчаными почвами – соответственно до 4,0-4,5%, 0,4 и 4,0-4,5%, а на бугристых песках – менее 3,0%, 0,1 и 3,0%. Почвенно-грунтовый раствор и грунтовые воды (ГВ) повсеместно пресные. На высоких террасах ГВ залегает на глубине 8-20 м, в понижениях бугристых песков низких террас 0,5-3,0 м [87].

Древнеморские пески возвышенностей покрыты отложениями более тяжелого гранулометрического состава, на которых сформировались зональные почвы. Местами они разрушены, погребены эоловым наносом с образованием бугристых песков [38], ГВ под которыми залегает на недоступной для растений глубине.

В лесостепной зоне почвенные разности на кварцевых песках заняты сложными и простыми сосновыми борами. В степной зоне супесчаные и связнопесчаные почвы покрыты разнотравно-дерново-злаковой, обедненной песчано-степной растительностью, дубово-осиновыми колками по понижениям и культурами сосны IV-III бонитетов. Бугристые пески – псаммофильными травами с участием пионеров (кияк, полынь песчаная, осока колхидская и др. – прилож. 1) и культурами сосны V-IV бонитетов [94].

Древнеаллювиальные пески высокого Заволжья и Терско-Кумского междуречья полиминеральные (полевых шпатов от 15-20 до 50%), карбонатные, от тонко-мелкозернистых (Кумской массив) до мелко-среднезернистых (Бузулукский бор, Терский массив). Содержание глинистых частиц составляет 1,9-2,5% (Бузулукский бор), 3,8-3,9 (Кустаревские пески), 2,5-3,5% (Терско-Кумские пески), НВ от 4-5 до 6-8%. Черноземовидные и дерновые почвы, сформировавшиеся на этих песках, имеют более мощный профиль и повышенное содержание гумуса. Они относительно влагоемки и легко проницаемы для корней, покрыты богатым травостоем [97, 98]. В поясе сухая степь – пустыня распространение и производительность лесных ценозов на них ограничиваются в основном недостатком атмосферных осадков, глубоким залеганием или повышенной минерализацией грунтовых вод (МГВ).

Аллювиально-морские пески Прикаспия полевошпатово-кварцевые (полевых шпатов 5-20%), алевритово-мелкозернистые [37], а в древнедельтовых областях средне-мелкозернистые [84, 405]. После эоловой переработки они содержат 2-5% ФГ [159]. В Черноземельской низменности верхнехвалынские отложения имеют пологогрядовый рельеф и покрыты бурыми связнопесчаными и супесчаными засоленными почвами. При вторичном развеивании в последние 2-3 тысячи лет на них образовались бугристые и бугристо-грядовые пески, выщелоченные до подстилающей породы и многочисленные очаги барханных песков [97, 98, 383]. В 70-80-е гг. XIX и XX столетий вследствие перегрузки пастбищ и распашки легких почв на территории этой низменности

произошли две крупные вспышки дефляции и возникли крупные очаги и массивы преимущественно мелкобарханных песков общей площадью в миллионы и сотни тысяч гектаров [177, 296, 381]. Эоловые отложения в них выщелочены, а неперевеянные слои с небольшой глубины засолены.

Базисная ГВ в пределах Черноземельской низменности повсеместно сильно минерализована и не участвует в питании растительности. На целинных участках ее основу составляют коренные белополынно-злаковые и переходные эфемерно-эфемероидные, преимущественно злаковые, ассоциации. В зарастании подвижных песков участвуют кумарчик, кияк, курай, верблюдка, полынь песчаная и др. Кустарники, за исключением искусственных посадок на песках, встречаются только по влажным депрессиям.

Для лесоразведения в сухой степи и пустыне Прикаспия интерес представляют массивы средневысокобугристых песков, сложенных относительно грубозернистым отвеянным материалом и легко пропускающим влагу атмосферных осадков в водоносный горизонт, а также барханные и слабозаросшие бугристые пески на многофазных легких отложениях значительной мощности, имеющих повышенную влагоемкость и корнепроницаемость [229, 309, 404]. В Волго-Уральском междуречье выделяется Урдинский массив (перевеянная древняя дельта Волги) в виде широких песчаных гряд (нарынов) с бугристым рельефом высотой до 7-10 м и долинообразными ложбинами (ашиками). Понижения в нарынах ежегодно промачиваются атмосферными осадками на всю толщу зоны аэрации (0,5-2,0 м) [84] и формируют мощные (7-30 м) пласты пресной ГВ, на значительной площади доступные для древесной растительности. Здесь распространены тополь нарынский, ива каспийская и розмаринолистная, джузгун безлистый, встречаются куртины ольхи черной, культуры сосны обыкновенной, робинии, плодовых пород (здесь и далее см. прилож. 1).

В Терско-Кумском – Терский и Бажиганский песчаные массивы, где имеются значительные площади с наличием пресной и слабоминерализованной ГВ на корнедоступной глубине [90], могут формироваться и расти полнотные насаждения как хвойных, так и многих лиственных пород.

Таким образом, фитоэкологические условия южных арен Русской равнины весьма неоднородны. Вектор лесопригодности земель, результативность их облесения и лесной мелиорации угодий

определяют два комплекса факторов: зональный и эдафический. В поясе лесостепи и разнотравной степи их лимитируют главным образом бедность, низкая водоудерживающая способность и корнепроницаемость подстилающих песков, а в сухой степи – пустыне – небольшое количество и повышенная динамичность годовой суммы атмосферных осадков. Лесомелиоративное освоение арен также затрудняют сложный рельеф, податливость отложений дефляции, конкуренция травостоя. Успешная адаптация лесных культур определяется здесь способностью агротехнических решений обеспечить эффективное накопление влаги в корнеобитаемом слое (КС) и сохранение противодефляционной устойчивости покровных отложений. Главной проблемой сохранения и обеспечения успешного роста молодняков является предупреждение критического снижения их влагообеспеченности в засушливые годы.

2. ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ЛЕСОПРИГОДНОСТЬ ЗЕМЕЛЬ ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ

2.1. Основные представления о причинах безлесья степей

Для развития теории и практики лесомелиорации арен большое значение имеет знание причин локального размещения природных лесных экосистем и отсутствия их на обширных пространствах степей, которые в силу различных обстоятельств уже не одно столетие являются предметом изучения географов, геоботаников, почвоведов, лесоводов. Наиболее полный анализ взглядов (гипотез) видных ученых на эти причины представлен в ряде работ [20, 181, 371, 374]. Авторы особенно выделяют антропогенную, почвенную, геоморфологическую и климатическую гипотезы безлесья степей.

Сторонники антропогенной гипотезы (И. Палимпсестов, В. И. Талиев), в отличие от В. В. Докучаева [129], основную причину распространения степей видят в уничтожении леса человеком.

Г. И. Танфильев безлесье степей связывает с засоленностью степных почв и грунтов. Однако отрицает как причину низкую влаго-, корнепроницаемость лёсса и недостаток почвенной влаги [374, с. 232-234]. Он также резко негативно относится к идее С. И. Коржинского о большем совершенстве и повышенной конкурентоспособности лесных формаций по отношению к степным формациям без связи с физико-географическими условиями: "Пока почвы не изменены, будь то на степи, на лугах или на склонах, более мощными оказываются формации степные" [там же, с. 247]. Вместе с тем он соглашается с ним в том, что самооблесение степей есть явление роковое [там же, с. 250], не связанное с изменением (увлажнением) климата. В статье "Доисторические степи Европейской России" [375, с. 367] Г. И. Танфильев пишет: "…не отрицаю значения климата для распределения органической жизни по территории России. Я утверждаю лишь, что существование черноземных степей не обусловливается климатом; что граница между лесами и степью не климатическая…". Эти гипотезы созвучны с гипотезой П. А. Костычева, который (как и А. И. Воейков) считал, что для

произрастания лесов не требуется большого количества влаги и там, где растет богатая степная травянистая растительность, влаги достаточно и для развития лесов. Широкому распространению лесов в степной зоне препятствует не климат, а конкуренция степной травянистой растительности [252, с. 14].

Г. И. Танфильев [373] обращает внимание также на повышенные лесорастительные свойства степных песков. Он, в частности, отмечает: "…существование крупных сосновых боров на песках у Павлограда Екатеринославской губернии и у Бузулука в Самарской, в местностях, окруженных безлесными степями, также указывает на почву, как на причину безлесья наших степей, потому, что при совершенно одинаковых климатических условиях, пески оказываются облесенными, а степные почвы лишенными лесов. Если бы наш юг был покрыт не лёссом и лёссовидными породами, а песками, то он, очевидно, был бы покрыт лесами, по крайней мере до Павлограда и Бузулука" [373, с. 570]. Эта точка зрения нашла развитие и в работах Г. Н. Высоцкого. Он также считает: "Вследствие меньшей влагоемкости и более быстрой водопроницаемости песчаные почвы быстрее, глубже, полнее промачиваются и энергичнее выщелачиваются, чем почвы более мелкоземистые. Поэтому появление почв песчаных, похоже, до некоторой степени, (как это с первого взгляда ни казалось бы парадоксальным) переходу в более влажный климат…. Именно в песках (помимо каменистых грунтов) мы можем находить даже в пустыне источники и запасы пресной доброкачественной воды…. С другой же стороны, сухие песчаные бугры с отдаленным уровнем грунтовых вод являются в почвообразовательном отношении весьма однообразными от дальнего севера, от влажного запада до сухих южных степей…. Как в зоне подзолистых суглинков, так и в зоне серых лесных суглинков, черноземов и даже почв каштаноцветных, почвы песчаные остаются более или менее одинаковыми…"[76, с. 109].

О важности почвенного фактора в распространении лесов свидетельствуют исследования и W. Oberhuber и W. Kofler [428]. Изучая радиальный прирост сосны обыкновенной в горных лесах Австрии, они пришли к выводу о том, что на верхней границе распространения деревьев незначительная изменчивость эдафических условий оказывает основное влияние на их чувствительность к экологическим стрессам.

По мнению А. Н. Краснова [374], основная причина безле-

сья степей заключается в равнинности рельефа, недостаточном дренаже местности. Там, где местность становится изрезанной, расчлененной, степь уступает место лесам. Он считал, что климат в географии лесов играет второстепенную роль.

Схожей точки зрения придерживался и Г. П. Сурмач [370, 371]. В распространении лесов и лесных почв лесостепи определяющую роль он отдает особенностям строения и физическим свойствам почвообразующих пород и находит, что серые лесные почвы формируются на возвышенных куполообразных буграх с малой мощностью лёсса, слоистыми породами и водоупором. По его мнению, верхняя корнеобитаемая толща пород обладает здесь высокой общей влагоемкостью и повышенными запасами легко доступной для растений влаги: "Степная травянистая растительность покрыла участки лесостепи с более мощной толщей однородного лёсса (3-9 м), отличающегося пониженными влагоемкостью и ДАВ, следовательно, меньшими запасами продуктивной влаги в КС, ибо просачивающаяся атмосферная влага недостаточно задерживается в этом слое, легко сбрасывается в глубь" [371, с. 56].

Последнее утверждение противоречит данным С. В. Зонна [144, с. 62-98] и других исследователей, которые установили неглубокое промачивание черноземов (развитых на лёссе и лёссовидных отложениях – А. М.) осадками, по сравнению с серыми лесными почвами. Многолетними исследованиями института Лесоведения РАН в пристепной Теллермановской роще Воронежской обл. установлено [323] также, что нагорные дубравы этого лесного массива (на серых лесных почвах – А. М.) своим успешным существованием обязаны стабилизирующему влиянию на их водный режим ГВ. Благодаря особенностям строения литосферы во влажные годы влага накапливается в водоносном горизонте, а в засушливые участвует в питании древостоев в размере около 40 мм/год.

Сторонники климатической гипотезы причины безлесья степей видят в недостаточном количестве атмосферных осадков, сильных ветрах, сдувающих снег, сухости воздуха, низком положении ГВ [20, 374]. Г. Н. Высоцкий [71, 72] однозначно связывает ее с сухостью климата, а неблагоприятные свойства почвогрунтов, засилье степной флоры рассматривает как производные причины. К этому же выводу приходят Е. М. Лавренко [187] и Л. С. Берг [20], считающие, что степи есть явление зональное.

А. Л. Бельгард также убежден в том, что естественные леса не

распространились в степи из-за сложившихся здесь условий обеспечения биологического круговорота, присущего степным группировкам. "Эта разница (в биологическом круговороте – А. М.) будет уменьшаться в направлении лесостепной зоны и, наоборот, возрастать в направлении полупустыни" [19, с. 48].

Природа леса и причины безлесья степей наиболее глубоко и основательно были осмыслены Г. Ф. Морозовым [268, 270]. Следуя учению В. В. Докучаева о географической зональности, почвообразователях, взаимообусловленности и равноправии факторов среды, он разработал концепцию первичности внешних условий по отношению к растительности, создал учение о факторах лесообразования и пришел к восприятию леса как явления географического. Леса, по его мнению, находятся под влиянием климата и под властью земли и могут устойчиво существовать только при гармонии своих внутренних отношений с географической средой, т. е. климатом, почвенно-грунтовыми условиями и рельефом.

Развитие естественных наук несколько сблизило разные точки зрения, но солидарный ответ на вопрос о главной причине безлесья степных равнин так и не был получен. Из перечисленного можно заключить лишь то, что оно вызвано не отдельными факторами ботанико-геогафической (по Г. Н. Высоцкому) среды: недостатком атмосферного увлажнения, засоленностью почв, засильем степной растительности и т. п., а их совместным неблагоприятным для леса проявлением на преобладающей территории засушливой зоны. Поэтому важнейшей задачей научного поиска в области диагностики "лесоспособности" земель продолжает оставаться разработка методов объективной оценки и прогноза результирующей этих проявлений (эффектов) при различном (многовариантном) сочетании и разной размерности географических (почвенно-климатических) факторов, их соответствия биоценотическим особенностям тех или иных лесных экосистем, искусственных лесонасаждений.

2.2. Оценка географической среды лесообразования

Г. Н. Высоцкий [71], а затем Н. Н. Иванов [162] южную границу лесных зон предложили определять по изолинии соотношения испаряемости (испарения с открытой водной поверхности) к годовой норме атмосферных осадков, равной примерно единице. А. А. Григорьев и М. И. Будько [33] границы географических зон

определили по радиационному балансу (*R*) и радиационному индексу сухости (*R/Lr*), где: *L* – скрытая теплота парообразования, *r*-годовая норма осадков. По их расчетам лесные зоны лежат между изолиниями значения *R/Lr*, равными 0,5-1,0, степные 1,0-2,0 и т. д.

В распределении зональности Ц. А. Швер [401] большое значение придает сезонной ритмике выпадения осадков. Он предлагает районировать территорию по индексу *I*-степени неравномерности выпадения осадков, рассчитанному по нормированной относительно годовой величины осадков геометрической сумме всех месячных сумм осадков. По его данным на востоке Европейской территории изолинии значений *I* следуют за широтным направлением зон. Геометрические суммы месячных осадков увеличиваются с ростом континентальности климата (с юго-запада на северо-восток). На северной границе лесостепи *I* равно 20%, на южной 15, а на границе степь – полупустыня 10%.

Для решения лесотипологических задач Д. В. Воробьев [54] предложил классифицировать климат по эмпирическому показателю увлажнения (*W*)

$$W = \frac{R}{T} - 0{,}0286T,$$

где *R* – сумма осадков за теплый период года, мм; *T* – сумма положительных среднемесячных температур воздуха за этот период, °С.

В тех же целях Д. Д. Лавриненко [190] построил лесотипологическую классификацию климата в координатах теплоты и континентальности, выделив в пределах Русской равнины 7 термотопов и 4 контрастотопа с указанием для каждого из 28 климатопов наиболее распространенных классов бонитета сосновых насаждений.

Из приведенного следует, что существующие методы являются по сути методами географического зонирования, поскольку позволяют объективно выделить лишь относительно крупные участки территорий, более или менее однородные по характеру климатической составляющей среды лесообразования, т. е. климатопы. В то время как влияние изменений почвенно-грунтовых условий в пределах последних на внешнюю среду лесообразования эти методы отслеживают лишь приближенно (агрегировано) и имеют ограниченное применение при решении локальных задач лесохозяйственного проектирования, особенно при оценке лесопригодности земель исконно безлесных территорий. При решении как лесотипологических, так и лесотопологических задач

"...главной классификационной моделью... остается эдафическая…, а не климатическая сетка" [248, с. 30].

В отличие от выделения климатопов, в лесотипологических построениях оценки почвенно-грунтовых условий до последнего времени носили в основном качественный характер [215].

М. М. Дрюченко [157], не меняя главных принципов эдафической сетки Крюденера – Алексеева – Погребняка – Воробьева [53, 307], развил и адаптировал ее применительно к условиям приречных бескарбонатных песков степной зоны юга и юго-востока европейской части б. СССР.

Близкие подходы к первой типологии лесорастительных условий предложили Д. Д. Лавриненко [189] и А. С. Скородумов [352].

А. Л. Бельгард [19] нашел необходимым внести ряд дополнений и корректив в типологические принципы П. С. Погребняка и Д. В. Воробьева. Применительно к степным аренам с искусственными насаждениями он выделяет песчаные (П), супесчаные незасоленные (СП) и супесчаные засоленные (СПЗ) трофотопы. В свою очередь песчаные (боровые) местообитания подразделяются им на 8 (от очень сухих П до заболоченных $П_5$) гигротопов, супесчаные незасоленные – на 7 (от суховатых СП до мокрых заболоченных $СП_5$) и супесчаные засоленные – на 5 (от свежих солонцеватых почв $СПЗ_2$ до мокрых болотных солончаков $СПЗ_5$) гигротопов. То есть в основе эдафотопов А. Л. Бельгарда лежат гранулометрический состав, увлажненность и засоленность почвогрунтов.

М. М. Дрюченко, В. Н. Виноградов [46, 47] по рельефу, состоянию растительного покрова, почвенно-грунтовым условиям, применяемой агротехнике и лесорастительному эффекту Нижнеднепровские арены разбивают на девять типов лесокультурных площадей (ЛКП) – от бугристых незаросших боровых песков до пониженных плоскоравнинных участков с засоленными почвами и ГВ.

А. Г. Гаель и Л. Ф. Смирнова [93, 94] предложили классификацию лесорастительных условий песчаных массивов Среднего и Нижнего Дона, в основу которой положены генетический тип почв, степень их эродированности, мощность эолового наноса, глубина залегания верхнего горизонта ГВ или временной верховодки, наличие и доступность для корневых систем лесных культур подстилающего суглинка. По комплексной оценке они предлагают выделять четыре типа лесорастительных условий: очень хорошие, хорошие, удовлетворительные и неудовлетворительные, соответст-

вующие I, II, III, IV и V классам бонитета насаждений сосны.

При облесении арен засушливой зоны сосной Н. С. Зюзь [150] лесопригодность почвогрунтов предложил определять по потенциальной вертикальной мощности ризосферы или глубине залегания непроницаемых для корней экранов – кварцевопесчаных, ортштейновых, солевых и других. Все разнообразие местообитаний, таким образом, им подразделяется на четыре группы: нелесопригодные, условно лесопригодные, лесопригодные, вполне лесопригодные при глубине залегания экранов соответственно до 1 м, 1-2, 2-4 и более 4 м.

А. Н. Маланьин [198] в основу лесопригодности литосферы островных боров Северного Казахстана кладет мощность песчаной почвообразующей породы и глубину залегания карбонатных засоленных суглинков и глин, определяющих водно-солевой режим верховодки и зоны аэрации.

При всей простоте и удобстве применения, приведенные лесотопологические классификации, имеют ряд общих недостатков. Главными из них являются невысокая экологическая чувствительность, в частности, к пространственному изменению увлажненности территории атмосферными осадками, субъективность оценок [248], неспособность учитывать влияние будущего леса на среду лесообразования [19]. Так, очевидно, что при разных режимах увлажнения (например, по частоте и величине выпадения летних осадков) и испарения одинаковые отложения будут различаться по своим питательным свойствам, а одни и те же древесные породы – по требовательности к плодородию и вертикальной мощности КС.

Л. П. Рысин приходит к выводу о том, что объем понятия "тип лесорастительных условий" столь же не унифицирован, как и объем понятия "тип леса". Он пишет: "Оба понятия субъективны в том смысле, что они определяются учитываемыми признаками и принятой размерностью параметров последних…. Задача состоит в достижении "договоренности" в отношении перечня этих признаков и дифференциации их градиентов в природе. Мы считаем, что в число обязательно учитываемых показателей должны быть включены генетический тип рельефа, мезорельеф, гранулометрический состав почвы, материнской и подстилающей пород, гидрологический режим" [332, с. 21].

Низкую объективность оценки лесорастительных условий с помощью эдафической сетки подчеркивает и Е. С. Мигунова. Она

пишет: "…если климатическая сетка имеет количественные параметры теплоты, влажности и континентальности разных климатопов, то в эдафической сетке никаких характеристик местообитаний нет. Наиболее частым замечанием в адрес сторонников ее применения является, поэтому справедливое утверждение о том, что до последнего времени не только не установлены количественные показатели разных трофотопов, но нет и достаточно четкого определения самого понятия "трофность" [248, с. 30]. Для повышения объективности типологии лесорастительных условий Е. С. Мигунова [248, с. 295-296] предлагает количественно учитывать тепло, влагу и элементы питания, а Н. С. Зюзь [150] – стабильность влагонасыщения КС осадками холодного периода.

Лишь в последние годы Е. С. Мигуновой [249-251] предпринята энергичная попытка расширить и наполнить эдафическую сетку количественным содержанием. В моделях (схемах) сопряженных (лесных и лесотипологических) и автономных классификаций местообитаний лесостепных и степных районов Украины она включила параметры ряда важных показателей лесообразовательного потенциала земель: запас доступной влаги в том или ином гигротопе, обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия, содержание токсичных солей в засоленных трофотопах и, применительно к выделенным эдафотопам, указала максимальную высоту или прирост древесины в насаждениях главной породы.

К сожалению, эти классификации также не являются в полной мере количественными. Из-за незавершенности и схематичности они вряд ли получат применение в повседневной практике лесохозяйственного проектирования, но необходимо признать, что уже сейчас эти схемы могут служить ориентиром для оценки эффективности работ по лесовосстановлению и лесоразведению в тех или иных районах.

Таким образом, концепция Г. Ф. Морозова о единстве географической и внутренней среды лесообразования в лесотипо- и лесотопологических классификациях до сих пор не реализована. Актуальным остается поиск интегральных количественных показателей лесообразовательного потенциала земель и описание закономерностей динамики его состояния применительно к основным лесообразующим породам. В связи с этим, большой интерес представляет моделирование и системный анализ режимов формирования под лесным пологом и потребления древостоем запа-

сов почвенно-грунтовых растворов.

Наиболее простым и интересным объектом для численного моделирования питательного и ростового режимов являются сомкнувшиеся молодняки монокультур сосны обыкновенной (*Pinus silvestris L.*) в период их интенсивного роста, т. е. в период максимальной потребности в питании и наиболее острой реакции насаждений на изменения внешних условий. Кроме того, чистые посадки сосны, получив широкое распространение при облесении песчаных земель засушливых регионов Евразии, всестороннее и наиболее полно освещены в научной литературе. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть основные результаты изучения биологии сосновых насаждений, необходимые для построения математической модели.

2.3. Водный режим сосновых культур

Водному режиму сосняков посвящены многочисленные работы. Его изучали Г. Ф. Морозов, А. П. Тольский, Л. А. Иванов, А. А. Молчанов, В. И. Рутковский, Н. А. Воронков и многие др.

2.3.1. Водопотребление и влагообеспеченность насаждений

Сосна исключительно экономно расходует влагу и может образовывать сомкнутые насаждения в широком диапазоне почвенно-климатических условий засушливой зоны. Даже при неограниченной доступности потребление почвенной влаги взрослыми древостоями этой породы не превышает 350-370 мм в год [62, 161, 180, 433 и др.], что в 1,5-2 раза меньше, чем насаждениями лиственных пород [345, 355]. Нормальный годовой расход влаги на транспирацию, отвечающий условию формирования устойчивых и долговечных насаждений сосны на песках юга ЕТР, составляет 180-220 мм [62, 180]. Однако на протяжении их жизни фактическое водопотребление, а следовательно, и влагообеспеченность древостоев испытывают значительную географическую, эдафическую и возрастную динамику.

Так, на всех почвенных разностях сухой степи в год посадки саженцы сосны расходуют на транспирацию от 0,5-0,7 до 1,2-1,5 мм воды, что многократно меньше ее запасов в верхнем метровом слое, и при глубине укоренения 0,6-0,8 м они успешно прижива-

ются даже в засушливые годы [180, 184]. По мере роста потребность сосенок во влаге быстро увеличивается с 2-5 мм в 2-летних до 16-183 мм в 3-5-летних [180, 336, 343] и достигает максимума (400-450 мм за вегетацию) в 8-12-летних сомкнувшихся культурах [62]. При этом масса хвои изменяется соответственно с 0,1-0,2 т/га (в сыром виде) в 1-летних посадках до 0,4-0,5 в 3-10-летних и 12-18 т/га к возрасту смыкания крон в культурах на относительно бедных песках [40, 62, 150, 152, 337, 344].

Отмеченная закономерность может нарушаться в связи с изменением условий лесообразования. В целом рост охвоенности и потребности молодняков во влаге ускоряется с увеличением плодородия ризосферы и годовой суммы осадков. Большая мощность КС, буферные запасы влаги и доступная ГВ также провоцируют накопление большой массы хвои. Кульминация охвоенности культур наступает раньше и с повышением густоты их посадки, но при несколько меньшей массе хвои [26, 61, 102, 290, 364, 407, 416, 417].

Влагообеспеченность культур сосны на автоморфных почво-грунтах засушливого пояса изменяется с достаточной (в период индивидуального роста деревьев и наличия запаса влаги в глубоких слоях ризосферы) на резко дефицитную, а коэффициент транспирационной активности сырой хвои (годовой расход влаги единицей ее массы [64]) снижается с 400-450 мм – в однолетних посадках [180] до 160-150 мм и менее – в сомкнутых молодняках на песчаных почвах Среднего Придонья. В засушливые годы это вызывает активное отмирание старой хвои, ослабление или массовое усыхание деревьев [61, 149, 248]. На юге Приволжской возвышенности реакция сосны на изменения атмосферного увлажнения сбросом хвои отмечается уже при ее запасе 2-5 т/га [152]. Она тем резче, чем выше охвоенность культур и глубже почвенная засуха. В первые 1-2 года после смыкания сокращение массы хвои может достигать 30-40% от ее исходной величины при сохранении жизнеспособности насаждений [62, 150].

Несмотря на то, что переход на питание влагой осадков текущего периода сопровождается резким снижением влагообеспеченности и ослаблением сомкнувшихся молодняков, они являются наиболее активными потребителями почвенной влаги вплоть до окончания периода кульминации текущего прироста и перехода в пост-жердняковую фазу развития [13, 16, 17, 264, 268]. В последующем водопотребление насаждений постепенно снижается.

С. Э. Вомперский [52] отмечает это даже в сосняках на осушенных торфяниках Ленинградской обл. Интенсивность данного процесса обусловлена скоростью старения и изреживания древостоя [62], т. е. лесопригодностью земель. Однако при усилении развитии живого напочвенного покрова в разреживающихся насаждениях суммарное водопотребление может сохраняться высоким [264].

Транспирационный расход влаги древостоями сосны уменьшается от пояса смешанных лесов [64] и лесостепи [263] как на север – в связи со снижением теплообеспеченности территории, так и на юг – по мере уменьшения увлажненности, а также с запада на восток – в направлении роста континентальности климата [180, 265]. В последнем случае с 180-200 мм на глубоководных площадях Среднего Придонья до 100-125 в Северном Казахстане и 80-95 мм в борах Прииртышья [32, 363 и др.].

В Бузулукском бору десукционный расход влаги сосняками при атмосферном водном питании насаждений составляет 148-305 мм/год и увеличивается на 80-180 мм с приближением УГВ к дневной поверхности до 2,5-3,0 м [62].

В Среднем Придонье и Прииртышье суммарное водопотребление сосной из почвогрунта и ГВ достигает 300-350 мм [34, 57].

По расчетам Н. Ф. Кулика [180], на близководных (ГВ на глубине 1-2 м) понижениях нарынов Урдинского песчаного массива (северная полупустыня) колковые насаждения сосны расходуют на транспирацию 250-300 мм. Из них на долю атмосферных осадков приходится всего 80-120 мм (30-40%).

Водопотребление сосновым лесом сокращается в 1,5-4 раза по мере снижения доступности ГВ, влагоемкости производительного слоя. Наименьшие расходы влаги на транспирацию характерны для разреженных и усыхающих насаждений на глубоководных всхолмлениях бугристых песков [12, 62, 264, 365]. Они изменяются также по годам – сокращаются на 30-40% в засушливые годы и увеличиваются на 30-50% во влажные [62, 180].

2.3.2. Транспирационная активность хвои

Интенсивность транспирации – скорость испарения единицей массы ассимиляционного аппарата (мг/г·час) или с единицы площади растительного покрова (кг/м^2·с) – является сложным и до сих пор малоизученным термодинамическим и биофизиологи-

ческим процессом [194, 391, 436].

При высокой влажности почвы интенсивность транспирации находится в тесной зависимости от температуры, влажности воздуха, освещенности и в оптимальных условиях в среднем за день достигает 130-150 мг/час в расчете на 1 г хвои сосны [12, 25, 62, 263, 395, 429, 431, 432]. Однако диапазон значений напряженности метеофакторов в дневное время, в котором обеспечивается высокая транспирационная активность хвои, достаточно широк и, предположительно, адекватен диапазону условий с высокой скоростью потока влаги в ксилеме [39]. Транспирация начинает угнетаться лишь при температуре воздуха ниже 15-16ºС и относительной влажности выше 70% (дефицит влаги в воздухе менее 5 г/м^3) [136]. Поэтому в пределах юга Русской равнины снижение среднегодовой интенсивности устьичного испарения по вектору уменьшения теплообеспеченности территории должно происходить плавно.

При недостатке почвенной влаги роль погоды нивелируется, и она становится ведущим фактором, определяющим интенсивность продуктивного испарения и роста деревьев [12, 62, 363, 393, 395, 421, 426, 435]. Так, по данным Н. А. Воронкова [58] и Н. Я. Бондаренко [25], из-за дефицита почвенной влаги во второй половине вегетации в сухой степи Среднего Придонья и Нижнего Поволжья среднедневная интенсивность транспирации в культурах сосны ежегодно снижается и в августе – сентябре может опускаться до 40-50 мг/г·час. По этой же причине среднегодовой расход влаги на транспирацию и влагообеспеченность насаждений сосны снижается с северо-запада на юго-восток региона [161, 263] по мере уменьшения годовой нормы атмосферных осадков и роста обеспеченности территории теплом.

Помимо зональных факторов на транспирационную активность сосны большое влияние оказывает почвогрунт. Н. А. Воронков [58] отмечает ускоренное угнетение интенсивности транспирации хвои в насаждениях на мелко- и слабогумусированных песках по сравнению с древостоями на глубокогумусированных связнопесчаных и супесчаных почвах и объясняет это меньшей подвижностью влаги в песках и загруженностью их корнями.

Ряд исследователей [35, 172, 294, 349, 439] пришли к выводу о том, что повышение плодородия почвы (от мшистых боров к черничникам), внесение удобрений, высокая концентрация CO_2 в воздухе снижают удельную транспирационную активность хвои

сосны и увеличивают биологическую эффективность влаги (образование массы сухого вещества на единицу массы израсходованной влаги – А. М.).

Н. С. Зюзь и М. Е. Лобачева [153] на микролизиметрах с искусственным орошением установили, что в районе г. Волгограда минимальный годовой транспирационный расход влаги единицей массы сырой хвои сосны увеличивается с 239 (на высокогумусной темноцветной легкосупесчаной почве понижений) до 416-412 (на малогумусных светло-каштановых супесчаных и связнопесчаных почвах) при одновременном снижении прироста и охвоенности саженцев.

Некоторые исследователи [62, 348] отмечают также снижение транспирационной и ассимиляционной активности хвои по мере ее старения и с возрастом насаждений.

Таким образом, нормальное развитие сосновых древостоев протекает только при определенном минимуме среднегодовой интенсивности расхода воды на транспирацию и отсутствии продолжительных периодов ее критической депрессии (способной привести к гибели насаждений). На юге Русской равнины общая транспирационная активность сосновых насаждений увеличивается (до известных пределов) в направлении повышения гумидности климата, влагоемкости и плодородия почвогрунтов. А норма и минимально допустимый годовой расход влаги единицей массы хвои в том же направлении уменьшаются, т. е. условия для роста сосняков улучшаются, в т. ч. и в связи с сокращением продолжительности вегетационного периода.

2.3.3. Физическое и суммарное испарение влаги, водный баланс в насаждениях сосны

Одной из крупных статей водного баланса мертвопокровных лесонасаждений являются потери влаги осадков на физическое испарение с крон деревьев и лесной подстилки. В сосновых лесах его особенности изучались многие десятилетия [62, 64, 263-265, 271, 389, 420].

По наблюдениям исследователей, работавших в зоне хвойных и хвойно-широколиственных лесов, среднегодовой расход влаги на смачивание крон сосны составляет 19-25% суммы осадков. Больше всего осадков задерживают кронами сомкнутые на-

саждения в стадии жердняка (30-31%), затем средневозрастные (24-27%) и спелые (18-27%) древостои [266].

Кроны спелых сосняков Бузулукского бора задерживают 23-25% влаги осадков [278], выпадающих за год, а 4-17-летних культур – 21,8-23,8% жидких осадков, и тем больше, чем выше охвоенность насаждений [62]. Там же 53-57-летние древостои при сомкнутости полога 0,7-0,8 задерживают 27,2%, что, по мнению Н. А. Воронкова, вызвано увеличением расхода влаги на смачивание скелетных сучьев и стволов [62]. Потери зимних осадков на физическое испарение в 33-140-летних культурах сосны этого бора за 1947-1967 гг. составили 23% их суммарной величины.

В Ленинградской обл. чистые сосняки V-VI классов возраста полнотой 0,47 и 0,92 (III и I бонитета) задерживают кронами деревьев 27 и 35% осадков вегетационного и 16% – холодного периода [409].

В лесостепных районах Харьковской обл. А. П. Андрущенко [6] не нашел различий в задержании осадков кронами сосняков старше 25 лет и объяснил это компенсацией уменьшения запасов ассимиляционных органов увеличением общих запасов надземной массы, что балансирует объем перехвата влаги.

Физическое испарение влаги под пологом древостоя зависит от характера и мощности напочвенного покрова. Наименьшие потери отмечаются в мертвопокровных сосняках и далее увеличиваются от насаждений с лишайниковым покровом к борам долгомошникам [264]. Поэтому минимальное подпологовое испарение присуще сомкнутым молоднякам. По мере накопления опада, изреживания древостоя и появления живого напочвенного покрова оно увеличивается.

Н. Ф. Созыкин [357], А. А. Молчанов [263] и Н. А. Воронков [59] отмечают значительную гидрофобность пересохшей хвойной подстилки (медленное набухание, возможность глубокого просачивания в нее влаги осадков). В массивных насаждениях Бузулукского бора испарение из подстилки за вегетацию не превышает 24%, а при наличии в покрове зеленых мхов и разнотравья – 26% выпадающих осадков. В кулисных и мелкомассивных сосняках Среднего Дона с поверхности подстилки испаряется до 39-40% летних осадков [62].

По данным водно-балансовых расчетов Н. М. Светлищева [338], Н. Ф. Кулика [179] в сосновых насаждениях на Придонских

песках на физическое испарение в сумме теряется 17-22% годовых осадков, в т. ч. до 75-80% летних, остальная их часть используется на транспирацию. В результате при облесении площадей с глубоким залеганием ГВ формируется водный режим непромывного типа.

Н. Ф. Кулик [180] приходит к выводу о том, что в степной зоне европейской территории б. СССР для сосновых насаждений на глубоководных площадях наиболее характерно суммарное испарение в размере 280-400 мм в год, при непродуктивных потерях влаги в атмосферу за вегетацию 100-160 мм (35,7-40%) и некотором увеличении их с запада на восток.

В пристепном Бузулукском бору с нормой осадков 470 мм/год кроны деревьев перехватывают в среднем около 25% влаги, 10-12% испаряется с поверхности почвы, 13-15 идет на питание ГВ и 47-60% включается в транспирацию насаждений [34]. Непродуктивное испарение летних осадков составляет всего 50-55% их суммы. Остальная часть влаги идет на пополнении ее почвенных запасов и может быть использована на транспирацию [62].

При движении с севера на юг Русской равнины доля транспирации в суммарном испарении влаги насаждениями увеличивается и достигает максимума в лесостепной и степной зонах. Но в среднем, по расчетам Н. А. Воронкова [64], она не превышает 50-55% от выпадающих осадков.

А. А. Молчанов [263] нашел, что при прочих равных условиях наибольший суммарный расход влаги имеют сосняки в стадии жердняка, за ними следуют приспевающие насаждения, а наименьший расход отмечается в перестойных древостоях. С той же закономерностью меняется и гидрологическая (влагоконсервирующая) роль леса. В постжердняковый период с возрастом насаждений происходит увеличение внутригрунтового стока влаги. С ним в целом соглашаются и другие исследователи [62, 65, 66]. Однако Н. А. Воронков [62] в формировании гравитационного стока влаги доминирующее значение отдает водно-физическим свойствам отложений. На песчаных низковлагоемких почвогрунтах лесистость, по его данным, все же выступает как ограничивающий его фактор, что созвучно с мнением Г. Н. Высоцкого [70].

Вместе с тем многие исследователи [135, 253, 262, 310, 315, 330, 331, 377 и др.] обращают внимание на незначительные различия в объемах влагопотребления между лесом, сельскохозяйственными культурами и естественной растительностью. Они от-

мечают улучшение физических условий грунтового стока в лесу, сокращение поверхностного перераспределения влаги, испарения с поверхности почвы и считают недоказанной концепцию иссушающего влияния леса на степные равнины. Применительно к условиям арен В. И. Рутковский пришел к заключению, что влияние леса на грунтовый сток и ГВ определяется погодными условиями, мощностью зоны аэрации и водными свойствами почв. Он пишет: "Обширные песчаные массивы, независимо от того, покрыты ли они лесом или травянистой растительностью, во влажные периоды накапливают огромные запасы влаги, которые постепенно расходуются на грунтовый сток и испарение в последующие засушливые периоды" [330, с. 21].

2.3.4. Корневая система сосны и корнедоступность почвенной влаги

Изучению и описанию корневой системы сосны обыкновенной посвящено большое количество работ, основная цель которых – установить связь между ее строением и физико-географическими условиями, возрастом, продуктивностью, устойчивостью и долговечностью насаждений.

Глубокий анализ накопленных данных о почвенной экологии и закономерностях морфологии корней сосны содержится в монографиях А. Я. Орлова и С. П. Кошелькова [296] и Н. А. Воронкова [62].

Из перечисленных и других источников следует, что корневая система сосны имеет значительный зонально-эдафический и возрастной полиморфизм. Наибольшее влияние на ее архитектонику оказывают характер увлажнения зоны аэрации, физико-механические свойства, засоление, плодородие почв, условия дыхания и другие факторы, а также возраст деревьев. В последние десятилетия ведутся исследования воздействия на корневую систему и промышленного загрязнения почв [140].

На рыхлых и хорошо увлажненных отложениях, т. е. там, где почвенно-климатические условия не препятствуют реализации биологического потенциала вида, сосна образует мощные горизонтальные корни в приповерхностном слое, глубоко проникающий стержневой и якорные корни, которые в большинстве случаев уходят глубже стержневого корня.

На переувлажненных местообитаниях и при глубоком залегании ГВ (на автоморфных почвогрунтах) образуется поверхностная корневая система. При этом у сосны по болоту стержневой корень практически отсутствует. На боровых песках и легких почвах на небольшой глубине (от 1,4-1,7 до 2,0-2,5 м) он заканчивается веерообразной мочкой ("бородой", "редькой" и т. п.) из тонких (ростовых, всасывающих, проводящих) корней [198, 271, 374, 378]. Отходящие вертикально от горизонтальных якорные корни у взрослых деревьев сосны проникают до глубины 4-5 м и более [88, 145, 404, 378, 379, 391].

При неглубоком (до 2-3 м) залегании ГВ и на слоистых отложениях формируется многоярусная корневая система с несколькими ярусами горизонтальных корней, приуроченными к слоям с лучшими условиями водно-минерального питания [83, 84, 88, 111, 378 и др.].

Корни сосны наиболее интенсивно растут в первые годы жизни, достигая близких к предельным размеров уже к 10-12 годам [62]. На Юго-Востоке в культурах 5-6-летнего возраста глубина укоренения деревьев в связнопесчаных и супесчаных почвогрунтах может достигать 1,5-4,5 м и находится в прямой зависимости от мощности промоченного осадками слоя и глубины залегания материнского кварцевого песка [147, 150, 243]. По мере того как буферные запасы влаги заканчиваются и формируется непромывной водный режим зоны аэрации, в глубоких слоях корни, по-видимому, отмирают. То есть вертикальные корни укорачиваются. Быстро теряют жизнеспособность и становятся короче корни сосны и при контакте с засоленными слоями почвы [247].

Отмечаются случаи относительно глубокого укоренения сосны, вызванного высокой густотой посадки [113, 120, 331, 362, 417].

Смыкание культур, ухудшение водного режима и повышение твердости почвогрунта приводит к замедлению роста корней. В подстилающие влажные кварцевые пески якорные корни сосны к 15-20 годам углубляются только до 1,0-1,5 м, к 35-50 до 2,0-2,5 м [93], а в полиминеральные – до 5-6 м в виде сплетений диаметром 8-10 см [88], используя для этого наиболее рыхлые зоны.

Важной особенностью сосны является увеличение относительной массы и протяженности ее горизонтальных корней на бедных маловлагоемких отложениях [88, 102, 120, 378, 417, 423 и др.]. Максимальной длины (до 20 м) они достигают на слабоза-

росших бугристых песках сухой степи и полупустыни [84, 88] при незначительной (до 1,0-1,3 м) глубине распространения вертикальных корней [86].

На песках глубина размещения верхнего яруса горизонтальных корней увеличивается на 10-20 см по сравнению с влагоемкими почвами, а масса их сосущей фракции сокращается по мере нарастания засушливости климата [288, 289, 296, 406]. На корневую систему влияют также рельеф, способ предпосадочной обработки почвы, периодичность агротехнических уходов [198, 243], так как эти факторы изменяют увлажняющую эффективность атмосферных осадков.

Таким образом, на южных аренах Русской равнины при глубоком залегании ГВ строение корневой системы сосны определяют в основном три фактора: глубина регулярного увлажнения атмосферными осадками, плодородие и твердость подстилающих слоев песка. Но, в целом, во всех почвенных разностях основная масса корней (до 98%) сосредоточена в гумусовых горизонтах и свежем эоловом наносе в слое почвогрунта толщиной 1-2 м. Причем максимальное их количество (60-96% массы) сосредоточено в верхнем (0-40…0-50 см) слое. Ниже содержание корней сокращается в 8-10 раз и более. Корненасыщенность ризосферы по вертикали несколько увеличивается вместе с плодородием отложений и возрастом древостоя [56, 62, 88, 100, 120, 150, 272, 316, 417 и др.].

Отмеченные выше закономерности определяют корнедоступность влаги и характер иссушения "производительного слоя" (по З. Головянко [113]).

Так, по наблюдениям многих ученых [60, 62, 95, 272, 365-367], в сосняках наибольшим колебаниям подвержена влажность верхнего (0-1 м) слоя почвы, причем особенно быстрым – в слое 0-50 см. В слое 1-2 м они многократно уменьшаются как в молодых (8-10 лет), так и во взрослых насаждениях [272, 366]. Значительные запасы свободной влаги в этом слое остаются неиспользованными. На этом основании толщу 0-100 см черноземовидных супесчаных почв сухой степи под культурами сосны Н. А. Муромцев [271] относит к зоне полного, а 100-200 см – неполного влагооборота. По его данным, в этих почвах для 10-летних насаждений доступная влага содержится в основном в верхнем метровом слое. Его иссушение происходит сильнее и раньше, чем под 40-летним древостоем, который потребляет влагу из 2-мет-

рового слоя и сталкивается с ее дефицитом позже и реже, что объясняется более равномерной вертикальной загруженностью почвогрунта корнями и большей их массой.

Обнаруженное Н. А. Воронковым увеличение амплитуды влажности песка в третьем метровом слое под культурами сосны Бузулукского бора [59], по-видимому, можно объяснить в основном его гравитационным иссушением.

По мере облегчения состава почвогрунта снижается подвижность влаги и ее доступность для корней сосны. В рыхлых песках полное (до ВЗ) потребление влаги происходит только из облегающего всасывающие поверхности 2-сантиметрового слоя [59, 378]. Но уже на расстоянии 2-15 см иссушение песка отмечается лишь до 65-70% НВ [62]. Поэтому многие исследователи [62, 95, 150, 272, 365 и др.] наличие влажных горизонтов песка под культурами сосны, испытывающих водное голодание, объясняют их низкой загруженностью корнями.

И. И. Судницин, Е. В. Шеин и А. Г. Гаель [367] установили, что приведенный расход влаги из песчаной почвы под сосновыми насаждениями степной зоны в интервале влажности 2,5-5,5% пропорционален концентрации корней. При влажности больше НВ на величину расхода влаги влияет также гравитационное стекание. При уменьшении концентрации корней нижний предел содержания доступной для сосны влаги повышается. Загруженные корнями сосны почвенные слои обычно иссушаются до уровня влажности, равного полуторной величине максимальной гигроскопичности (МГ) [62, 254]. В связи с этим, несмотря на относительно небольшую роль глубоких корней в обеспечении насаждений влагой, в засухи она нередко становится решающей для сохранения жизнеспособности насаждений [2, 62, 66, 295].

При низких значениях влажности отложений потребление воды сосной и другими растениями в значительной мере определяется ненасыщенной гидравлической проводимостью КС [272, 275, 434].

В связи с неодинаковой корнедоступностью свободной почвенной влаги для насаждений сосны Н. А. Воронков [60] предлагает выделять потенциально доступную и фактически доступную влагу. В первую категорию он включает всю влагу, превышающую величину возможного фактического иссушения почвы при данной загруженности ее корнями растений. По его наблюдениям в слое полиминерального песчаного почвогрунта Бузулукского

бора мощностью 2,75 м фактически доступная влага составляет около 79% ее запасов в свободном состоянии.

Надо полагать, что в таком же слое менее корненасыщенного кварцевого песка фактически доступной влаги для сосны содержится еще меньше. При уменьшении мощности КС доля фактически доступной влаги в ее общем запасе будет увеличиваться пропорционально росту корненасыщенности.

Таким образом, на легких автоморфных почвогрунтах засушливого пояса Русской равнины водно-минеральное питание культур сосны осуществляется в основном из верхнего 2-метрового слоя почвогрунта, регулярно увлажняемого атмосферными осадками. Почвенная влага и минеральные ресурсы для насаждений становятся доступнее с увеличением содержания в КС глинистых частиц и с возрастом древостоя. Наибольшее затруднение с водным питанием в засухи испытывают неглубоко укоренившиеся молодняки на низковлагоемких кварцевых песках.

2.4. Современные представления о лесопригодности почвогрунтов

Известно, что как в пределах лесных, так и, в особенности, нелесных зон лесопригодность земель имеет большую пространственную мозаичность. В границах одного климатопа она обусловлена в основном пестротой почвенно-грунтовых условий, которые во многом определяют состав, строение, продуктивность и долговечность лесных сообществ.

Г. Н. Высоцкий применительно к степным (зональным) почвам под лесопригодной понимал "…такую почву, на которой может быть создано устойчивое натурализирующееся сомкнутое древесное насаждение того или иного состава, наиболее соответствующее местным условиям произрастания. На почвах лесонепригодных совершенно невозможно создать натурализирующееся древесное насаждение, на почвах же промежуточных, сомнительной лесопригодности, надо полагать, могут быть образованы устойчивые древесные или древесно-кустарниковые насаждения, которые являются переходными типами между настоящим лесом из сомкнутого древостоя, с одной стороны, и кустарниковыми зарослями или же единично… разбросанными деревьями, с другой стороны" [72, с. 75]. То есть, согласно его представлениям, лесопригодными являются те почвы (точнее почвогрунты – А. М.), на которых раз

появившееся (в т. ч. и культурным путем) лесонасаждение может существовать без вмешательства человека по крайне мере на протяжении жизни одного поколения древостоя. На почвах "сомнительной лесопригодности" появление и длительное существование лесных сообществ разного уровня биоценотической самоорганизации обусловлены выполнением лесохозяйственных мероприятий.

Таким образом, Г. Н. Высоцкий также предлагал выделять лесопригодные и условно лесопригодные почвы. Однако следует помнить, что как в пределах первых, так и вторых имеет место широкая палитра разнокачественных по условиям лесообразования поверхностных отложений.

2.4.1. Лесопригодность автоморфных почвогрунтов для массивного облесения сосной

На протяжении многих десятилетий широко известно, что в пределах засушливого пояса наиболее благоприятными для леса свойствами обладают почвогрунты песчаных массивов (арен). Однако из-за их потенциальной бедности (особенно древних подстилающих песков) элементами минерального питания лесная растительность здесь представлена в основном небольшой группой олиготрофов. Наибольшее распространение в островных, ленточных борах и в культуре на юге России и Украины получила сосна обыкновенная. Широкое применение этой ценной породы в степном лесоразведении потребовало всестороннего изучения лесорастительных свойств песчаных почвогрунтов, породило противоречия в оценках их лесопригодности.

Лучшие лесорастительные условия складываются на площадях с корнедоступной ГВ. На юге страны в питании древостоев сосны она может участвовать в размере 30-200 мм [32, 62, 94, 180], что резко меняет условия жизни насаждений при динамичном атмосферном увлажнении. Но такие участки расположены локально и за редким исключением не имеют решающего значения для массивного разведения сосны.

Лесопригодность автоморфных почвогрунтов, где водное питание насаждений возможно только за счет атмосферных осадков, обычно оценивают через сложность агротехники создания культур, глубину возможного укоренения сосны и засухоустойчивость ее насаждений в фазах чаща – жердняк, ожидаемый бо-

нитет и долговечность древостоев.

Предварительно отметим, что практически все исследователи оценивают лесорастительные свойства глубоководных почвогрунтов по двум признакам: содержанию в них ФГ, гумуса и водорастворимых солей, определяющему их водоудерживающую способность, плодородие и корнедоступность почвенной влаги; а также по строению (стратиграфии) КС как фактору, влияющему на интенсивность и полноту освоения его корнями.

Так, Г. И. Танфильев причины невысокой долговечности (110-130 лет) сосны на глубоководных площадях Хреновского бора видит в близости подстилающего песок слоя известкованной глины, ограничивающей глубину ее укоренения. Сосна, по его мнению, "…является растением, избегающим известковых почв" [374, с. 343].

Г. Ф. Морозов [271] считал, что сосна требовательна к глубине КС и рыхлости почвы. Она чувствительна к избытку соли, но мирится с известью, и может расти на черноземе, причем буйно. По его данным, в лесостепи рост сосны улучшается от сухих на дюнных песках низких террас к пристепным борам на супесях высоких террас, в последнем случае даже по мере приближения к дневной поверхности подстилающего суглинка.

В. П. Веселовский [41] в условиях низководных террасовых отложений Среднего Дона отмечал лучший рост сосновых культур (13-35 лет) на каштановых песках (супесях), ухудшение его на серопесках и бугристых песках, особенно в котловинах выдувания, вызванное бедностью субстрата и охлестыванием растений песком.

На основании данных более поздних исследований на Среднем Дону, Нижнем Днепре и в других районах к этой же точке зрения пришли А. Г. Гаель и др. [82, 84, 89, 92], В. В. Миронов [255-257], И. И. Даньшин [121], Н. Ф. Кулик [178], В. Н. Виноградов [46] и др.

В 60-70-летних сосняках Московской обл. В. Д. Зеликов [143] установил тенденцию увеличения средней высоты древостоя от рыхлых песков (содержание ФГ 0-5%) к супесям (11-15%) и уменьшения ее в диапазоне тяжелая супесь (16-20%) – тяжелый суглинок (40-45%). Последнее он объяснил снижением дренированности почвы.

Улучшение роста и повышение долговечности сосновых культур в условиях Придонья А. Г. Гаель и Л. Ф. Смирнова [93] связывают с увеличением мелкозернистости и глинистости пес-

чаных отложений. Они сообщают, что добавление к кварцевому песку всего лишь 1-2% глины (иловатых, глинистых и пылеватых частиц диаметром менее 0,01 мм) может повысить бонитет сосновых насаждений на целый класс.

В повышении трофности местообитаний и производительности лесонасаждений содержанию ФГ большое значение придавали также М. Е. Ткаченко [377], Д. В. Воробьев [53], С. П. Погребняк [307], А. Л. Бельгард. Последний высказывается прямо, что переход от степных незасоленных почв легкого гранулометрического состава к почвам более тяжелым указывает, как правило, на возрастание плодородия [19, с. 131-132].

Подмеченная закономерность особенно ярко проявляется в районах регулярного увлажнения осадками. Так, на приморских эоловых песках Южной Прибалтики Э. А. Репшас [321] установил высокую (почти функциональную) связь ($r = 0,98 \pm 0,01$) между средним содержанием частиц ФГ в корнеобитаемом слое и средней высотой сосновых насаждений.

И. С. Матюк [241] пришел к выводу о том, что на эродированных многофазных почвогрунтах Чирского песчаного массива (Среднее Придонье) с содержанием гумуса менее 1% рост сосновых культур находится в зависимости от гранулометрического состава недоразвитых почв. Положительное значение имеет его утяжеление с глубины 40-145см.

На основании почвенно-гидрологических исследований арен р. Волчьей (Харьковская обл.) Г. Н Высоцкий и А. Л. Бельгард [78] показали, что субори могут формироваться и на песках, если последние подстилаются глинистыми прослойками.

М. М. Дрюченко [157] приводит сопряженные данные об экологических условиях, динамике роста и продуктивности 45-летних культур сосны крымской на Алешковской арене (Нижнеднепровский массив), а также 40-летних культур сосны обыкновенной на песках надлуговой террасы р. Северского Донца (Волчанский р-н Харьковской обл.). Из них весьма наглядно и убедительно следует, что бонитет насаждений этих сосен, несмотря на их различную требовательность к плодородию почвы, проявляет одинаковую закономерность. Он повышается (у сосны обыкновенной более стремительно) одновременно с утяжелением гранулометрического состава поверхностных отложений и приближением к дневной поверхности погребенных почв, суглинистых,

супесчаных и глинисто-песчаных слоев. Однако он указывает, что если в песках в КС залегает только одна прослойка даже рыхлого суглинка, то, задерживая временно осадки и питательные вещества, она концентрирует над собой корневую систему. "Чем ближе такая прослойка к поверхности, тем меньше мощность КС, тем хуже растет насаждение" [157, с. 45].

Обращая внимание на крайне низкую корнепроницаемость песков (горизонт С) засушливой зоны с объемной массой 1,6-1,8 г/см^3, общей порозностью 38-42%, твердостью 50-60 кг/см^2, большая группа ученых во главе с А. Г. Гаелем [60, 82, 84, 89, 90, 92-94 и др.] придает решающее значение гумусности, влагоемкости песчаных отложений, наличию в их профиле влагоемких прослоев как факторам, определяющим глубину укоренения сосны, продуктивность и долговечность ее древостоев. Они едины также в негативной оценке влияния на рост и устойчивость сосняков в Придонье выходов на поверхность или залегания на небольшой глубине (до 40 см и менее) от нее иллювиальных железистых горизонтов разрушенных почв, способных к цементации в процессе высыхания.

Высказывается мнение и об отрицательном влиянии влагоемких прослоев при залегании их ниже слоя регулярного промачивания осадками. Так, А. Г. Гаель и Л. Ф. Смирнова считают, что в лесной и лесостепной зонах, где водный режим песчаных почв промывной, на мощность КС положительно влияет наличие в песках с глубины 0,7-1,5 м ортзандов, суглинистых прослоев и подстилающих водоупорных пород, над которыми весной зависает просачивающаяся вода, формируя один или несколько слоев верховодки. "Но в сухостепной зоне и тем более в полупустыне, где весенней талой воды для глубокого промачивания почв уже не хватает, плотные иллювиальные горизонты почв, суглинистые прослои и ортзанды сильно высыхают от корневой десукции, цементируются и становятся препятствием для проникновения корней вглубь. При этом сильно уменьшается мощность "производительного" слоя почвогрунтов, ухудшается рост древесных пород, и в резко засушливые годы они могут усохнуть" [94, с. 93].

В. И. Рубцов [326] связывает присутствие в песке глинистых прослоев с возможностью формирования временных горизонтов верховодки, имеющей большое значение для роста сосны в ЦЧО. Согласно его таблицам хода роста производительность 80-летних сосняков в диапазоне условий от A_2 к C_2 увеличивается почти вдвое.

В районах с годовой нормой осадков 350-500 мм В. В. Миронов [257] и В. Н. Виноградов [46] более высокую лесопригодность однозначно приписывают полнопрофильным черноземовидным супесчаным почвам. Первый отмечает, что в годы засух супеси пересыхают сильнее, чем пески, почвенная засуха в них глубже и продолжительнее. Лучший рост насаждений на них обязан бóльшим запасам продуктивной влаги, худший – на бугристых песках даже при отсутствии почвенных засух – недостаточному содержанию влаги и считает, что "…лесорастительные условия определяются главным образом… ежегодными запасами доступной влаги в корнеобитаемой толще и глубиной (мощностью) последней" [257, с. 22]. Он отмечал и положительное влияние на водный режим погребенных почв эолового наноса на их поверхности.

Наиболее сложные лесорастительные условия приписывают бугристым пескам [58, 60, 83, 84, 148, 150, 193]. В связи с различиями в твердости сложения и глинистости вертикального профиля, возможностью перераспределения атмосферных осадков по элементам рельефа они отличаются большой пространственной пестротой как корнепроницаемости отложений, так и режима почвенной влаги. Лучшие условия складываются в котловинах выдувания, межбугровых понижениях, на вогнутых склонах, где имеет место дополнительное поступление влаги за счет поверхностного стока, а производительность насаждений определяется зольным питанием. Худшие условия на верхних частях склонов бугров, где сток не только обостряет дефицит влаги, "…но и увеличивает амплитуду колебания влагообеспеченности по годам, что в свою очередь отрицательно сказывается на состоянии деревьев" [148, с. 106].

Изучая состояние культур сосны на зональных почвах сухой степи по линии Волгоград – Камышин, Е. Д. Годнев [106, 107] отдал предпочтение лесопригодности суглинистых (включая тяжелые слабосолонцеватые суглинки) почв даже перед супесчаными почвами.

А. Г. Гаель и Н. А. Воронков сообщают, что в подзоне сухих степей Восточного Казахстана при норме осадков 250-300 мм/год и испаряемости 600-700 мм/год природные сосняки растут на маломощных дерново-боровых почвах дюнных всхолмлений. Реже они встречаются на более мощных связнопесчаных почвах понижений и совсем редко на черноземовидных супесях, подстилаемых суглинками. Эти ученые приходят к выводу о том, что в сухой степи ЕТР с нормой осадков 330-380 мм/год и более и про-

должительным вегетационным периодом оптимальные условия для роста сосны формируются не на бедных рыхлопесчаных и не на богатых мощных супесчаных, а переходных между ними связнопесчаных почвах с гумусовым горизонтом (А + В) 80-120 см, ортзандовыми прослойками в материнском песке, подстилаемом на глубине 2,5-4,0 м карбонатным суглинком: в черноземной степи (Хреновской бор) – пристепных черноземовидных супесчаных почвах [89, с. 34]. Они отдают предпочтение лесопригодности более корнепроницаемым полиминеральным пескам Бузулукского бора по сравнению с кварцевыми песками Хреновского бора, расположенными не в худших климатических условиях.

Противоположного взгляда придерживается В. А. Дубянский, считая, что на Среднем Дону лучшими лесорастительными свойствами обладают сыпучие пески, образовавшиеся перевеванием серопесчаных почв: "Несколько худшие… наблюдаются на пологих буграх с сероватым (от недостатка отвеивания гумуса) эоловым слоем малой мощности (менее 0,5 м) и с близким залеганием погребенной почвы" [133, с. 91]. По его данным, на серых песках (дерново-степных связнопесчаных почвах – А. М.) культуры сосны II-III классов возраста отличаются большой пестротой состояния и большими различиями в росте на разных элементах рельефа. Он писал: "Черноземные супеси на высокой террасе, при отсутствии верховодки и при залегании ГВ на недоступной для корней глубине…, непригодны для массивного лесоразведения" [133, с. 197]. Этот исследователь отрицает также положительную роль погребенной почвы. Он считает, что корни сосны в нее либо не углубляются, либо проходят, не образуя мочки, и отмечает крайне небольшую распространенность на Среднем Дону и полную лесонепригодность для культур сосны солонцеватых песков даже при близкой верховодке [133, с. 165]. Определяя как совершенно неудовлетворительные условия в котловинах выдувания, где обнажается светлый неперевеянный песок, он отмечает отсутствие здесь в 20-летних карликовых насаждениях сухих деревьев, реакции сосны на засухи и считает, что все это "…свидетельствует об отсутствии факторов, доводящих сосну до кризиса, при наличии факторов, обуславливающих крайнее угнетение роста" [133, с. 103], подчеркивая также, что при мульчировании поверхности древнеаллювиального песка эоловым наносом слоем 0,4-0,7 м рост сосны резко улучшается. Наряду с ухудшением водного режима в направлении светлый песок – супесь В. А. Дубянский отмечает и ухудшение ус-

ловий агротехники культур.

Исследования Н. А. Воронкова [60] показали, что на Среднем Дону в сходных климатических условиях влагообеспеченность сосны на легкосупесчаных почвах бывает на 15-20% выше, чем на связнопесчаных. Позднее, суммируя оценки лесопригодности почвогрунтов автоморфного ряда различными исследованиями, он пишет: "Следует, однако, отметить, что обоснованная оценка лесорастительных свойств почв возможна только применительно к конкретным условиям атмосферного увлажнения. Теоретически наиболее благоприятный водный режим будет иметь такая почва, которая способна возможно глубже увлажняться атмосферными осадками, пропуская в то же время минимальное количество влаги за пределы корнеобитаемого слоя. Исходя из этого, в районах лесостепи и северной степи лучшими в лесорастительном отношении являются супесчаные почвы,… в крайне засушливых районах южной степи преимущество переходит к почвам более легкого механического состава (связно- и рыхлопесчаным), хотя они и теряют некоторые положительные свойства в отношении богатства питательными веществами" [62, с. 16].

Н. С. Зюзь [148-150] большое значение придает корнепроницаемости грунта, мощности и влагоемкости КС. Приведенные им данные подтверждают вывод [89, 92] о том, что в песчаных грунтах естественного сложения складываются весьма трудные условия для проникновения корней растений. Критическая твердость кварцевого песка для корней сосны составляет 1,6-1,8 МПа. Он пишет: "Твердость влажных древнеэоловых отложений песка, не затронутых или слабо затронутых процессами почвообразования, на глубине 2 м, как правило, выше 2,0 МПа" [150, с. 37]. Автор отмечает более высокую корнепроницаемость полимиктовых песков, объясняя это увеличением их порозности вследствие химического выветривания минералов. Ограничителями корнедоступной толщи в них являются не твердые слои грунта, а засоленные горизонты. Влагоемким суглинистым прослоям он приписывает не только влагозадерживающую роль, но и роль естественных рыхлителей прилегающих слоев песка за счет изменения их объема в процессе "набухание-высыхание".

Лесопригодность песчаных земель Н. С. Зюзь ставит в прямую зависимость от потенциальной мощности ризосферы, а также стабильности ее увлажнения осадками холодного периода, рассматривая ее как основной фактор, определяющий долговеч-

ность насаждений. Минимальная мощность ризосферы для произрастания сосны им определена в 2 м. Стабильность насыщения ризосферы влагой должна обеспечивать сохранение жизнеспособности насаждений. Поскольку сосна сохраняет ее при снижении влагообеспеченности не более чем на 40-50% [62, 149, 180], он отмечает: "Следовательно, стабильность весенней влагозарядки удовлетворяет целям засухоустойчивости сосновых насаждений в районе Волгограда при условии влагоемкости ризосферы не более 150-200 мм, т. е. близкой к среднегодовой сумме осадков холодного периода" [150, с. 48]. При мощности ризосферы 2 м и более это будет соответствовать связным и рыхлым пескам.

Большое значение мощности КС для успешного произрастания лесных культур на песках в дельте Дуная отмечает и E. Costin [422].

Н. А. Прозоров [312], изучая зависимость радиального прироста сосны в различных эдафических условиях сухой степи от динамики ряда метеорологических показателей, также делает вывод о смещении лесопригодности по мере увеличения сухости климата в сторону менее влагоемких бедных почвогрунтов.

Для сосняков Марийского низменного Заволжья Р. Н. Шарафутдинов и В. Л. Черных [400] установили следующую связь между их продуктивностью, с одной стороны, содержанием ФГ и литологическим строением почвогрунтов, с другой.

На рыхлых и связных однофазных песках возвышений в 15-25-летних культурах бонитетные баллы целиком определяются гранулометрическим составом верхних горизонтов почв (повышаются с увеличением содержания ФГ). На песках и супесях, сменяемых на глубине 0,3-1,5 м многочленными отложениями, продуктивность насаждений старше 30 лет больше определяется глубиной залегания последних (коэффициент корреляции $r = –0,90$), меньше – гранулометрическим составом верхнего горизонта ($r = 0,44$). На суглинках и супесях, сменяемых песками на глубине 0,5-1,5 м, 18-33-летние насаждения тем продуктивнее, чем тяжелее породы ($r = 0,81$). Их бонитетные показатели повышаются с увеличением глубины залегания подстилающих песков ($r = 0,77$).

Таким образом, в оценках лесопригодности автоморфных почвогрунтов различными исследователями налицо большой разброс мнений. Тем не менее, в их основе достаточно явно прослеживается ряд закономерностей.

1. Лесопригодность определяется особенностями водного потенциала почвогрунтов. Ее главными показателями являются

объем, качество и стабильность по годам доступных запасов почвенного раствора, формирующихся в КС древостоя;

2. Водный потенциал сходных по строению и физико-химическим свойствам почвогрунтов изменяется в зональном размере в зависимости от режима выпадения и испарения осадков;

3. Лесопригодность почвогрунтов изменяется и во времени в связи с возрастом насаждений. С развитием и увеличением вертикальной мощности корневой системы древостоя она повышается, с увеличением массы древостоя при консервативном (стесненном) состоянии корневой системы понижается;

4. Значение влагоемких прослоев в песчаных отложениях (а, следовательно, и общей влагоемкости КС) в повышении их лесопригодности увеличивается с ростом увлажненности территории, снижается, становится индифферентным или отрицательным при их приповерхностном положении (в интенсивно иссушаемом слое) или размещении ниже слоя регулярного увлажнения осадками;

5. Богатство нарушенных малогумусных (редко до 1-2% в слое 0-10…0-50 см) незасоленных почвогрунтов степных арен, площади которых и являются традиционными объектами сплошного облесения сосной, определяется в основном содержанием в них ФГ, а не органических коллоидов. Это можно объяснить как многократным (в десятки раз по весу) преобладанием ее в составе отложений над органическим веществом, так и более активным участием глин в ионном обмене вследствие плоской у них поверхности раздела фаз [275];

6. Содержание ФГ в песках является надежным показателям их богатства, влагоемкости, корнепроницаемости, а также доступности почвенной влаги для сосны.

2.5. Количественная оценка лесопригодности земель

2.5.1. Теоретические основы

По силе прямого и обратного взаимовлияния факторы лесообразования [268] (с определенной условностью) распределяются в следующей последовательности: климат – грунт – рельеф – почва – биология лесных пород – внутренняя среда леса – человек. За последнее столетие деятельность человека приобрела качество климатообразующего фактора [33, 266] и последовательный ряд лесообразователей следует представлять не в виде це-

почки, а в виде замкнутого кольца.

Первые четыре фактора образуют внешний – географический потенциал (среду) лесообразования. Следующие два – внутренний – биоценотический. Эти потенциалы взаимно детерминированы как эволюционно, так и на каждом этапе лесообразования [71, 128, 368, 374]. По мере оскудения географической среды снижается и биоценотический потенциал, но возрастает относительное влияние на этот процесс (как позитивное, так и, в особенности, негативное) деятельности человека – другого внешнего – исторического потенциала лесообразования. Совокупность этих потенциалов создает историко-географическую среду лесообразования, широко варьирующую по земной поверхности.

Географический потенциал (фитотопологическая обстановка [73] или фитоэкологические условия) – суть, ресурсная база реализации наследственных свойств лесных растений, животных, их совокупностей, т. е. формирования и сохранения лесной среды (внешним признаком которой выступает сомкнутость полога древостоя) как непрерывно действующего внутреннего фактора, обеспечивающего возникновение и гомеостаз лесного биогеоценоза [268, 368] – открытой саморегулирующейся системы. Деятельность человека влияет в основном на эффективность реализации биоценозами природного потенциала лесообразования.

Каждому однородному участку территории ("экотопу", "биотопу", "геоценозу" [368]) присуща своя среда лесообразования. Качество последней и определяет лесопригодность того или иного участка, а совокупности участков – лесопригодность территории (земель).

Таким образом, лесопригодность земель следует рассматривать не только как понятие географическое (зонально-эдафическое), но и биоценотическое (т. е. в применении к биологии конкретной породы или группы пород – лесообразователей), а также историческое (т. е. учитывающее уровень общехозяйственного и возможности целевого лесохозяйственного влияния на лесообразовательный процесс).

Известно [33, 55, 268, 329, 369], что лес потребляет лишь часть (*Пi*) природно-ресурсного потенциала (*П*) географической среды. Отсюда лесопригодными будут территории, где $П > Пi$ на величину i (неизбежные потери: отраженная радиация, излучение; физическое испарение, сток влаги; недоступные резервы углекислого, азотно-зольного питания и т. д.), остальные – условно лесо-

пригодными, где формирование и существование лесных экосистем возможно только при определенных дополнительных условиях (наличии альтернативных источников питания, защиты от чрезмерного переохлаждения (перегрева), отсутствии опасных фитофагов и т. п.). Но главным из них является целевое влияние на лесообразовательный процесс (подбор пород, устранение конкурентов, регулирование густоты, орошение, удобрение и т. д.) человека. Очевидно, что по мере роста хозяйственных возможностей нижняя граница условно лесопригодных земель будет все время опускаться.

При достаточной теплообеспеченности лесопригодность земель определяется в основном запасом доступной почвенной влаги, формирующемся в КС древостоя за счет атмосферного и грунтового увлажнения, и биологической эффективностью почвенного раствора. Вследствие естественных колебаний климата и погоды величина продуктивных влагозапасов изменяется по годам в широких пределах, вызывая изменения качества почвенной влаги и влагообеспеченности лесных экосистем. Но в лесных зонах на преобладающей территории она не снижается до уровня, при котором происходит необратимое нарушение лесообразовательного процесса – гибель насаждений, т. е. всегда соблюдается неравенство

$$П_{min} > Пi_{min}. \quad (1)$$

Следовательно, лесопригодность таких земель (однородных почвенных контуров) можно оценивать по их потенциальной лесопроизводительности ($Л_1$), рассчитанной как отношение среднегодового запаса влаги в КС ($Зп.в.ср.$) к норме ее годового расхода элементарным насаждением главной лесообразующей породы с минимальной массой транспирирующего аппарата (листьев, хвои) в сомкнутом пологе ($Фп_{min}$), т. е.

$$Л_1 = Зп.в.ср./Фп_{min.} \quad (2)$$

С ростом континентальности и засушливости территории увеличивается динамичность ее атмосферного увлажнения. В лесостепной и особенно степной зоне в засушливые годы сокращение запасов доступной влаги в КС (особенно при глубоком залегании ГВ) может вызывать не компенсирующийся саморегуляцией лесонасаждений дефицит их влагообеспеченности, сильное расстройство или гибель древостоев. Искусственное же поддержание ее на безопасном уровне своевременными рубками ухода в молодняках нуждается в оценке не только потенциальной лесопроизводительности, но и диапазона изменчивости (уровня стабильности) по го-

дам влагозапасов в КС ($Л_2$). Таким образом, определение лесопригодности земель этих зон является двухкритериальной, много более сложной задачей, имеющей несколько решений, – применительно к насаждениям из листопадных и вечнозеленых пород, обладающих разными возможностями преодоления засух.

Рассмотрим эту задачу на примере наиболее простых экосистем – монокультур сосны, преобладающих на низководных песчаных землях степной зоны.

Литературные данные позволяют говорить о том, что лесопригодность автоморфных почвогрунтов определяется их способностью в определенных условиях атмосферного увлажнения, с одной стороны, влиять на объем и качество ежегодно формирующихся запасов влаги в КС, с другой, на стабильность этих запасов и, как следствие, на параметры биоценоза. В пределах одного климатопа это влияние разнонаправленное, а лесопригодность, таким образом, выступает его результирующим показателем.

Причиной нестабильности запасов корнедоступной влаги в ризосфере сомкнутых сосновых насаждений выступают, главным образов, колебания суммы и ритмика атмосферных осадков. Годы повышенно влажные провоцируют рост охвоенности деревьев, потребности их во влаге. В следующие за ними годы засух влагообеспеченность древостоев с многолетними запасами листового аппарата снижается и может выходить за физиологически допустимые пределы, вызывать их распад. Сохранение жизнеспособности молодых сомкнутых насаждений на условно лесопригодных землях в засухи обеспечивается только при определенной норме водопотребления (*Нвп*), безопасной чрезмерным увеличением их охвоенности. Различия в водоудерживающей способности почвогрунтов, биологической доступности и эффективности почвенных растворов влияют на величину этой нормы, вызывают мозаичность лесопригодности земель. В районах неустойчивого увлажнения она меньше активной составляющей осадков и может быть использована для сравнительной оценки лесообразовательного потенциала этих земель.

Строго говоря, в достаточно теплообеспеченных районах относительная лесопригодность земель ($Л$) определяется объемом ($О$), качеством ($К$) и стабильностью ($С$) потенциала водноминерального питания древостоев, т. е.

$$Л = f(О, К, С) \qquad (3)$$

Первые два показателя определяют потенциальную лесопроизводительность экотопа или потенциальную продуктивность

насаждений. Последний – пределы изменчивости запасов почвенной влаги (минерального раствора), зонально-топологическую амплитуду колебания влагообеспеченности древостоев и их потенциальную долговечность.

Объем и стабильность запасов питания сосняков на автоморфных почвогрунтах определяются влагонасыщением КС атмосферными осадками, т. е. годовой нормой последних (*Ос*, мм/год) и эффективной влагоемкостью (*Вл*, мм) слоя (см. разд. 2.5.3).

$$О,\ С = f(Ос, Вл). \quad (4)$$

Влагоемкость ризосферы и качество почвенных растворов эродированных малогумусных (гумуса до 0,3-1,0% в верхнем 10-30 см слое) незасоленных легких почвогрунтов, которые обычно отводят под облесение малотребовательной к плодородию сосной обыкновенной, в основном обусловлены присутствием в них тонкодисперсных фракций. А лесопригодность таких почвогрунтов можно представить как функцию годовой нормы осадков и средневзвешенного содержания ФГ (*Гл,* %) в КС сосны (верхней 2-метровой толще) [87, 93, 94].

$$Л = f(Ос,\ Гл). \quad (5)$$

Показатель потенциальной лесопроизводительности почвогрунтов ($Л_1$) можно определить по отношению *Нвп* к нормальному расходу влаги (физиологической потребности) за вегетацию сомкнутым насаждением с минимальным пологообразующим запасом хвои ($Фп_{min}$):

$$Л_1 = Нвп/Фп_{min.} \quad (6)$$

Если принять за порог устойчивости сосны снижение ее влагообеспеченности на 50%, то *Нвп* будет равно двукратной величине минимального запаса почвенной влаги ($Влн_{min}$), формирующегося в наиболее засушливый год, т. е.

$$Л_1 = 2Влн_{min}/Фп_{min.} \quad (7)$$

Показатель стабильности водно-минерального питания по годам ($Л_2$) определяется по отношению возможных минимальных к возможным максимальным годичным запасам корнедоступной влаги ($Влн_{max}$), формирующимся на одном уровне вероятности выпадения малой и большой годовых сумм осадков:

$$Л_2 = Влн_{min}/Влн_{max.} \quad (8)$$

Норма осадков и содержание ФГ в почвогунте чрезвычайно изменчивы по территории, поэтому лесопригодность земель тоже изменчива. В природе ее снижение сопровождается упрощением формы насаждений (смешанные многоярусные сменяются одно-

ярусными), падением энергии роста и дифференциации деревьев, повышением густоты однопородных древостоев, снижением их бонитета и сомкнутости полога и, наконец, сменой пород или растительных формаций. А применительно к искусственным насаждениям сосны обыкновенной на юге ЕТР – ростом примата монокультур, снижением их продуктивности, долговечности, устойчивости к болезням, вредителям, воздействию пожаров, увеличением потребности в лесохозяйственном вмешательстве.

Приведенный выше подход к оценке лесопригодности земель в принципе можно распространить и на площади с гидроморфными почвенными разностями. Но для этого потребуется получить объективные количественные характеристики участия в водном питании молодых насаждений сосны капиллярно-подпертой влаги при различной глубине ее залегания и в разные по сумме осадков годы.

Потенциальную лесопроизводительность условно лесопригодных земель под насаждения листопадных пород можно определять по отношению среднегодового запаса влаги в КС к нормальной годовой физиологической потребности во влаге сомкнутого насаждения с минимальной массой листьев, т. е. так же как и для хвойных пород в лесных зонах.

2.5.2. Моделирование водно-физических свойств почвогрунта

Поскольку сосновые насаждения в основном питаются из верхнего 2-метрового слоя почвогрунта, водно-физические свойства их ризосферы можно оценить по НВ и ВЗ этого слоя. Разница между ними дает представление о диапазоне свободной влаги или продуктивной влагоемкости (*Пр.В*). Применительно к малогумусным незасоленным почвенным разностям эти показатели являются в основном функцией содержания ФГ. Засоление почвогрунта в нетоксичных пределах для растений адекватно росту связной и сокращению свободной корнедоступной влаги и может быть учтено через величину максимальной гигроскопичности.

Корнедоступность подвешенной влаги зависит не только от разности НВ – ВЗ, но и от ее подвижности в почвогрунте (от влажности и капиллярности слоя), а также загруженности его корнями. Это вызывает необходимость выделять еще одну почвенно-гидрологическую константу – эффективную влагоемкость почвы (*ЭВ*), которую можно вычислить через коэффициент использования продуктивной влаги ($К_{исп.вл.}$) как

$$ЭВ = Пр.В \cdot К_{исп.вл.} \quad (9)$$

В связи с недостатком научных данных о степени доступности для сосны подвешенной влаги на разных по гранулометрическому составу почвогрунтах прибегнем к ее экспертной оценке. Допустим, что в среднем на рыхлых песках $К_{исп.вл.}$ составляет 80%, супесях 90, суглинках – на границе между легкими и средними 100%. Тогда в диапазоне грунтов рыхлый песок – легкий суглинок он будет изменяться с 0,8 до 1,0.

Регрессионный анализ собранных данных (прилож. 2 и 3) и ряда значений $К_{исп.вл}$ дает следующие функции:

$$НВ(\%) = 0{,}616Гл + 2{,}18 \quad (r = 0{,}965,\ R = 93{,}2\%,\ P = 3{,}0\%), \quad (10)$$

$$ВЗ(\%) = 0{,}31Гл - 0{,}75 \quad (r = 0{,}96,\ R = 92{,}3\%,\ P = 6{,}3\%), \quad (11)$$

$$К_{исп \cdot вл.} = 0{,}0074Гл + 0{,}782 \quad (r = 0{,}997,\ R = 99{,}6\%,\ P = 0{,}1\%), \quad (12)$$

а совместное решение (10) и (11)

$$Пр.В(\%) = 0{,}306Гл + 2{,}93 \quad (r = 0{,}99,\ R = 98{,}5\%,\ P = 2{,}0\%), \quad (13)$$

Вычисленные по (12) и (13) значения $К_{исп \cdot вл.}$ и $Пр.В$ позволяют получить функцию

$$ЭВ(\%) = 0{,}0023Гл^2 + 0{,}261Гл + 2{,}291. \quad (14)$$

Динамику параметров $ЭВ$ хорошо аппроксимирует и линейное уравнение

$$ЭВ(\%) = 0{,}333Гл + 1{,}91 \quad (r = 0{,}999,\ R = 99{,}8\%,\ P = 1{,}0\%), \quad (15)$$

где r – коэффициент корреляции, R – коэффициент детерминации, P – ошибка средней.

Выравненные значения этих показателей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры водно-физических констант легких почвогрунтов на юге европейской территории России

Средневзвешенное содержание ФГ, %	НВ		ВЗ		Пр. В		ЭВ	
	%	мм в 2-метровом слое	%	мм в 2-метровом слое	%	мм в 2-метровом слое	%	мм в 2-метровом слое
0	3,75*	113	0,69*	17	2,93	88	2,09	69
3	4,48*	134	0,87*	26	3,84	115	3,09	93
5	5,13*	154	1,02*	31	4,46	134	3,62	109
7	6,52	196	1,42	43	5,10	152	4,23	127
10	8,34	250	2,35	71	5,99	180	5,13	154
15	9,24	277	3,90	117	7,52	226	6,72	202
20	14,50	435	5,45	164	9,05	272	8,43	253
25	17,58	518	7,00	210	10,58	316	10,23	307
30	20,64	619	8,55	257	12,09	365	12,09	365

**Вычислены по экспоненциальным функциям* $НВ = e^{1{,}321 + 0{,}063Гл}$ *(P = 0,3%), (16)*

$ВЗ = e^{-0{,}37 + 0{,}078Гл}$ *(P = 3,3%).* *(17)*

2.5.3. Моделирование влагонасыщения атмосферными осадками корнеобитаемого слоя в сомкнутых насаждениях сосны

Известно [62, 64, 74, 180, 245, 268], что влагонасыщение КС массивных насаждений практически целиком обеспечивают вертикальные атмосферные осадки. Горизонтальные дают 3-9 мм (в расчетах принято 4 мм эффективной влаги за холодный период). Принос со стороны и вынос снега присущ лишь опушкам и не влияет на водный баланс таких насаждений. Поверхностный сток в них либо отсутствует, либо (на бугристых песках) носит характер узколокального перераспределения влаги [84, 148, 180, 263, 314], утилизируемой в пределах элементарного лесного массива, поэтому влагонасыщение (*ВН*) КС в сосняках можно представить в виде уравнения

$$ВН = Ос – Икр – Ипчв – От, \quad (18)$$

где *Ос* – вертикальные осадки, *Икр* и *Ипчв* – физическое испарение влаги осадков с крон и с поверхности почвы, *От* – вертикальный отток влаги за пределы КС (2-метрового слоя).

Годичные запасы почвенной влаги, формирующиеся в насаждениях сосны, определяются в основном колебаниями годовой суммы осадков. Параметры коэффициента ее вариации (С, %) на юге ЕТР (прилож. 4) аппроксимируются линейным уравнением

$$C = 46{,}38 – 0{,}054Oc \ (r = –0{,}96,\ R = 92{,}1\%,\ P = 5{,}5\%), \quad (19)$$

где *Ос* – норма осадков, мм/год.

В пределах района моделирования вычисленные значения *С* составляют (по изолиниям осадков) 300 мм/год – около 30%, 400 мм/год – 25, 500 мм/год – 19 и 600 мм/год – 14%.

Испарение с крон осадков вегетационного периода учтено в размере 16-30%, холодного (ноябрь – март) и части теплого – за период до начала и после окончания вегетации – 20-25% [62, 180, 256, 263, 268, 336]. Оно увеличивается пропорционально запасу хвои в насаждениях (в принятом ряду от 7,5 до 25,0 т/га) и влагоудерживающей емкости крон [60] (табл. 2) и определяется с помощью функций:

$$Ф_{и.к.о.в.п.} = 0{,}768Хв + 11{,}09 \ (r = 0{,}99,\ R = 98{,}78\%,\ P = 0{,}3\%), \quad (20)$$

$$Ф_{и.к.о.х.п.} = 0{,}274Хв + 18{,}25 \ (r = 0{,}99,\ R = 98{,}78\%,\ P = 0{,}3\%), \quad (21)$$

где $Ф_{и.к.о.в.п}$ и $Ф_{и.к.о.х.п}$ – физическое испарение с крон осадков вегетационного и холодного периодов (% от их сумм), *Хв* – запас сырой хвои в насаждении, т/га.

Таблица 2

Физическое испарение влаги осадков с крон сосновых насаждений на юге ЕТР

Хв, т/га	7,50	10,00	15,00	20,00	25,00
$Ф_{и.к.о.в.п}$, %	16,85	18,77	22,62	26,46	30,30
$Ф_{и.к.о.х.п}$, %	20,30	21,00	22,40	23,70	25,10

Физическое испарение влаги из почвы, покрытой слоем лесной подстилки, в сомкнутых насаждениях мало варьирует и принято в размере 24% от суммы осадков за теплый период [62].

Влагонасыщение КС рассчитано с помощью уравнений:

$$ВН_{х.п.} = Ос_{х.п.} + Гм – Ф_{и.к.о.х.п} – Гс_{о.х.п.}, \quad (22)$$

$$ВН_{т.п.} = Ос_{в.п.} – Ф_{и.к.о.в.п} – Ф_{и.п.о.в.п} – Гс_{о.в.п.}, \quad (23)$$

где $Ос_{х.п.}$ – осадки холодного периода (за ноябрь – март + осадки за октябрь и апрель, выпавшие за дни до начала и после окончания вегетационного периода), $Ос_{в.п.}$ – осадки вегетационного периода (со среднесуточной температурой воздуха $\geq 5^{o}$C), $Гм$ – горизонтальные осадки (4 мм), $Гс_{о.х.п.}$ и $Гс_{о.в.п.}$ – гравитационный (вертикальный) сток влаги за пределы 2-метрового слоя почвогрунта осадков холодного и вегетационного периодов.

Гравитационный сток влаги холодного периода рассчитан по разнице между поступлением ее за этот период и продуктивной влагоемкостью КС (прилож. 5, гр. 7-9), осадков вегетационного периода (прилож. 6, гр. 11-13) – по разнице между поступлением и расходом влаги на транспирацию насаждений в первые два месяца с учетом дефицита насыщения КС в холодный период, а продуктивный расход влаги (см. прилож. 6, гр. 10) определен по коэффициенту транспирационной активности (см. разд. 2.5.4), увеличенному в 1,5 раза (как рекомендовано [245] для влажных лет).

Расчетные данные (см. прилож. 5) свидетельствуют о том, что под сомкнутыми насаждениями сосны с запасом хвои 7,5-15,0 т/га даже на границе сухой степи и полупустыни в наиболее влажные годы осадки холодного периода могут промачивать более чем 2-метровую толщу рыхлых и связных песков и пополнять ГВ. А в районах с годовой нормой осадков 400 мм и более такое явление происходит и в средние по увлажнению годы. То есть облесенные песчаные массивы выполняют влагоконсервирующую функцию практически во всем диапазоне географических условий.

Вероятность сквозного промачивания осадками 2-метрового слоя почвогрунта в июле-сентябре в полнотных насаждениях не-

велика из-за активной десукции и образования большого дефицита влажности почвы (см. прилож. 6, 7). Тем не менее, во влажные годы на песках и легких супесях оно может происходить уже начиная с северных районов сухой степи [210].

Эффективное влагонасыщение КС определено по произведению запасов продуктивной влаги за гидрологический год (ГГ) (прилож. 8) и коэффициента использования их сосной ($К_{исп.вл.}$) в зависимости от характера почвогрунта (определен по функции (12) – прилож. 9).

Все расчеты выполнены для средних, острозасушливых и влажных лет на 95%-ом уровне вероятности выпадения осадков соответствующей величины (т. е. в интервале ±2*s*). Минимальные и максимальные суммы осадков определены по удвоенному коэффициенту вариации (*С*, %) их годовой нормы.

Регрессионный анализ данных прилож. 9 дал следующие функции расчета эффективного влагонасыщения (*Эвн*, мм) 2-метрового слоя почвогрунта (ризосферы) в сомкнутых насаждениях сосны:

$$Эвн_{мин.} = 0{,}55Ос + 1{,}22Гл - 1{,}43Хв - 99 \quad (Rм = 0{,}98,\ P = 0{,}5\%), \qquad (24)$$

$$Эвн_{сред.} = 0{,}477Ос + 2{,}5Гл - 2{,}26Хв + 27{,}1 \quad (Rм = 0{,}96,\ P = 0{,}4\%), \qquad (25)$$

$$Эвн_{макс.} = 0{,}39Ос + 4{,}88Гл - 2{,}9Хв + 129{,}8 \quad (Rм = 0{,}91,\ P = 0{,}1\%), \qquad (26)$$

где *Rм* – коэффициент множественной корреляции.

Данные прилож. 9 свидетельствует о значительных (часто многократных) географических, эдафических и ценотических различиях в запасе эффективной почвенной влаги в насаждениях сосны на юге Русской равнины и больших колебаниях его по годам. Сильнее всего величина *Эвн* КС обусловлена годовой нормой осадков (зоной). При этом теснота их связи нарастает от аномально влажных лет (r = 0,657, R = 43,13%) к острозасушливым (r = 0,997, R = 95,5%). В средние годы она оценивается на уровне 80%. Влагоемкость КС увеличивает свое влияние на *Эвн* в обратном направлении. В годы острых засух оно составляет всего 2-3%, во влажные может увеличиваться до 47, а в средние составляет 13,3%. Это свидетельствует о том, что при малом количестве осадков (в засушливые годы и в засушливых районах) значение почвогрунта (его состава, строения) как фактора лесообразования существенно уменьшается.

Рост охвоенности насаждений на 2-7% (в среднем на 5,3%) снижает величину *Эвн* КС и тем сильнее, чем больше осадков. То

есть эффективность изреживания сосняков (рубок ухода) для улучшения доступа влаги в почву будет наименьшей как раз в засушливые годы и в засушливых районах.

Функции (24)-(26) можно использовать для расчета вероятных значений *Эвн* КС во всем диапазоне условий юга Русской равнины, а (25) и для определения *Эвн* КС за любой год. Для этого норму осадков следует заменить их фактической суммой за ГГ.

2.5.4. Моделирование влагопотребления насаждениями сосны

Физиологическая потребность (*Фп*, мм) древостоев сосны во влаге определяется массой хвои в их пологе и эффективностью почвенного раствора. Годовой расход влаги единицей этой массы (коэффициентом транспирационного расхода [150, 178, 180] или транспирационной активности (*Кт.а*.) [64]) детерминирован климатическими (нормой осадков, продолжительностью периода вегетации) и погодными условиями, но особенно минеральным богатством почвы. В средние по осадкам годы в расчете на сырую хвою у сосны *Кт.а.* находится в пределах 140-240 [62, 178, 180, 194, 245, 263]. Данные Н. С. Зюзя [150] (табл. 3), полученные им для Волгограда и выравненные с помощью функции

$$Кт.а. = 239{,}6Гл^{-0{,}165} \quad (r = 0{,}99,\ R = 98{,}3\%,\ P = 0{,}0\%), \qquad (27)$$

позволили построить матрицы параметров *Кт.а*. и *Фп* (прилож. 10 и 11 в зависимости от продолжительности вегетационного периода (*Пв.п.*, дней) и почвенных условий.

Таблица 3

Годовые коэффициенты транспирационной активности сосны на легких автоморфных почвогрунтах юга ЕТР

Содержание ФГ в почвогрунте, %	3	5	7	10	15	20	25	30
Кт.а. по данным Н. С. Зюзя [38]	-	200	-	166	152	142	140	140
Кт.а., вычисленные по (27)	200	184	174	164	153	146	141	137

Матричные значения *Кт.а.* и *Фп* ($Хв \cdot Кт.а. \cdot 10^{-1}$) хорошо описываются уравнениями:

$$Кт.а. = 230{,}3 - 0{,}108Ос - 2{,}01Гл \quad (Rм = 0{,}91,\ P = 0{,}7\%), \qquad (28)$$

$$Кт.а. = 0{,}819Пв.п. - 2{,}01Гл + 28{,}9 \quad (Rм = 0{,}91,\ P = 0{,}7\%), \qquad (29)$$

$$Фп\ (мм) = 1{,}269Пв.п. + 15{,}3Хв - 3{,}1Гл - 192{,}3 \quad (Rм = 0{,}97,\ P = 0{,}6\%), \qquad (30)$$

$$Фп\ (мм) = -0{,}17Ос - 3{,}15Гл + 15{,}26Хв + 121{,}7 \quad (Rм = 0{,}96,\ P = 0{,}7\%). \qquad (31)$$

Кт.а. уменьшается с утяжелением гранулометрического состава почвы и сокращением *Пв.п*. Этими факторами его вели-

чина определяется на 64 и 27%. Аналогично уменьшается и *Фп*, но она является, в основном, функцией запаса хвои в насаждениях (R = 86,4%). Глинистость почвы и *Пв.п.* влияют на ее величину в среднем на уровне 7,4 и 3,1%.

Функции (28)-(31) пригодны для расчета нормальных (средних) значений *Кт.а* и *Фп* сосняков применительно к любому низководному участку территории региона с легкими почвами, а (28) и для получения сравнительной оценки эффективности почвенных растворов в питании сосны.

Отношение *Эвн КС/Фп* дает представление о влагообеспеченности насаждений, соответствии их охвоенности водно-минеральным ресурсам облесенной территории.

2.5.5. Моделирование охвоенности насаждений сосны

Параметры эффективного влагонасыщения КС (см. прилож. 9), *Кт.а* насаждений (см. прилож. 10), функции (24)-(26) и (28) позволяют получить расчетные значения допустимых (по критерию 50%-ной обеспеченности влагой в острозасушливые годы, $Хв_{доп.}$), наиболее вероятных (в средние годы, $Хв_{вер.}$) и возможных ($Хв_{возм.}$) к моменту образования сомкнутого полога или после серии влажных лет запасов хвои в молодняках сосны при различном сочетании почвенно-климатических факторов (прилож. 12). Они находятся по отношению *Эвн* КС при соответствующей обеспеченности атмосферным увлажнением к $Кт.а \cdot 10^{-1}$ и аппроксимируются следующими уравнениями:

$$Хв_{вер.} = 0{,}038Ос + 0{,}32Гл - 5{,}35 \quad (Rм = 0{,}95, \quad P = 1{,}3\%), \quad (32)$$

$$Хв_{доп.} = 0{,}08Ос + 0{,}34Гл - 21{,}5 \quad (Rм = 0{,}96, \quad P = 1{,}8\%), \quad (33)$$

$$Хв_{возм.} = 0{,}324Ос + 0{,}538Гл \quad (Rм = 0{,}995, \; P = 1{,}3\%). \quad (34)$$

Из расчетов следует, что запасы хвои в древостоях сосны увеличиваются пропорционально росту годовой нормы осадков, утяжелению гранулометрического состава почвогрунта. В острозасушливые и средние годы превалирует влияние зоны (89 и 66%). Характер почвогрунта КС сказывается на уровне 10-11 и 34%. Напротив, во влажные годы его влияние резко возрастает. Значение содержания глины в КС может увеличиваться до 66%, нормы осадков снижаться до 33-34%. Это свидетельствует о росте опасности накопления избыточной массы хвои во влажные годы от менее засушливых к более засушливым районам и, особенно, в сосняках на относительно тяжелых почвогрунтах.

Превышения (в %) вероятных ($Пр.Хв_{вер.}$) и возможных ($Пр.Хв_{возм.}$) запасов хвои над допустимыми можно определить с помощью следующих функций:

$Пр.Хв_{вер} = 176{,}3 – 0{,}194Ос + 0{,}24Гл$ ($Rм = 0{,}96$, $P = 0{,}9\%$), (35)

$Пр.\ Хв_{возм} = 275{,}5 – 0{,}361Ос + 1{,}08Гл$ ($Rм = 0{,}95$, $P = 1{,}4\%$).(36)

Функции (32)-(36) могут быть использованы как в научных целях, так и для расчета норм изъятия хвои в насаждениях рубками ухода перед наступлением засух [149].

Эффективное влагонасыщение КС в острозасушливые годы при наиболее вероятных запасах хвои в насаждениях накануне их наступления позволяют рассчитать норму безопасного водопотребления (*Нвп*, мм). При пороге устойчивости сосны на уровне 50% нормальной годовой влагообеспеченности *Нвп* составляет удвоенную величину минимального влагозапаса ($2Эвн_{мин}$, прилож. 13) и аппроксимируется функциями:

Нвп (мм) $= 0{,}989Ос + 1{,}27Гл – 180{,}6$ ($Rм = 0{,}99$, $P = 0{,}7\%$),(37)

Нвп (% от нормы осадков) $= 0{,}086Ос + 0{,}3Гл + 17{,}3$

($Rм = 0{,}99$, $P = 0{,}2\%$). (38)

Нвп увеличивается в направлении роста общей увлажненности территории и практически является показателем зоны (*R* около 99%). Одновременно растет разница в ее значениях в эдафическом ряду. То есть с перемещением от степных подзон к лесным утяжеление почвогрунта повышает эффективность биологической утилизации влаги. В районах ЕТР с нормой осадков свыше 500 мм/год расчетная *Нвп* на песках больше их активной составляющей даже во влажные годы, т.е. в этих условиях она никогда не достигается и насаждения не страдают от воздействия засух. Напротив, на границе сухой степи и полупустыни во всем гранулометрическом диапазоне почвогрунтов *Нвп* существенно (в 1,2-2,1 раза) меньше активной составляющей осадков средних и влажных лет. Поэтому в юго-восточном направлении в сосновых молодняках быстро нарастает опасность формирования избыточной (не обеспеченной влагой в засухи) массы хвои и они не могут успешно развиваться без искусственного снижения интенсивности их влагопотребления.

2.5.6. Моделирование лесопригодности почвогрунтов

Известно [257, 263, 326, 388], что между охвоенностью сосновых насаждений и их производительностью существует прямая устойчивая связь (для Хреновского бора $r = 0{,}69$ [326]). По-

этому годовое водопотребление насаждениями сосны с минимальным пологообразующим запасом хвои (7-8 т/га) будет соответствовать и минимальной (элементарной) потенциальной продуктивности сомкнутого взрослого древостоя, а отношение $Нвп/Фп_{мин}$ (прилож. 14) дает представление о сравнительной лесопроизводительности ($Л_1$) разных почвогрунтов при одинаковых условиях атмосферного увлажнения.

Значения этого отношения меньше единицы соответствуют зонально-эдафическим условиям, где массивные насаждения сосны в засушливые годы не могут сохранять сомкнутый полог – лесную среду, и для сплошного облесения они не пригодны. Увеличение кратности отношения $Нвп/Фп_{мин}$ в диапазоне его значений больше единицы соответствует увеличению лесопроизводительности и лесопригодности земель по этому показателю.

Параметры лесопроизводительности земель удовлетворительно аппроксимирует функция

$$Л_1 = 0{,}01Ос + 0{,}05Гл - 2{,}79 \quad (Rм = 0{,}95,\ P = 2{,}0\%). \qquad (39)$$

Они увеличиваются с ростом нормы осадков и влагоемкости КС, но определяются в основном зоной (R = 87,5%). По мере снижения засушливости климата утяжеление гранулометрического состава почвы увеличивает свое влияние на $Л_1$ и в среднем составляет 12,5%.

Изменчивость запасов почвенной влаги в многолетнем цикле характеризует среду произрастания древостоев ($Л_2 = Эвн_{мин}/Эвн_{макс}$). Чем она выше, тем агрессивнее среда и ниже долговечность насаждений. Так, по линии г. Бобров Воронежской обл. (Хреновской бор) – г. Фролово Волгоградской обл. (Доно-Арчединский бор) у сосны на бугристых песках она снижается примерно вдвое – со 120-130 [271] до 60 лет [62], т. е. прямо пропорционально росту динамичности атмосферного увлажнения.

По линии (примерно) Москва – Волгоград стабильность влагонасыщения 2-метрового слоя почвогрунта в сосняках снижается более чем вдвое (с 56-73 до 25-31%), при одинаковой норме осадков – от низковлагоемких песчаных грунтов к суглинистым. С ростом гумидности территории разница между ее параметрами (прилож. 15) в эдафическом ряду условий увеличивается.

Динамику значений $Л_2$ хорошо аппроксимирует функция

$$Л_2 = 0{,}0012Ос - 0{,}0044Гл - 0{,}0015Хв \quad (Rм = 0{,}945,\ P = 0{,}6\%). \qquad (40)$$

В целом стабильность влагонасыщения КС сосняков также является в основном показателем зоны (R в среднем > 90%). Ха-

рактер почв определяет ее на 4-15% (в среднем на 7%), а от охвоенности насаждений она практически не зависит (R = 0,14%), и может определяться с помощью функции

$$Л_2 = 0{,}0014Ос - 0{,}007Гл - 0{,}09 \quad (Rм = 0{,}97,\ P = 0{,}5\%). \qquad (41)$$

С определенным допущением можно считать, что значения $Л_2 \geq 0{,}5$ соответствуют району устойчивого выращивания массивных насаждений сосны, $Л_2 < 0{,}5$ – с условно лесопригодными землями. Граница между ними на рыхлых песках проходит по изолинии осадков 420-450 мм/год, на легких суглинках 520-570 мм/год (рис. 2, прилож. 16). Особенно сложные условия выращивания сосновых культур складываются между изолиниями осадков 400-300 мм ($Л_2 < 0{,}43$). Это район рискованного массивного разведения насаждений сосны.

Динамику параметров $Л_1$ и $Л_2$ хорошо аппроксимируют также функции:

$$Л_1 = (0{,}0041Ос - 0{,}825)(0{,}049Гл + 1{,}78),\ \eta = 0{,}99, \qquad (42)$$

$$Л_2 = (0{,}00037Ос - 0{,}035)(3{,}82 - 0{,}033Гл),\ \eta = 0{,}98, \qquad (43)$$

где, η – множественное корреляционное отношение.

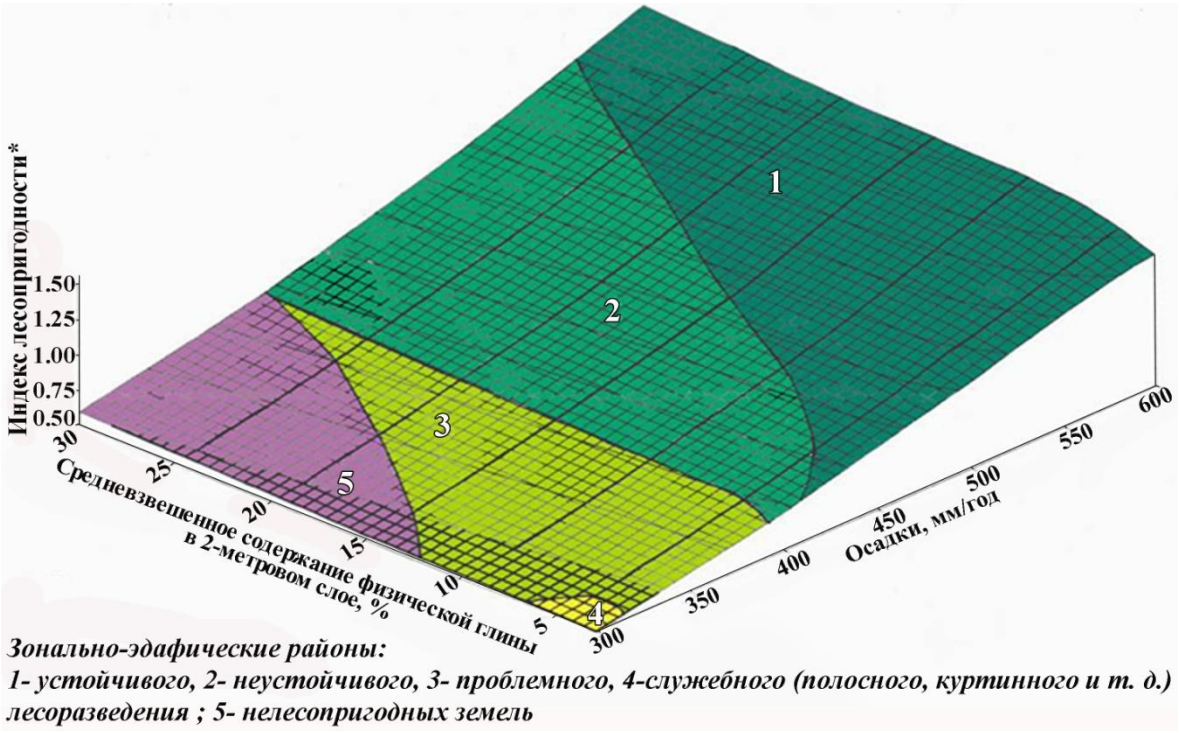


Рис. 2. Районирование территории юга Русской равнины по условиям выращивания сосновых культур (* = $\sqrt{Л_1 \cdot Л_2}$)

Из анализа расчетных данных следует, что значения показателей лесопригодности земель $Л_1$ и $Л_2$ при изменении зональных

факторов меняются в одном направлении (увеличиваются или уменьшаются), а при изменении гранулометрического состава почв в противоположном, и, в целом, можно заключить, что лесопригодность земель представляет градиентное векторное поле с нарастающей индифферентностью эдафического вектора (фактора) лесообразования в направлении уменьшения атмосферного увлажнения территории.

2.5.7. Моделирование стабильности влагообеспеченности сосновых насаждений

Данные матрицы (см. прилож. 15) и результаты их регрессионного анализа позволяют утверждать, что стабильность влагонасыщения эдасферы сосняков (*Кст. вн*), равно как и любых других фитоценозов, подчиняется закону: она прямо пропорциональна годовой норме осадков и обратно – влагоемкости КС. То есть можно записать, что коэффициент

$$Кст.\ вн = \gamma Ос/НВ \text{ (или } \gamma Ос/ЭВ), \quad (44)$$

где, γ – коэффициент пропорциональности, и применительно к 2-метровому слою почвогрунта под насаждениями сосны может быть определен с помощью прилож. 16 и функций (44) и (47).

$$\gamma = 0{,}025Ос + 0{,}00013Гл + 0{,}007 \quad (Rм = 0{,}97,\ P = 0{,}01\%), \quad (45)$$

$$\gamma = 0{,}0013Ос + 0{,}00073ЭВ - 0{,}02 \quad (Rм = 0{,}97,\ P = 0{,}01\%), \quad 46)$$

$$Кст.вн = 0{,}0014Ос - 0{,}0007ЭВ - 0{,}046 \ (Rм = 0{,}97,\ P = 0{,}5\%). \quad (47)$$

Очевидно, что сосна и другие многолетние растения имеют свои допустимые пределы изменчивости годичного запаса доступной влаги. Нарастание засушливости территории и снижение стабильности этого запаса сопровождаются перемещением ценозов на менее влагоемкие почвогрунты, сокращением вертикальной мощности их ризосферы, массы транспирирующего аппарата и, наконец, их долговечности. То есть стабильность влагонасыщения КС выступает основой стабильности влагообеспеченности растительных формаций (*Кст.об.Фп*), сохранения их жизнеспособности, которая может быть представлена в виде функции

$$Кст.об.\ Фп = \gamma Ос/ЭВ \cdot Фп. \quad (48)$$

Как и *Кст.вн КС*, коэффициент *Кст. об. Фп* подчиняется закону: он прямо пропорционален стабильности влагонасыщения КС осадками и обратно – физиологической потребности фитоценозов во влаге, имеет познавательное и прикладное значение. На-

пример, этот коэффициент может быть использован для оценки влагообеспеченности лесонасаждений в том или ином году в связи с динамикой их состояния. Применительно к соснякам его приблизительную величину (в %) можно определить с помощью прилож. 17 и функции

$$Кст.об.Фп = 0{,}004Ос - 0{,}048Гл - 0{,}09Хв + 1{,}68 \quad (R_м = 0{,}83, \; P = 1{,}6\%). \qquad (49)$$

Он на 26,6% обусловлен зоной, на 27,5 характером почвогрунта и на 44,5% запасом хвои. Таким образом, в поясе неустойчивого увлажнения удаление избыточной массы хвои является важнейшим средством регулирования влагообеспеченности массивных насаждений.

Влагообеспеченность сосняков оптимизируется при величине их физиологической потребности близкой к норме безопасного водопотребления ($Фп \rightarrow Нвп$, $Кст.об. Фп \rightarrow$ к оптимуму), а

$$Кст. об. Фп._{оптим.} = \gamma Ос/ЭВ \; Нвп, \qquad (50)$$

Параметры *Кст. об. Фп* могут быть рассчитаны с помощью функции (49) по значению допустимого запаса хвои.

Функция (50) может служить основой для расчета режимов изреживания молодняков сосны перед наступлением засушливых лет в целях снижения интенсивности их влагопотребления в районах, где саморегуляция не обеспечивает необходимой устойчивости насаждений.

Когда $Фп \rightarrow 0$, $Кст.об. Фп \rightarrow Кст. вн. КС$, т. е. к своему пределу. Отсюда, чем выше способность растений обратимо снижать запасы транспирирующей биомассы, тем выше засухоустойчивость образованных ими ценозов.

В заключение отметим, что, несмотря на ряд сделанных допущений в наших расчетах, полученные данные и закономерности позволяют утверждать следующее.

1. Лесопригодность земель следует рассматривать как географический потенциал лесообразования в применении к биологии главной породы (пород) с учетом возможности его искусственного регулирования. Он заключается в эффективности почвогрунта КС как фактора лесообразования в тех или иных условиях увлажнения и испарения. Оценивать лесопригодность следует по способности этого слоя обеспечивать водно-минеральным питанием потребность древостоя в период его быстрого роста при сомкнутом состоянии полога (при максимуме суммарного

испарения и дефицита почвенной влаги);

2. В обеспеченных теплом районах расположены лесопригодные и условно лесопригодные земли. На условно лесопригодных площадях лесообразование возможно только при его искусственном стимулировании;

3. Главная причина безлесья степных равнин – чрезмерная динамичность атмосферного увлажнения и годичных запасов почвенной влаги, критическое снижение влагообеспеченности древостоев в засушливые годы;

4. В лесных зонах, где на преобладающих экотопах запасы влаги не опускаются ниже критического уровня, лесопригодность земель можно оценить по их среднегодовой величине и качеству почвенного раствора, выраженных через показатель относительной потенциальной производительности насаждений главной породы (лесопроизводительности местообитания, $Л_1$). В поясе условно лесопригодных земель – по показателю возможного минимального запаса доступной влаги и стабильности величины годичных запасов ($Л_2$), регламентирующей их долговечность, что является существенно более сложной двухкритериальной задачей;

5. На землях засушливого пояса относительную потенциальную производительность сосняков и других пород, имеющих многолетние запасы листьев (хвои) можно определить по отношению наименьшего годового запаса корнедоступной влаги к норме ее расхода на транспирацию насаждением с минимальной пологообразующей ассимиляционной массой. Стабильность запаса доступной влаги по годам – по отношению его наименьшей величины в КС к наибольшей, формирующихся на одном уровне вероятности гидрометеорологических событий.

6. Низкое плодородие песчаных земель и олиготрофность сосны позволяют определять параметры этих показателей для любого низководного почвенного контура арен по годовой норме осадков и средневзвешенному содержанию ФГ в верхнем 2- метровом слое.

Анализ данных расчета водного баланса чистых сосняков свидетельствует о том, что лесопригодность земель представляет собой градиентное многовекторное поле с нарастающей индифферентностью эдафического вектора лесообразования в направлении усиления засушливости территории. На юге Русской равнины по мере сокращения нормы атмосферных осадков потенциальная лесопроизводительность ($Л_1$) песчаных земель уменьшается в 3,5-4

раза. В районах с осадками менее 350 мм/год рыхлые пески непригодны для сплошного облесения сосной ($Л_1 < 1$, бонитет насаждений ниже Va). Стабильность влагозапаса в ризосфере ($Л_2$) уменьшается с 75-70% на песках севера лесостепи до 33-25% на средних супесях – суглинках сухой степи, а влияние содержания глины на нее – с 15 до 4%. С 70-75 до 41-52% от среднегодовой суммы осадков сокращается норма безопасного водопотребления, т. е. увеличиваются резервы влаги для накопления в молодняках не обеспеченной в засухи (избыточной) массы хвои. Таким образом, на условно лесопригодных землях периодическое снижение запаса хвои является основным средством регулирования влагообеспеченности молодняков. На территории этого региона по условиям лесоразведения следует выделять несколько районов, нуждающихся в различных режимах лесоводственных мероприятий и нормах затрат на их осуществление. При этом эффективность рубок ухода в молодняках как средства регулирования их влагообеспеченности снижается с ростом засушливости территории, т. е. увеличивается необходимость в их более частом проведении.

Количественную оценку лесорастительных условий на практике целесообразно применять совместно с эдафической сеткой Алексеева – Погребняка – Воробьева и обозначать их типы в виде формул, например, $А_0$: $С^{1,4}$; $А_5$: $С^{1,5}$; $А_2$: $С^{3,1}Б^{1,4}$; $С_2$: $С^{4,53}$; $В_0$: $С^{1,1/0,28}$ и $В_1$: $С^{1,7/0,39}$ и т. п. [215]. Это будет означать: очень сухой бор с относительной производительностью соснового древостоя 1,4; мокрый бор с относительной производительностью соснового древостоя 1,5; свежий бор с относительной производительностью соснового древостоя 3,1, березового 1,4; свежая сложная суборь с относительной производительностью соснового древостоя 4,53 в районе устойчивого лесоразведения (лесообразования в сосняках); очень сухая и сухая простая суборь с относительной производительностью соснового древостоя 1,1 и 1,7 в районе рискованного лесообразования в сосняках. А эдафическую сетку необходимо обеспечить количественными показателями увлажненности и минерального богатства (трофности) местообитаний, достигнув договоренности о диапазоне запасов и питательности влаги.

Предложенный подход позволит реализовать на практике концепцию Г. Ф. Морозова о взаимопроникающем единстве географической и внутренней среды лесообразования (т. е. представить его в динамике параметров интегральных количественных

показателей лесопригодности земель) и существенно повысить объективность, дифференцированность и наглядность лесотипологической классификации местообитаний, расширить возможности применения зонально-типологического подхода к организации лесного хозяйства.

2.6. Засухоустойчивость сосновых насаждений

В современном понимании засухоустойчивость растений – это способность их организмов переносить длительное и значительное обезвоживание тканей [334], приводящее к подавлению физиологических процессов, отрицательному углеродному балансу (голоданию) и ускоренному старению образовательных клеток [160, 197, 294].

Изучению засухоустойчивости искусственных насаждений сосны посвящены многочисленные работы [29, 45, 63, 66, 107, 113, 149, 173, 182, 185, 255, 270, 271, 281, 287, 326, 331, 380, 381, 397 и др.]. Основные особенности ее проявления заключаются в следующем [211].

В лесостепной зоне массовое отмирание культур сосны вследствие засухи – явление достаточно редкое [2, 267, 295, 326]. На просторах степей повторяемость и масштабность таких случаев быстро увеличиваются в направлении от пояса обыкновенных черноземов к поясу светло-каштановых почв, что обусловлено сокращением и увеличением динамичности годовой суммы осадков, частоты, глубины и продолжительности засушливых периодов.

Большую опасность для сосны несет чередование влажных и засушливых лет, их комбинаций, когда возросшая потребность насаждений во влаге удовлетворяется менее чем на 50-60% [149]. При медленном нарастании дефицита почвенной влаги сомкнувшиеся культуры сохраняют жизнеспособность на протяжении 2-3 лет и более при 5-6-кратном сокращении расхода влаги на транспирацию [63, 66, 257, 278].

При резкой смене относительно влажных лет засушливыми отмечаются случаи внезапного (в течение нескольких недель или месяцев) усыхания или последующего ускоренного (за 10-15 лет) распада поврежденных насаждений, а также одно- или многократной массовой суховершинности деревьев (с последующим восстановлением кроны), не сопровождающиеся их большим отпадом [27, 61, 173, 281, 397 и др.].

На участках с неспокойным рельефом деревья усыхают группами ("пятнами" в плане, соответствующими определенным почвенным контурам), на равнинах – сплошь или рассеянно по всей площади одновозрастных посадок [27, 106, 148, 182, 185, 244]. Внешний признак такого отмирания (необратимое посветление хвои) обнаруживается уже осенью засушливого года или весной следующего – до начала формирования прироста.

Из-за засух погибают лишь молодые насаждения (до 15-20 лет) [173, 281, 287, 331, 381]. Опасность их воздействия заключается также в общем ослаблении, снижении резистентности древостоев, развитии очагов болезней и массовом размножении вредителей леса (хрущей, короедов, подкорного клопа, побеговьюнов и др. насекомых) [45, 113, 123, 173, 195, 211, 408].

Наименее устойчивы несомкнувшиеся культуры на маловлагоемких однофазных отложениях и мелких почвах, подстилаемых кварцевыми песками, гибель которых происходит при иссушении верхнего слоя на глубину 0,7-1,0 м [66, 93, 106, 150, 185, 272], густо охвоенные молодняки в стадии образования сомкнутого полога, чащи и жердняка на влагоемких, солонцеватых почвах [47, 107, 182], насаждения чрезмерно изреженные, ослабленные задернением почвы, поврежденные подкорным клопом (*Aradus cinnamomeus Panzer*), корне- и хвоегрызущими насекомыми, копытными [113, 142, 257, 360, 381].

Достоверные случаи гибели высокополнотных насаждений постжерднякового возраста, успешно прошедших стадию смыкания и период большого роста, неизвестны [62, 113, 256, 281, 331]. Засухи лишь усиливают сброс хвои, отпад деревьев, временно замедляют их рост. Но даже в сухой степи при атмосферном водном питании они доживают до 60 (на всхолмлениях бугристых кварцевых песков), 80-90 (на полиминеральных песках), 120 лет и более (на глубоко гумусированных связнопесчаных почвах) [62, 90, 206, 244, 254].

В целом отмечается высокая засухоустойчивость сосны, а именно, способность выживать длительное время – 15-20 дней и более в условиях острого дефицита почвенной влаги и минимальной (20-40 мг/г·час) интенсивности транспирации [26, 42, 56, 60, 296]. Она повышается с возрастом насаждения в связи с увеличением консервативности запаса хвои, а также объема ризосферы [62, 257, 282, 288, 417]. Наблюдения на юге Приволжской возвышенности [106, 107] и в зоне Курской магнитной аномалии

[384] свидетельствуют также о более высокой резистентности к воздействию засух 40-50-летних насаждений на относительно тяжелых супесчано-суглинистых почвогрунтах, особенно прикрытых сверху слоем песчаного наноса (отвала грунта), что нуждается в дополнительном изучении.

Засухоустойчивость искусственных сосняков можно повышать с помощью лесотопологических, физических, агротехнических, лесокультурных и лесоводственных приемов. Они должны обеспечивать достаточную густоту посадки, высокую приживаемость, раннее смыкание, глубокое укоренение насаждений, своевременное и достаточное изреживание молодняков [43, 45, 46, 61, 62, 92, 150, 320, 367 и др.].

Основные принципы оценки и подбора площадей с наиболее пригодными для сосны почвенно-грунтовыми условиями раскрыты в предыдущем разделе.

Физическими мелиорациями повышают корнепроницаемость отложений, доступность грунтовой влаги, улучшают водный режим корнеобитаемой зоны. Они заключаются в глубоком рыхлении почвообрабатывающими орудиями подстилающего биологически инертного грунта (для ускорения нисходящего роста корней саженцев [43, 45, 132, 258]), устройстве скважин-корнеходов в труднопроницаемых кварцевых песках (при уровне грунтовой воды (УГВ) до 6-7 м) или их объемном рыхлении (на площадях с более глубоким залеганием ГВ) глубинными взрывами. Применяют мульчирование эоловым наносом обнажений древнеаллювиального песка путем допосадочного выполаживания бугристого рельефа, а также иллювиального горизонта эродированных супесчаных почв, отвалов горных пород [150, 155, 299, 385]. Известно армирование растительными отходами отложений кварцевого песка при его предпосадочном рыхлении [367] или формирование из него искусственных субстратов при рекультивации земель [1]. Их цель – увеличение транспирационного расхода влаги насаждениями за счет извлечения ее корнями из водоносного горизонта или дополнительного объема разрыхленного субстрата [46, 150].

Основное назначение агротехнических приемов сводится к рыхлению верхнего слоя почвы с целью улучшения условий влагонакопления и устранения конкуренции за влагу со стороны травянистой растительности с помощью механических и химических средств до образования в культурах сомкнутого полога [103,

132, 133, 145, 156, 243, 269, 426].

Наиболее острые дискуссии вызывают лесокультурные и лесоводственные приемы повышения устойчивости сосняков, поскольку они существенно влияют на скорость лесообразования, общую продуктивность, товарность и в целом на экономику лесовыращивания.

До сих пор остаются предметом обсуждения оптимальная густота посадки культур, схемы размещения посадочных мест, смешение пород, примыкание насаждений и т.п. Причина этого кроется в различной эффективности одинаковых лесокультурных решений в разных почвенных и климатических условиях.

Мнения большинства ученых склоняются к положительной оценке влияния повышенной густоты посадки на засухоустойчивость насаждений. Отмечаются их более раннее смыкание, торможение роста, интенсивное самоизреживание, а также более глубокое укоренение, меньшая охвоенность деревьев, но относительно высокая продуктивность хвои [103, 108, 112, 121, 137, 164, 169, 274, 281, 325, 328, 376, 381, 397, 407 и др.]. Однако густота культур имеет зональный, эдафический, хозяйственный и другие показатели оптимальности [124]. Она может быть чрезмерной и приводить к абсолютному перенаселению [328]. В целом же считается, что густота посадки культур должна увеличиваться от насаждений на более влажных и плодородных к насаждениям на более бедных и сухих местообитаниях. То есть, как и в естественных лесах в направлении снижения энергии роста сосны [269].

Так, Н. Г. Нестеров [282] на основании анализа роста и состояния культур А. П. Тольского в Бузулукском бору рекомендует применять первоначальную густоту посадок сосны 10-20 тыс. растений/га, постепенно снижая ее при движении от высоких дюн и склонов южной экспозиции с атмосферным водным питанием древостоя к междюнным понижениям – при атмосферно-грунтовом удовлетворении его потребности во влаге.

Необходимость увеличения на 20-50% первоначальной густоты культур на горных склонах южной экспозиции в Северной Армении и горнопромышленных отвалах Курской магнитной аномалии (по сравнению с зональными почвами) отмечают Р. Р. Малхосян [199] и Я. В. Панков [299].

В. В. Миронов [256, 257] также отдает предпочтение относительно густым монокультурам сосны, объясняя это тем, что

они, как и естественные молодняки, отличаются замедленным развитием смолоду, что задерживает прохождение ими основных фаз развития и повышает их долговечность. Для условий центральных областей оптимальной он считает густоту посадки 7-8 тыс./га растений, лесостепных – в диапазоне условий сухой – свежий бор 15-10 тыс./га, а для степных районов за пределами островных боров предлагает снова снижать ее до 7-10 тыс./га. Необходимость такого снижения он объясняет опасностью образования перегущенных насаждений в возрасте жердняка, особенно на сухих всхолмлениях юго-восточной окраины зоны.

В. И. Рубцов [325] считает оптимальной густоту посадки сосны в ЦЧО от 12-13 до 15 тыс./га растений, с увеличением ее в наиболее тяжелых условиях до 17-20 тыс./га. В опыте, поставленном им в Усманском бору в свежих боровых условиях при квадратном размещении от 5 до 40 тыс./га посадочных мест, в 35-летнем возрасте лучшими по качеству и продуктивности оказались культуры густотой 10-15 тыс./га, по экономическим показателям – 10 тыс./га сеянцев [372].

На Нижнеднепровских песках, где под сосну занимают в основном нарушенные (бугристые, холмистые, равнинно-волнистые) песчаные земли с повышенной пестротой почвенных условий и преимущественно неглубоким залеганием ГВ, В. Н. Виноградов [45, 46] рекомендует высаживать 4,5-6,5 тыс. сеянцев сосны на гектаре лесокультурной площади

Обобщая опыт выращивания культур сосны на Юго-Востоке, Н. С. Зюзь приходит к выводу о том, что требованиям агротехники здесь удовлетворяет густота посадки 5-8 тыс./га, а для получения максимума экономического эффекта она должна быть существенно увеличена. В частности, на супесчаных почвах, где возможна сплошная предпосадочная обработка почвы, густота посадки должна достигать 10-12 тыс./га [150, с. 131].

П. С. Кондратьев [169] на суглинках Московской обл. рекомендует высаживать по 4-5 тыс./га сеянцев сосны.

Возможность негативного влияния на устойчивость культур их чрезмерной густоты в фазах чаща – жердняк неоднократно отмечал Г. Н. Высоцкий [69, 75]. По его мнению, при условии последующего изреживания насаждений рубками она должна быть около 10 тыс./га.

Случаи более раннего распада или ослабления густых молодняков (по сравнению с редкими и своевременно изреженными насаждениями) приводят Н. С. Зюзь [150], И. Б. Шинкаренко и

др. [407]. Но они характерны для культур на мелких почвах юго-восточной окраины сухой степи и на бедных низковлагоемких отложениях кварцевого песка пристепных боров, где древостои имеют исключительно приповерхностную корневую систему. По-видимому, зная об этой опасности, В. А. Бодров [24] выступает против применения в условиях сухих боров Нижнеднепровья как чрезмерно редкой (400 площадок на 1 га при их размере 0,5×0,5 м), так и густой (15 тыс. растений/га) посадки.

При машинной закладке культур оптимальным считается расстояние между рядами 1,5-2,5 м [89, 150, 259, 327]. Широко применяемое на практике (начиная с 60-х гг. XX столетия), расширение междурядий до 3 м и более В. В. Миронов и др. [259], А. Г. Гаель и др. [89] считают нецелесообразным. На богатых (супесчаных) почвах оно приводит к чрезмерному разрастанию крон и накоплению большой массы хвои к возрасту смыкания насаждений, а на бедных (рыхлопесчаных) к неоправданному удлинению (до 11-13 лет и более) периода агротехнических уходов.

Важным условием повышения засухоустойчивости культур считается также быстрое смыкание растений в рядах. Увеличение шага посадки до 1 м и более обычно сопровождается снижением приживаемости, сохранности, качества культур, вызывает необходимость проведения дополнений, удлиняет период агротехнических уходов и т. д. [79, 80, 325, 327 и др.]. В. С. Габай [80] считает оптимальным расстояние между саженцами 0,3-0,8 м. Другие авторы [137, 320] – 0,5-0,7 м, что обеспечивает смыкание крон в рядах на 4-5 год.

С целью оптимизации водного режима, активизации лесообразования и улучшения условий выполнения лесохозяйственных мероприятий при создании культур рекомендуется чередовать широкие междурядья с узкими, т. е. производить ленточную посадку (2-3-мя сближенными рядами), а также создавать смешанные насаждения [89, 105, 274, 299, 327, 342]. Основное назначение примеси (преимущественно кустарников) в возможном улучшении водного питания сосны с возрастом вследствие самоизреживания или вырубки лиственных пород. Нередко отмечается положительное влияние на глубину укоренения, ксероморфизм и, в целом, на водный режим насаждений сосны ее совместного произрастания с березой, другими лиственными породами деревьев [105, 274, 308], а также с сосной крымской [228]. Однако

возможность создания смешанных культур ограничена минеральной бедностью арен Юго-Востока и скудостью их атмосферного увлажнения [206]. Именно жесткость лесорастительных условий пристепных боров дала основание Г. Ф. Морозову выдвинуть идею преимущественного создания здесь чистых культур сосны [269], которая впоследствии переросла в лесокультурный принцип "чем жестче, тем проще" [351].

Следует отметить, что оптимум густоты посадки и размещения посадочных мест в культурах сосны рассматривается лесоводами не только как средство ускоренного вытеснения с лесокультурной площади степной растительности и создания лесной среды, т. е. активизации лесообразования, но и как фактор усиления дифференциации, самоизреживания древостоев и повышения их засухоустойчивости. Правда, на этот счет имеется несколько мнений.

Г. Н. Высоцкий [71, 77], сравнивая условия существования искусственных древостоев в степи (наблюдения лета 1890 г. в старой Бердянской даче вблизи Мариуполя – А. М.) и в природных лесах с более влажным климатом, приходит к выводу о том, что "…борьба за свет, с некоторых возраста и густоты, заслоняется борьбою за недостающую почвенную влагу. При пересохшей же почве все деревья страдают одинаково и от этого происходит не природный отпад отстающих, ведущий к самоизреживанию, а общее завядание всего насаждения…" [77, с. 16]. Таким образом, он практически отрицает значение дифференциации насаждений в повышении их устойчивости (выживаемости) при формировании острого дефицита почвенной влаги в засухи.

К такому же выводу пришел и Н. С. Зюзь [150, 151] на основании данных, полученных в 6-летних опытных культурах сосны на супесчаных почвах крайнего юга Приволжской возвышенности (вблизи г. Волгограда). По его наблюдениям после засух 1975 г. в одновозрастных насаждениях (посадки 1970 г.) состояние растений не имело тесной связи с их высотой. В разновозрастных культурах несколько чаще отмирали более крупные экземпляры (посадки 1970 г.), реже – растения посадки 1972 и 1973 гг. По его мнению, "…ориентировка на усиленный естественный отпад отставших в росте деревьев как на прием повышения засухоустойчивости насаждений несостоятельна в своей основе" [150, с. 97]. Однако повторное обследование опытных насаждений в 2006 г. дало основание для некоторого смягчения этой позиции [154]. Авторы пришли к выводу, что в субаридной зоне засухоустойчивость культур со-

сны все же можно повышать усилением дифференциации деревьев. Но на участках с маломощной (до 1,0-1,2 м) корнеобитаемой зоной их сплошное усыхание в острые засухи до 5-7-летнего возраста может происходить вне зависимости от степени дифференциации.

Главную причину гибели культур сосны в Бузулукском бору в засушливые годы П. О. Комаровский [167, 168] однозначно видит в низкой активности дифференциации и самоизреживания их древостоя. Он предлагает оригинальные ленточные схемы размещения посадочных мест, обеспечивающие увеличение разницы в габитусе деревьев в чистых культурах за счет различий в продолжительности периода смыкания крон деревьев, а также уменьшение густоты посадки с нарастанием сухости боровых песков и оптимизацию водного режима насаждений за счет увеличения доли кустарников в их составе.

Многие исследователи [62, 108, 121, 256, 283, 326 и др.] придают существенное значение дифференциации сосняков как фактору повышения активности их самоизреживания и саморегуляции. Вместе с тем они обращают внимание на относительно слабое высотное расчленение монокультур сосны густотой до 10-20 тыс./га и необходимость проведения их искусственного изреживания.

Осмотр густых (боле 50-100 тыс. экз./га) куртин одновозрастного (13-15-летнего) самосева сосны на Придонских песках в подзоне сухой степи дает основание полагать, что слабая дифференциация по высоте является характерной особенностью развития древостоя в сомкнутых насаждениях на территории засушливых, тепло- и светообеспеченных районов (рис. 3). В лизиметрической модели 1 при густоте насаждения около 50 тыс./га на неогеновом кварцевом песке (см. разд. 2.7) в 23 года коэффициент вариации высоты деревьев составил около 19%, в то время как по диаметру – 32% [234].

П. О. Комаровский [167, 168], А. И. Новосельцева [283] подчеркивают возможность управления дифференциацией древостоев размещением посадочных мест, а Н. А. Недведский [280] – способом посадки сеянцев (в микроповышения, микро понижения, дно борозды). Н. С. Зюзь [150] предлагает создавать насаждения посадочным материалом с запрограммированной генетической структурой засухоустойчивости.

Однако очевидно, что при прочих равных условиях основное влияние на интенсивность этого процесса оказывает богатство и влажность почв [268]. Поэтому эффективность влияния на

дифференциацию древостоя тех или иных приемов в разных условиях будет неодинаковой.

Рис. 3. Слабо дифференцированное по высоте густое самосевное насаждение сосны в возрасте 13-15 лет на песчаной почве вблизи г. Калача-на-Дону, Волгоградская обл. Сентябрь, 2015 г.

В заключение отметим, что дифференциация и самоизреживание древостоев, бесспорно, великий природный механизм саморегуляции и самосохранения лесных экосистем. Но он в большой мере обусловлен индивидуальной (наследственной) энергией роста деревьев и нуждается в благоприятных лесорастительных условиях. Поэтому по мере оскудения географической среды – с ростом засушливости климата и минеральной бедности почв – эффективность реализации биологического потенциала роста и функционирования этого механизма неизбежно снижается, возникает и увеличивается потребность в его искусственном стимулировании лесокультурными, лесоводственными и другими приемами.

Известно, что в природе с ухудшением лесорастительных условий повышается густота чистых древостоев при одновременном сокращении размеров среднего дерева, выступая, таким образом, компенсатором снижения энергии их роста и дифференциации, а, следовательно, и устойчивости насаждений. Но возможность повышения густоты также ограничена природным ресурсом местообитаний. Искусственно ее можно увеличивать лишь до тех пор, пока не будет достигнута минимальная площадь питания, способная обеспечить формирование полноценного возрастного габитуса среднего дерева. И поэтому, учитывая повышенную пространственную изменчивость почвенно-климатических условий засушли-

вой зоны, определение оптимальной зонально-эдафической и возрастной густоты искусственных древостоев сосны по-прежнему следует относить к актуальным научным задачам.

Нельзя также считать доказанным положение Г. Н. Высоцкого о том, что деревья разных классов роста одинаково реагируют на дефицит почвенной влаги. Оно не подтверждается как естественным ходом лесообразования в культурах сосны на юге Русской равнины, где с возрастом насаждений происходит выравнивание таксационных показателей деревьев за счет отмирания угнетенных (а наиболее старые древостои практически нацело состоят из деревьев господствующих классов роста) [254, 326, 345 и др.], так и непостепенностью (скачкообразностью, ступенчатостью) характера самоизреживания молодняков [376].

Наши исследования насаждений государственных лесных полос и "промышленных дубрав", произрастающих в наиболее жестких зональных условиях – на тяжелых почвах плакоров сухой степи и полупустыне [233, 235, 246], также свидетельствуют о том, что даже в 30-50-летних древостоях дуба основной отпад представлен деревьями верхних ступеней толщины. При этом в относительно молодых насаждениях и с увеличением увлажненности местообитания (в депрессиях) такая закономерность проявляется сильнее (рис. 4).

Результаты этих, а также ранее проведенных исследований [237] позволяют утверждать, что и в крайне засушливых условиях устойчивость и долговечность лесных культур можно повышать усилением их дифференциации. На влагоемких почвогрунтах ее можно достичь путем накопления большого буферного запаса влаги в КС в предпосадочные и первые после создания культур годы агротехническими приемами, а также повышением густоты посадки за счет главной породы. Эти приемы способны обеспечить не только значительное удлинение периода быстрого роста и расслоение древостоя молодняков по классам роста, но и существенно повысить продуктивность и товарность насаждений.

Есть также основания полагать, что древостои имеют дифференцированную не только надземную, но и подземную часть. Деревья-лидеры за счет более высокой энергии роста имеют возможность быстрее размещать корневые системы в зоне наиболее стабильного и интенсивного увлажнения почвогрунта осадками (захватывать их, а за счет более высокого градиента давления влаги на

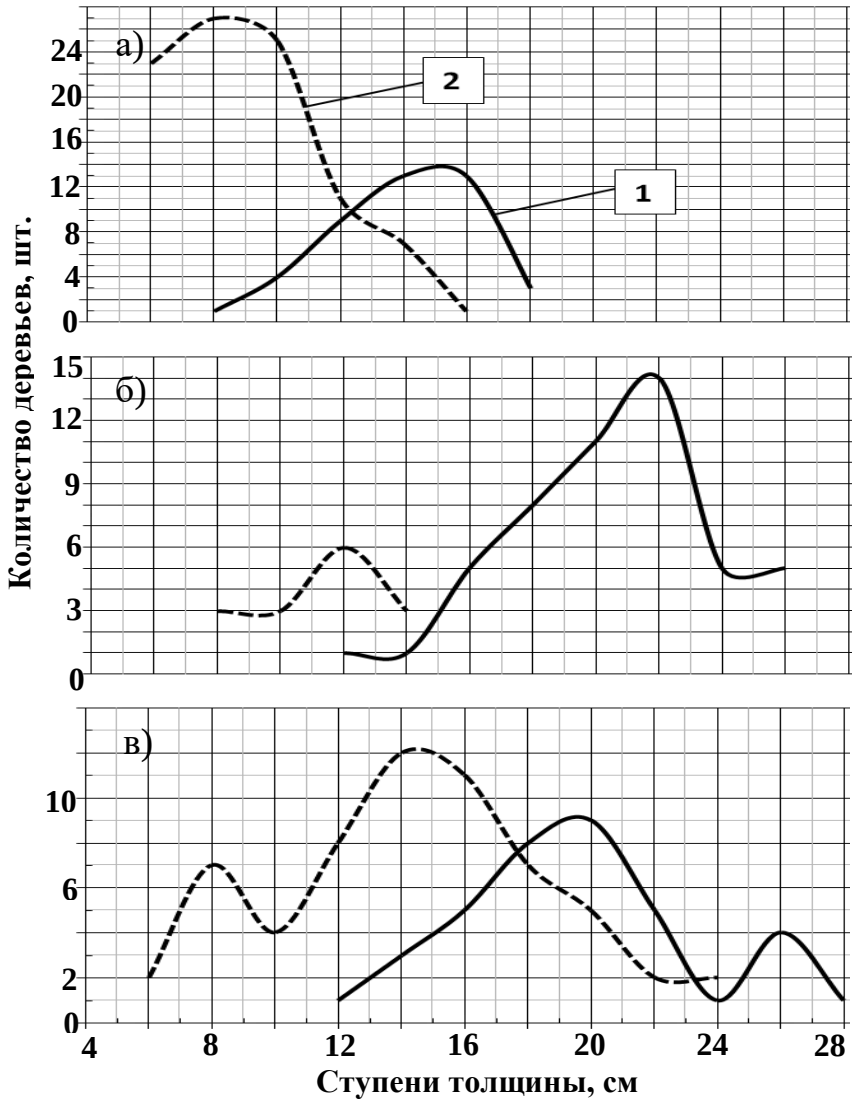


Рис. 4. Распределение деревьев дуба по состоянию (1 – здоровые и ослабленные, 2 – усохшие и усыхающие) в 33-летнем (а), 48-летнем (б) чистом насаждении на темно-каштановой почве (ТЛУ $Д_2$) и 60-летнем смешанном насаждении (в) на каштановой почве (ТЛУ $Д_1$) Сало-Манычского междуречья. Зимовниковское лесничество Ростовской обл., кв. 13 и 15 выд. 2, кв. 16 выд. 27, 2012 г.

границах проводящей системы сильнее иссушать почву, препятствуя освоению занятых слоев корнями угнетенных деревьев. Этот весьма интересный процесс нуждается в глубоком исследовании.

По мнению В. Г. Нестерова [281], Н. П. Чардымова [397] определенными возможностями повышения засухоустойчивости молодых культур обладает размещение посадок в зоне притеняющего влияния взрослого древостоя. А наиболее радикальным средством регулирования устойчивости насаждений считается периодическое проведение своевременных изреживаний молодняков сосны рубками ухода [25, 46, 62, 72, 81, 112, 149]. Их главное назначение – снижать запасы ассимиляционного аппарата и интенсивность десукции в период интенсивного роста и максимальной потребности насаждений во влаге, избегать наступления кризиса влагообеспеченности древостоя и его преждевременного старения. Одновременно селективными рубками решается задача повышения хозяйственной ценности [101, 326, 345-347 и др.], ус-

тойчивости насаждений к снеголому и снеговалу [110], а также их общей резистентности при сохранении на корню наиболее смолопродуктивных форм устойчивых деревьев [335, 396].

Таким образом, в поясе неустойчивого увлажнения на юге Русской равнины периодическая гибель не является неотъемлемым свойством культур сосны. Это следствие недостаточной эффективности способов их создания и содержания, особенно на ранних этапах формирования насаждений, в условиях потенциально низкой лесопригодности облесяемых земель. Одна из главных причин невысокой результативности лесоразведения на песчаных землях региона – отсутствие практики ее объективной оценки и проектирования адаптивных режимов лесохозяйственных мероприятий. Разработка и освоение количественных методов лесотопологической классификации земель по-прежнему остается важнейшей научно-практической задачей.

2.7. Водный режим субстратов и устойчивость культур сосны в лизиметрических моделях

При облесении нарушенных песчаных земель засушливого пояса Евразии наиболее ценной породой является сосна обыкновенная, способная формировать полнотные насаждения в широком диапазоне почвенно-климатических условий. Однако устойчивость ее молодняков к воздействию засух, продуктивность и долговечность сформировавшихся насаждений широко варьируют по территории и во многом зависят от свойств поверхностных отложений [211, 217]. Взгляды на их пригодность под культуры сосны изменялись со временем, но до сих пор остаются дискуссионными (см. разд. 2.4).

Считается, что при атмосферном увлажнении КС для успешного роста насаждений большое значение имеют его рыхлость, мощность, содержание ФГ, наличие влагоемких прослоев, определяющие запас и питательную ценность почвенного раствора. Однако многие исследователи отмечают, что с увеличением засушливости территории положительное влияние этих факторов уменьшается, а благоприятными для выращивания леса становятся отложения все более легкого гранулометрического состава.

С целью получения дополнительных сведений и закономерностей влияния эдафического фактора на засухоустойчивость сосняков на южной границе искусственного ареала насаждений

этой породы был проведен специальный эксперимент на физических моделях.

Исследования выполнялись в лаборатории ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград) в переходных условиях от сухой степи к полупустыне (многолетняя норма осадков 355 мм/год, испаряемость 720 мм/год, продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°С 168 дней) на 5 металлических лизиметрах, оснащенных устройством для слива воды и погруженных в бункер. Площадь поверхности каждого из них около 6,3 м^2, объем субстрата 13-15 м^3. Субстраты контрастны по содержанию ФГ и размещены на гравийной подушке толщиной 0,5-1,0 м (табл. 4). В апреле 1993 г. на лизиметрах 1-4 было высажено по 30 двухлетних сеянцев сосны (47-48 тыс./га). Субстрат лизиметра 5 оставался открытым (без растительности). Наблюдения вели за влажностью субстратов, грунтовым стоком влаги, ростом, сохранностью деревьев, динамикой запаса и влажностью хвои общепринятыми методами в течение 7-13 лет.

Таблица 4

Водно-физические характеристики субстратов в лизиметрах

Лизиметр	Мощность слоя, м	Содержание ФГ, %	Гидрологическая константа, %			
			МГ	НВ	ВЗ	ДАВ
1	0-2,4*	1,0	0,4	5,0	0,6	4,4
2	0-1,0** 1,0-2,2*	5,0 1,0 } 2,8	0,65 0,4 } 0,5	6,0 5,0 } 5,4	1,0 0,6 } 0,8	5,0 4,4 } 4,6
3	0-2,1***	17,0	2,65	11,0	4,0	7,0
4	0-2,2****	40,0	4,46	17,0	6,7	10,3
5	0-1,0** 1,0-2,4*	5,0 1,0 } 2,7	0,65 0,4 } 0,5	6,0 5,0 } 5,4	1,0 0,6 } 0,8	5,0 4,4 } 4,6

*Примечание. *Неогеновый мелкозернистый кварцевый белый песок. **Мелкозернистый красноватый песок – продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы. ***Гумусовый горизонт черноземовидной супесчаной почвы. ****Иловато-глинистый донный иллювий старого пруда.*

2.7.1. Динамика атмосферного увлажнения и водный режим открытого песчаного субстрата

В 1993-2005 гг. выпадали повышенные суммы осадков (табл. 5). Их среднегодовая норма была на 24% (в 1993-2000 гг. на 15%, 2001-2005 гг. на 32%) больше многолетней нормы. За холодный период (ноябрь – март) влаги выпало больше на 35%, теплый (апрель – октябрь) на 17%. По отношению к среднегодовой сумме за

Таблица 5

Осадки (числитель) и грунтовый сток (знаменатель) влаги (мм) в открытом песчаном субстрате лизиметрического модуля 5 (г. Волгоград)

Гидрологический год	Месяц												Итого		
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	за год	за XI-III	за IV-IX
1992/93	48/5	25/13	41/19	16/46	33/26	62/45	26/38	93/31	55/38	19/32	48/23	7/30	473/346	163/109	310/237
1993/94	6/12	61/6	36/10	29/17	42/24	3/86	10/20	36/9	6/9	19/4	14/6	13/6	274/209	173/69	101/140
1994/95	42/3	53/3	67/1	20/24	7/73	15/31	36/16	37/9	36/17	21/18	55/11	23/9	411/215	188/104	222/111
1995/96	23/5	95/5	32/60	24/29	23/11	10/69	30/42	93/40	8/59	11/18	68/12	7/5	422/355	196/110	226/245
1996/97	20/7	48/6	30/6	26/5	12/50	81/67	36/47	104/56	39/54	4/24	14/9	49/7	463/338	136/74	327/264
1997/98	4/5	48/5	27/6	51/8	31/87	30/44	4/42	3/30	16/12	48/9	14/5	21/4	297/255	161/111	136/145
1998/99	94/11	53/34	30/18	59/12	5/45	10/78	25/45	34/15	21/15	14/26	5/10	74/8	424/316	241/119	184/197
1999/00	37/4	46/12	19/44	26/18	76/34	38/63	11/55	48/17	78/25	53/42	66/22	6/36	502/373	203/114	299/259
Среднее*	34/6	54/11	35/20	31/20	28/44	31/60	22/38	56/26	32/29	24/22	36/12	25/13	408/301	183/101	226/200
2000/01	33/18	42/10	26/24	31/21	43/19	42/46	114/57	60/66	-/28	20/20	61/9	42/7	513/326	179/92	338/233
2001/02	70/5	134/32	26/37	30/74	84/58	60/68	4/42	12/12	2/3	3/0,4	12/0,2	84/0,1	519/331	344/206	175/125
2002/03	42/9	33/1	54/6	37/6	13/8	7/90	25/37	48/11	24/8	23/7	35/10	76/39	416/224	179/29	238/195
2003/04	34/52	13/23	43/12	41/21	51/39	22/59	37/44	34/12	22/17	39/21	5/24	83/12	422/333	182/146	240/187
2004/05	32/51	78/15	26/53	33/27	45/15	23/40	117/7	42/42	27/9	25/4	19/10	29/47	495/399	214/161	282/238
Среднее**	42/27	60/16	35/27	34/30	47/28	31/61	59/53	39/29	15/13	22/11	26/11	63/21	473/324	219/127	255/197
Среднее***	38/16	57/14	35/23	32/25	38/36	31/60	41/45	48/28	24/21	23/17	31/12	44/17	441/313	201/114	241/199
Многолетняя норма осадков	31	39	26	28	25	20	29	41	33	27	23	28	355	149	206

*Примечание. *За восемь лет. **За пять лет. ***За тринадцать лет.*

13-летний период (441 мм) 1993/94 и 1997/98 ГГ (ноябрь – октябрь) были острозасушливыми. Осадков выпало соответственно на 38% и 33% меньше. Гидрологические годы 1999/00, 2001/02 и 2004/05 были умеренно влажными (осадков больше на 12-18%). Остальные годы были близки к среднему (сумма осадков отличалась менее чем на 10%) [331]. По сумме осадков холодного периода наиболее благоприятными были 1998/99 и 2001/02 ГГ (выпало на 20 и 71% больше средней за 13 лет); наименее – 1996/97 ГГ (осадков меньше на 68%). Теплый период был заметно влажнее среднего (осадков больше на 29-40%) в 1993, 1997 и 2001 гг., значительно засушливей в 1994, 1998, 1999 и 2002 гг. (осадков меньше на 58%, 44, 24 и 27% соответственно). Однако острозасушливые периоды (осадков на 70-80 % меньше средней суммы) общей длительностью 1-6 месяцев отмечались в 9 из 13 лет (69% случаев). Наиболее опасные для лесных экосистем позднелетние и летне-осенние засухи длительностью 2-4 месяца сложились в 1994 г., 1996-1999 гг. и 2002 г., а также 2006 г., когда за июнь – сентябрь выпало влаги около 30% от нормы. В среднем за 13 лет по сумме осадков период июль – август оказался почти на 10%, а за последнее пятилетие на 40% засушливей многолетней нормы.

Интенсивность грунтового стока влаги осадков в песчаном субстрате имеет выраженную сезонность. Ее максимум приходится на конец марта – апрель и совпадает с окончанием активного снеготаяния, оттаиванием грунта, достигая 3,4 мм/сут. В последующие месяцы вертикальный отток влаги постепенно замедляется. Средний среднемесячный минимум его интенсивности отмечается в сентябре – ноябре (0,4-0,5 мм/сут.), а в засушливые годы уже в июле – августе. Во влажные годы он смещается на ноябрь – декабрь.

Сезонный минимум грунтового стока – 14% от годового объема – приходится на осень. В декабре – феврале он увеличивается до 20% – в среднем 0,69 мм/сут., но в наиболее холодные декады этого периода миграция влаги прекращается. За март – май стекает около 45% годового объема просочившейся влаги при средней интенсивности 1,53 мм/сут., в летние месяцы – около 21% (0,72 мм/сут). С начала лета интенсивность стока быстро снижается, но после обильных (40-120 мм) дождей в мае – июне (как в 1996, 1997, 2001, 2005 гг.) может достигать второго пика (1,3-2,2 мм/сут./мес), что свидетельствует о достаточно высокой вероятности таких явлений.

В теплый период при наступлении бездождья отток влаги продолжается и за период от 4,5 (1997 г.) до 6 месяцев (2002 г.)

приводит к гравитационному иссушению 2,0-2,5-метровой толщи до влажности, близкой к ВЗ. При этом интенсивность стока уменьшается в 100 раз и более (примерно с 2,0-2,3 мм/сут., при влажности песка, близкой к НВ, до 0,02 мм/сут. и менее, при его влажности на уровне ВЗ). Кривая зависимости интенсивности стока от продолжительности засушливого периода имеет характер гиперболы, асимптотически приближающейся к нулевому значению интенсивности (рис. 5), и подчиняется функции

$$И = –2,67/1 – \quad \exp (0,522 + 0,028П), \eta = – 0,995, \qquad (51)$$

где $И$ – интенсивность стока, мм/сут., $П$ – продолжительность засушливого периода, дней, η – корреляционное отношение.

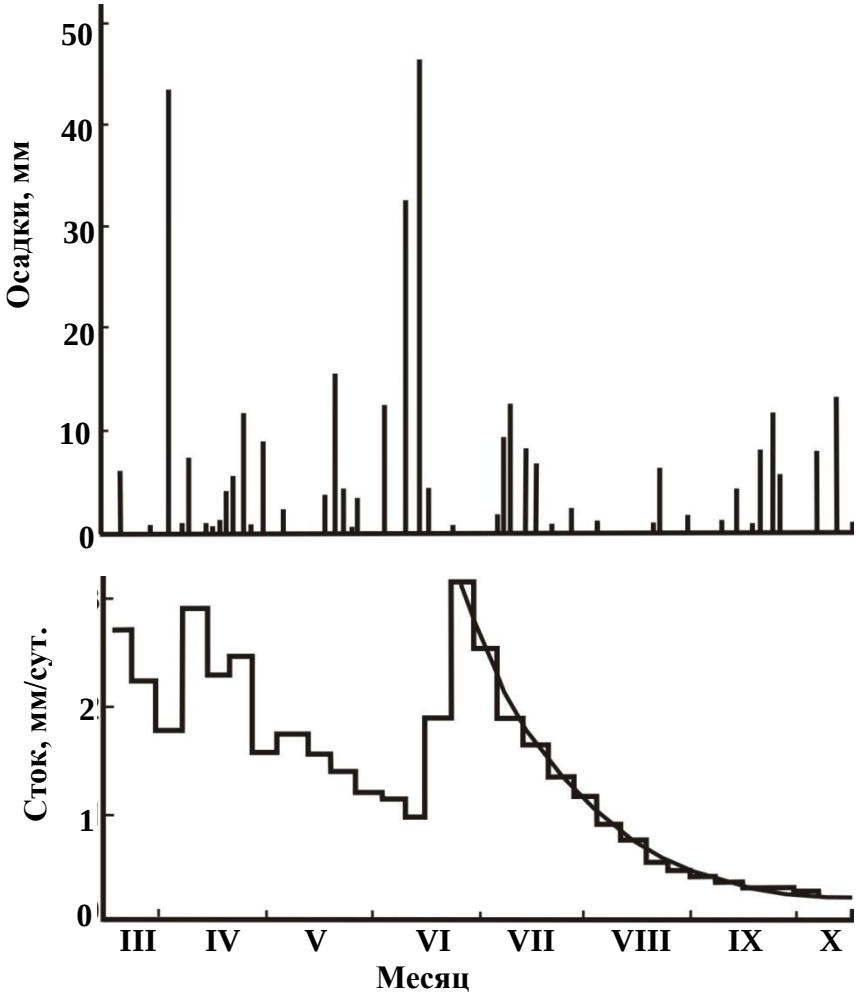


Рис. 5. Осадки, суточный сток влаги и выравненная кривая падения его интенсивности в июне – октябре 1997 г. в лизиметре 5

В среднем за год через открытый песчаный субстрат в водоносный горизонт поступает около 70% (50-85%) влаги выпавших осадков. Объем стока имеет прямую тесную (r = 0,77) связь с годовой суммой осадков, среднюю (r = 0,60) с суммой осадков за теплый период и слабую (r = 0,21) с осадками холодного периода. За холодный период грунтовый сток (36% от годового объема) тесно связан (r = 0,74) с суммой осадков за этот период и средне (r = 0,41)

с их годовой суммой. Сток за апрель – октябрь в сильной степени обусловлен суммой осадков за этот период и за год (r = 0,78 и 0,72), в средней (r = 0,35) – осадками холодного периода.

Около 30% (по годам от 14 до 48%) атмосферных осадков расходуется на физическое испарение. Его величина имеет среднюю зависимость от суммы осадков за год (r = 0,43), теплый период (r = 0,39), слабую от их суммы за холодный период (r = 0,1) и вероятно определяется в основном ритмикой выпадения влаги и температурным режимом атмосферы.

Однако по годам, в связи с большими различиями между месячными суммами осадков и температуры воздуха, динамика грунтового стока в песках может существенно отклоняться от средних параметров. Так, в 2000-2005 гг. сток не носил строго выраженного сезонного характера. В 2000/01 ГГ его максимум пришелся на апрель – июнь с пиком в июне (в среднем 2,2 мм/сут., максимум – 3,24 мм/сут.) в связи с запаздыванием оттаивания грунта и большим дождем (114 мм), выпавшим в конце мая. В 2001/02 ГГ – на февраль – апрель с пиком в феврале (2,64 мм/сут. и 5,32 мм/сут.). В 2002/03 ГГ резкое увеличение интенсивности нисходящего тока влаги произошло только в апреле и достигло абсолютного среднемесячного максимума (3 мм/сут.) за 13-летний период наблюдений с последующим быстрым уменьшением уже в мае и ростом в октябре. В 2003/04 и 2004/05 ГГ повышенный гравитационный сток пришелся на ноябрь, март – май с пиком в апреле, и на ноябрь, январь – февраль, май – июнь с пиком в мае. Тем не менее, в среднем за пять лет через толщу песка в 2,4 м в водоносный горизонт ежегодно стекало 324 мм (3240 $м^3$/га) влаги атмосферных осадков, что составило 68,5% от их среднегодовой суммы. За весенний период стекало 43,6% (в среднем 1,53 мм/сут.) свободной влаги, летний – 16,1 (0,57), осенний – 18,1 (0,63) и зимний – 22,2% (0,8 мм/сут.). Сток за теплый период составил 41,7% от годовой нормы осадков и 77,4% от нормы осадков за этот период, за холодный соответственно 26,8 и 57,9%. На физическое испарение с открытой неперевеваемой поверхности песка в среднем за год расходовалось 31,5% влаги осадков, что всего на 5,5% больше чем в предыдущий период наблюдений, когда среднегодовая норма осадков была на 65 мм (14%) меньше (408 мм/год). При этом максимум непродуктивного испарения (46%) пришелся на умеренно засушливый 2002/03 ГГ, минимум (19,5%) – умеренно влажный 2004/05 ГГ, что свидетель-

ствует о большой изменчивости его параметров по годам и обусловленности многими факторами.

2.7.2. Водный режим субстратов в насаждениях сосны

Отметим, что в лизиметрах 1 и 2 до апреля 1993 г. произрастали 7-летние насаждения сосны и песчаные субстраты к осени 1992 г. были сильно иссушены. Их увлажнение осадками холодного периода 1992/93 ГГ (162,8 мм) произошло только на глубину около 1,5 м. Уже под новыми 1-летними посадками сквозное промачивание песка и грунтовый сток (табл. 6) были отмечены лишь в последней декаде июня 1993 г. после нескольких сильных дождей.

Сток продолжался до октября. В лизиметре 1 в июне – июле он был несколько интенсивнее, чем в лизиметре 2. При почти одинаковой (около 160 мм) продуктивной влагоемкости субстратов разница в объеме потерянной влаги составила около 10 мм и объяснялась небольшим расхождением в их исходной влажности. Суммарные расходы влаги в однолетних культурах на песках практически не различались.

В следующем году грунтовый сток влаги в этих лизиметрах возобновился только в апреле. Основная разгрузка его произошла в апреле – июле. Затем интенсивность стока резко упала и он прекратился уже в августе – сентябре, что было вызвано как заметно возросшей десукцией сосны, так и засушливостью вегетационного периода, особенно апреля, мая и июля (см. табл. 5)

В целом, в течение 1993-1996 гг. грунтовая влага в лизиметрах 1 и 2 стекала почти синхронно и зависела в основном от степени иссушения субстрата сосной (табл. 7), суммы осадков за холодный период и апрель – май.

Для рыхлого однофазного песка лизиметра 1 были характерны несколько более раннее начало и повышенная интенсивность вертикального стока влаги.

По мере развития насаждений и роста их потребности во влаге нарастала и степень осеннего иссушения грунта. В лизиметрах с песком она достигла максимума в 1996 г. Гравитационный сток влаги прекратился уже в мае этого года и не возобновился не только после очередного весеннего снеготаянья из-за малого количества осадков холодного периода 1996/97 ГГ (136,1 мм), но и в обильный дождями весенне-летний период 1997 г.(в апреле – июле выпало 259,8 мм). Это можно объяснить только активным потреб-

Таблица 6

Гравитационный сток влаги (мм) из почвогрунта "облесенных" лизиметров

Гидрологи-ческие годы	Месяцы												Итого, год
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Лизиметр 1													
1992/93	-	-	-	-	-	-	-	16,0	60,0	28,0	24,0	29,0	164,0
1993/94	0	0	0	0	0	20,0	20,0	5,0	7,0	2,0	0	0	54,0
1994/95	0,2	0	0,3	1,6	35,3	13,4	3,6	0,4	0	0	0	0	55,1
1995/96	0	0	0	0	0	38,0	10,0	0	0	0	0	0	48,0
1996/97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997/98	0	0	0	0	1,3	14,0	11,9	0	0	0	0	0	17,2
1998/99	0	0	0	0	5,8	14,5	1,6	0	0	0	0	0	21,9
1999/2000	0	0	0	0	0	0,9	10,2	0,1	0	0	0	0	11,2
Лизиметр 2													
1992/93	-	-	-	-	-	0	0	9,0	57,0	30,0	21,0	30,0	154,2
1993/94	0	0	0	0	0	26,0	18,0	5,0	5,0	1,0	1,0	0	56,0
1994/95	0	0	0	0,2	39,7	19,4	5,2	0,2	0	0	0	0	64,7
1995/96	0	0	0	0	0	26,0	10,0	0	0	0	0	0	36,0
1996/97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997-98	0	0	0	0	26,6	68,8	12,6	0,2	0	0	0	0	108,2
1998/99	0	0	0	0	80,2	43,1	6,0	0	0	0	0	0	129,3
1999/2000	0	0	0	0	0	8,3	28,9	7,2	6,0	12,5	3,7	2,0	68,6
Лизиметр 3													
1992/93	-	-	-	-	-	0	6,5	11,5	11,0	19,5	15,5	19,0	89,2
1993/94	0	0	0	0	0	24,0,	26,0	8,0	16,0	8,0	4,0	2,0	88,0
1994/95	0,2	0	0	1,9	15,5	10,4	6,3	0,7	0	0	0	0	35,0
1995/2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Лизиметр 4													
1992/93	0	0	0	0	0	0	4,0	15,0	29,0	19,5	20,1	17,0	109,5
1993/94	0	0	0	0	0	20,0	11,0	7,0	5,0	9,0	5,0	3,0	60,0
1994/95	0,8	0,4	0	9,6	24,2	9,3	6,7	3,7	2,1	0,6	0,1	0	57,5
1995/96	0	0	0	0	0	2,0	2,0	1,0	0	0	0	0	5,0
1996/2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7

Запасы продуктивной влаги и дефицит насыщения субстрата лизиметров (мм) в конце вегетации сосны

Год	Продуктивная влагоемкость	Запас продуктивной влаги	Дефицит насыщения
Лизиметр 1			
1994	158,4	90,0	68,4
1995	158,4	20,4	138,0
1997	158,4	7,9	150,5
1998	158,4	9,1	149,3
1999	158,4	2,7	155,7
2000	158,4	68,7	89,7
Лизиметр 2			
1994	151,8	83,4	68,4
1995	151,8	9,2	142,0
1997	151,8	4,5	147,3
1998	151,8	5,0	146,8
1999	151,8	0,6	151,2
2000	151,8	-	-
Лизиметр 3			
1994	210,0	123,3	86,7
1995	210,0	67,0	143,0
1997	210,0	50,3	159,7
1998	210,0	2,7	207,3
1999	210,0	19,3	190,7
2000	210,0	66,3	143,7
Лизиметр 4			
1994	340,0	169,3	170,7
1995	340,0	130,0	210,0
1997	340,0	30,6	309,4
1998	340,0	3,2	336,8
1999	340,0	27,2	312,8
2000	340,0	26,7	313,3
Лизиметр 5 (контроль)			
1994	180,0	-	-
1995	180,0	158,0	22,0
1997	180,0	134,0	46,0
1998	180,0	147,0	33,0
1999	180,0	146,0	34,0
2000	180,0	292,0	0

лением почвенной влаги сомкнувшимися густоохвоенными насаждениями, израсходовавшими буферные запасы почвенной влаги и перешедшими на питание атмосферными осадками текущего периода. Таким образом, уже с пятого года жизни сосняки на песках стали развиваться в зональном режиме условий водного питания.

В последующие 1998-2000 гг. – засушливый, средний и влаж-

ный – осадки холодного периода превышали дефицит почвенной влаги и обеспечили грунтовый сток в весенние месяцы. В лизиметре 1 он составлял в сумме 11-22 мм. Примерные потери влаги осадков холодного периода на физическое испарение (осадки минус дефицит влажности почвы минус грунтовый сток за март) составили 23%, что близко по величине к расходам, определенным для массивов культур сосны степного Придонья [180].

В относительно снежные зимы 1997/98 и 1998/99 ГГ лизиметр 2 не удалось защитить от подтока влаги со стороны (по наледи). Весенняя влагозарядка субстрата существенно превышала дефицит его влажности и обеспечивала формирование обильного грунтового стока на протяжении 2-2,5 месяцев. Превышения его над объемом стока влаги в лизиметре 1 с одинаковым осенним дефицитом влажности субстрата (около 150 мм) составляли 100-125 мм. Часть дополнительной влаги, легко доступной для корней, по всей вероятности использовалась насаждением на транспирацию в течение весеннего периода, ускорила нарастание массы хвои в первой половине вегетации и десуктивное иссушение субстрата во второй.

В лизиметрах 3 и 4 в силу более высокой начальной (апрель 1993 г.) влажности субстратов и их влагоемкости (см. табл. 7), обеспечившей аккумуляцию неизрасходованной на эвапотранспирацию влаги осадков первых лет жизни сосны, переход насаждений на зональный режим питания произошел на 1-1,5 года позднее, чем в лизиметрах 1 и 2.

В лизиметре 3 грунтовый сток влаги окончательно прекратился в начале июня 1995 г., 19 июня запасы доступной влаги в почве еще составляли около 245 мм, а к середине октября образовался ее дефицит в размере 143 мм. Большой расход влаги на физическое испарение с крон густоохвоенного древостоя и интенсивная десукция в последующие годы увеличили осенний дефицит почвенной влаги и водный режим супесчаного субстрата с 1996 г. стал непромывным. Однако запасы почвенной влаги, образовавшиеся в октябре 1997 г. (около 50 мм) были израсходованы лишь в 1998 г.

В лизиметре 4 грунтовый сток прекратился в июне 1996 г. Но до конца 1997 г. в нижнем слое субстрата еще сохранялись буферные запасы почвенной влаги (около 30 мм), использованные сосной на питание в засушливом 1998 г. В верхней же части профиля суглинистого субстрата уже осенью 1994 г. дефицит влагонасыщения составил 171 мм и приблизился к среднегодовой сумме осадков за

ноябрь – март периода наблюдений, а в последующие годы существенно превысил ее. Это позволяет утверждать, что грунтовый сток влаги в лизиметре 4 целиком обязан исходной насыщенности суглинка влагой. Если бы осенью 1992 г. он имел влажность близкую к ВЗ, то даже осадков холодных периодов двух последующих лет (выпало 335,9 мм) не хватило бы для его насыщения до НВ (340 мм) и формирования вертикального стока.

При большом дефиците почвенной влаги в верхней части профиля и большой массе хвои в насаждении гравитационный сток влаги из нижних слоев субстрата лизиметра 4 в вегетационные периоды 1995 и 1996 гг. объясняется, по-видимому, относительно медленным освоением иловатого суглинка корнями сосны.

Из приведенных данных следует, что в моделях 3 и 4 насаждения сосны на зональный режим водного питания окончательно перешли не раньше второй половины вегетационного периода 1998 г.

Таким образом, в условиях сухой степи по мере роста охвоенности, смыкания крон деревьев и исчерпания буферных запасов влаги водный режим КС густых (около 50 тыс. растений/га) культур сосны – с третьего года жизни на рыхлых песках, 4-5 – на супесях-суглинках – претерпевает существенные изменения. В сомкнувшихся молодняках даже в годы с минимальным запасом сырой хвои (3-5 т/га на песках, 8-12 на супесях-суглинках) осенний дефицит почвенной влаги почти достигает или превышает среднегодовую норму осадков за холодный период. В насаждениях на рыхлых песках со средневзвешенным содержанием ФГ до 3-4% и мощностью зоны аэрации 2,0-2,5 м (НВ = 150-170 мм) и более формируется периодически непромывной тип водного режима, а на относительно тяжелых отложениях при НВ 2-метрового слоя более 200 мм – непромывной.

В насаждениях на относительно мощных (более 2 м) песках сток атмосферной влаги в ГВ происходит в зависимости от глубины промерзания грунта с конца марта – апреля до начала – конца июня с пиком в апреле-начале мая и формируется почти исключительно за счет осадков холодного периода. ГВ наиболее обильно пополняется в годы с глубоким увлажнением ризосферы сосны в конце предшествовавшей вегетации (в середине – конце октября), с повышенной суммой осадков в холодные месяцы при относительно теплой зиме (см. табл. 5). В такие годы грунтовый сток влаги может достигать 11-18% от годовой суммы осадков, 25-41% от суммы осадков холодного периода (табл. 8). Осадки

Таблица 8

Осадки и грунтовый сток влаги в необлесенном и облесенном лизиметре с субстратом из рыхлого однофазного неогенового песка

Гидрологические годы	Осадки, мм			Вертикальный сток влаги атмосферных осадков из субстрата						Масса сырой хвои, т/га
				открытого			облесенного (модель 1)			
	за год	ноябрь – март	апрель – октябрь	мм	% от годовой суммы	% от суммы за ноябрь – март	мм	% от годовой суммы	% от суммы за ноябрь – март	
1995/96	422	196	226	355	84,1	181,1	48	11,4	24,5	11,2
1996/97	463	136	327	338	73,0	248,5	0	0	0	9,5
1997/98	297	161	136	255	85,9	158,4	17	5,7	10,6	6,7
1998/99	424	241	183	316	75,5	131,1	22	5,2	9,1	4,4
1999/00	502	203	299	373	74,3	183,7	11	2,2	5,4	5,5
Среднее	422	187	234	327	71,3	180,6	20	4,9	9,9	7,5
2000/01	513	175	338	326	63,5	186,3	0	0	0	7,9
2001/02	519	343	175	331	67,8	96,5	38	7,3	11,1	6,3
2002/03	416	179	238	224	53,8	125,1	73	17,5	40,8	5,3
2003/04	422	182	240	333	78,9	183,0	11	2,6	6,0	4,7
2004/05	495	214	282	399	80,6	186,4	8	1,6	3,7	5,1
Среднее	473	219	255	323	68,5	155,5	26	5,8	12,3	5,9
Среднее за 10 лет	448	203	245	325	70,0	168,0	23	5,4	11,1	6,7

начала нового вегетационного периода вследствие интенсивной десукции сосной в пополнении грунтового стока влаги не участвуют, но, по-видимому, способствуют его ускорению – выдавливают влагу холодных осадков из корненасыщенного слоя.

На глубину и периодичность сквозного промачивания песчаной толщи осадками холодного периода запас хвои в насаждении сосны влияния практически не оказывает. Так, в 2001-2005 гг. осадков выпало на 10,8% больше, а среднегодовая масса сырой хвои в лизиметрической модели 1 с третичным однофазным песком (НВ = 160 мм) уменьшилась почти на 27% по сравнению с 1996-2000 гг. и составила 5,5 т/га (см. табл. 8), что заметно меньше зональной нормы. А среднегодовой грунтовый сток влаги в относительном выражении к годовой сумме осадков и осадкам за холодные месяцы увеличился всего на 0,8-1,2% – с 4,9 до 5,4% и с 9,9 до 11,1% соответственно. Это позволяет предположить, что водный режим КС насаждения в ближайшие одно-два десятилетия не претерпит существенного изменения.

Полученные данные позволяют говорить о том, что в пограничном поясе сухая степь – полупустыня облесение сосной практически лишенных растительности, но неперевеваемых автоморфных рыхлопесчаных отложений в период жизни молодняков и, возможно, средневозрастных насаждений снижает их влагоаккумулирующую эффективность в среднегодовом выражении в 13-15 раз (примерно с 70 до 5% годовой суммы осадков), а грунтовый сток влаги холодного периода – примерно в 5 раз – с 57-58% (см. табл. 5) до 11-12% ее величины. Пополнение под насаждениями верхнего водоносного горизонта атмосферными осадками происходит в основном в благоприятные для формирования вертикального стока влаги годы. При их норме за холодный период 190-220 мм в такие годы сток может превышать 70 мм, но в среднем составляет 20-30 мм/год.

2.7.3. Рост и состояние насаждений

В 1994-1996 гг. при высокой влагообеспеченности сосна на суглинке (модель 4) росла почти вдвое быстрее, чем на однофазном неогеновом (материнском) песке (модель 1), на 35-40% быстрее, чем на эоловом песке (модель 2) и на 10-15%, чем на гумусированной супеси (модель 3). Небольшие различия в росте меж-

ду растениями в моделях 2 и 3, 3 и 4 (табл. 9) обусловлены невысокой требовательностью сосны к плодородию почвы.

Таблица 9

Динамика роста в высоту культур сосны в лизиметрических моделях, см

Год	Модель				
	1 (однофазный рыхлый песок)	2 (двухфазный слабосвязный песок)	3 (тяжелая супесь)	4 (средний суглинок)	$НСР_{05}$
1993	11,5±0,5 6,1±0,4	10,0±0,6 6,2±0,5	10,8±1,0 6,1±0,7	9,8±0,5 6,6±0,5	1,8 1,5
1994	34,7±1,0 23,2±1,0	36,0±1,9 26,0±1,2	38,3±2,0 27,5±1,6	40,8±1,8 31,0±1,3	4,7 3,6
1995	61,2±4,6 26,5±2,4	72,5±4,4 37,5±2,1	87,8±5,5 49,5±2,4	93,8±3,46 53,0±1,87	12,5 6,1
1996	93,3±6,3 32,1±2,8	114,6±6,4 42,1±2,8	136,6±7,7 48,8±2,4	150,6±5,3 56,8±2,7	18,0 7,5
1997	122,0±4,2 28,7±1,3	143,6±5,5 29,0±1,4	171,8±5,8 35,2±1,5	189,6±5,3 39,0±2,0	14,5 4,3
1998	138,5±7,4 16,5±1,2	175,6±7,8 32,0±2,6	199,3±6,3 27,5±2,2	218,6±9,81 29,0±2,03	21,9 5,6
1999	148,0±7,0 9,5±0,8	190,6±8,7 15,0±2,2	213,3±8,0 14,0±3,2	232,1±10,1 13,5±255	23,6 6,1
2000	161,0±6,09 13,0±1,1	–	234,3±9,5 21,0±3,1	244,8±7,3 12,7±3,47	21,3 7,1
2001	174,0±8,3 13,3±1,2	–	271,7±11,7 37,4±1,37	272,6±13,7 27,8±3,5	29,3 7,3
2002	182,2±8,5 7,9±0,6	–	292±14,23 20,3±13,4	283,3±17,6 10,7±1,7	33,2 5,0
2003	189,3±6,0 7,1±0,4	–	311,1±11 19,1±1,8	300,8±14,2 10,9±2,4	28,9 4,3
2004	198,9±3,3 9,6±0,2	–	333,7±3,0 22,6±0,7	–	8,9 1,3
2005	210,8±6,0 11,0±1,5	–	356,0±14,1 25,8±2,4	–	28,1 5,5

Примечание. В числителе высота, в знаменателе прирост; $НСР_{05}$ – наименьшая существенная разность на 5%-ном уровне значимости.

В 1997-1999 гг. после перехода насаждений на питание влагой осадков текущего ГГ, различия прироста сосны в высоту резко уменьшились и стали объективным показателем влагообеспеченности насаждений в последние 2-3 года. Во влажном 2000 г. прирост сосны на рыхлом песке и суглинке сравнялся за счет его усиления в насаждении на песке, меньше пострадавшем в засуху 1998 г.

На бедном неогеновом песке кульминация роста деревьев в высоту и массы хвои (рис. 6) наступила уже в 1996 г., и влагообес-

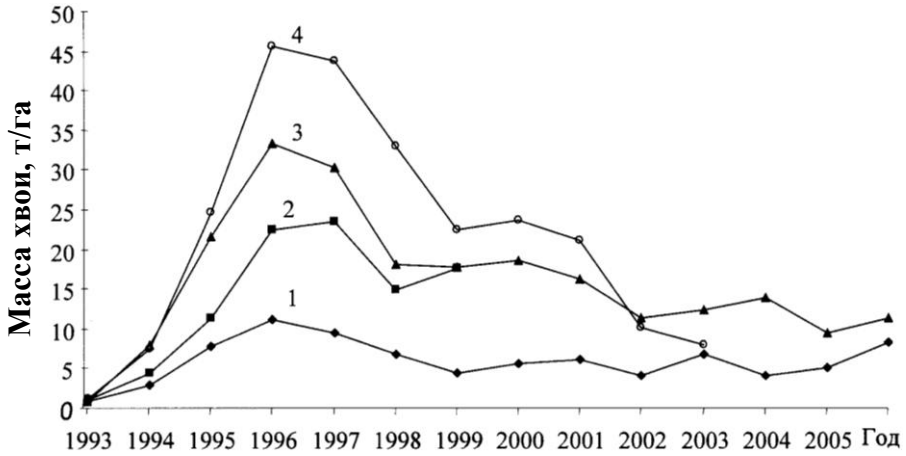


Рис. 6. Динамика запасов сырой хвои в лизиметрических моделях насаждений на юге сухой степи европейской России, т/га (1, 2, 3 и 4 – номер модели)

печенность насаждения резко снизилась (см. разд. 2.7.4). Сосна сравнительно быстро на 17-32 см в год росла здесь лишь в течение пяти лет. В последующие годы, несмотря на кратное увеличение транспирационной активности, ее прирост не превышал 7-13 см. Следовательно, в насаждениях сосны на бедных песках продолжительность периода большого роста зависит не только от их густоты, но и от времени наступления первой острой почвенной засухи. Однако угнетение роста культур на песках не сопровождалось самоизреживанием древостоя; только в 2006 г. появилось одно суховершинное дерево, что объясняется ослабленностью конкурентных отношений между особями в этих эдафических условиях (табл. 10).

Таблица 10

Сохранность деревьев в лизиметрических моделях насаждений

Лизиметр	Сохранность (% от числа посадочных мест) по годам									
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	40	-	-	-	-	-	-
3	100	80	73	73	73	57(+6)*	45(+8)*	45(+7)*	52**	52**
4	100	93	93	83	83	43(+23)*	33(+23)*	27(+13)*	-	-

*Примечание.*Суховершинных, ** из них 7 суховершиневших в предыдущие годы.*

В насаждении на эоловом песке рост сосны ускорился также на втором году жизни с кульминацией в 1996 г., но запас хвои был вдвое больше, чем в насаждении на материнском песке. В следующие три года влагообеспеченность и прирост древостоя уменьшились. Запас хвои сократился на 37%, а летом 1999 г. благодаря хорошей весенней влагозарядке песка увеличился на 19% и в летне-осеннюю засуху ускорил его иссушение корнями, что вызвало гибель 60% растений. В 2000 г. ослабленное насаждение распалось. По-видимому, негативную роль сыграло и двухфазное

строение субстрата, замедлившее освоение корнями подстилающего метрового слоя материнского песка.

На супеси (модель 3) и суглинке (модель 4) рост насаждений вызвал еще более стремительное увеличение запаса хвои и снижение влагообеспеченности древостоя.

В модели 3 уже в 1995 г. наступила кульминация прироста сосны в высоту (49,5 см), а в 1996 г. и охвоенности деревьев (33,2 т/га). В 1997 г. буферный запас влаги закончился и транспирационная активность насаждения снизилась до критического уровня – 61 единица на единицу массы сырой хвои, что более чем втрое ниже, чем в 1994 г. и почти в 2,3 раза ниже нормы. Погибло 20% деревьев, существенно сократилась масса хвои, и модель относительно безболезненно (погибло еще 7% растений) перенесла засуху 1998 г. Депрессия роста сосны в 1999 г. сменилась его усилением в последующие годы: в 2001 г. текущий прирост в высоту достиг почти 40 см, а в 2002-2005 гг. был вдвое больше, чем в насаждении на неогеновом песке. Но продолжительные засухи 2001 и 2002 гг. вызвали дополнительную гибель и суховершинность 6-8% деревьев. К концу 2002 г. масса хвои уменьшилась на две трети от максимальной и в последующем – до 2006 г. – изменялась в небольших пределах. Сохранность деревьев снизилась до 53%, в 2003 г. – до 52% от исходного количества, но их состояние с 2003 г. стало несколько улучшаться. Усилился прирост в высоту, произошло замещение сухих вершин, что свидетельствовало о выходе насаждения из кризиса. Однако последовавшая осенняя засуха 2005 г. его ослабила, а летне-осенняя 2006 г. вызвала гибель.

В насаждении на суглинке (модель 4) максимума средний прирост деревьев в высоту (56,8 см) достиг в 1996 г. и совпал с формированием рекордной массы хвои (45,6 т/га в сыром виде). Бóльшая часть буферного запаса влаги в КС была израсходована. В следующем году транспирационная активность древостоя снизилась до 46% от нормы, прирост в высоту уменьшился более чем на треть, погибло 7% деревьев, но запас хвои почти не изменился. Засушливый 1998 г. совпал с максимумом потребности насаждения в водном питании и оно пришло в критическое состояние. К осени запас хвои уменьшился почти на 25%, усохло еще 10% деревьев. В 1999-2000 гг., несмотря на повышенные суммы осадков, прирост в высоту уменьшился почти до минимума, а охвоенность – до половины максимальной величины. Но влажные годы благоприятно отразились на состоянии древостоя – средний при-

рост в высоту в 2001 г. увеличился вдвое (почти до 30 см). Однако из-за отсутствия дождей в июле – августе осталось только 66% живых деревьев, из них более трети суховершинили. После очередной засухи в июне – сентябре 2002 г. осталось 56% деревьев, а в 2003 г. – 40%, из которых половина имела сухие вершины. Средний прирост уменьшился до 11 см, но масса сырой хвои оставалась значительной – 8-10 т/га (как в лучшие годы в насаждении на неогеновом песке), и вместе с равномерным распределением живых деревьев по площади давала возможность насаждению выйти из кризиса при наступлении благоприятных лет.

В целом, в 7-летнем возрасте средняя высота древостоя на эоловом песке, супеси и суглинке была на 28, 44 и 57% больше, чем на неогеновом однофазном песке. В 11 лет у насаждений на супеси и суглинке она сравнялась. В 14 лет сосна на супеси достигла средней высоты 4 м, что на 56% больше, чем на третичном песке. С повышением плодородия КС усиливалась дифференциация, изменялся облик древостоя. До усыхания в 7 лет лучше всего выглядели пропорционально развитые деревья на эоловом наносе, тогда как в модели 1 и в 14 лет они были чрезмерно тонкими, слабо охвоенными, выглядели ослабленными. В моделях 3 и 4 имелось много суховершинных и искривленных деревьев.

В 2000, 2003 и 2005 гг. насаждения на лизиметрах 2, 4 и 3 были вырублены, а на лизиметре 1 оставлено. В начале мая 2016 г. (в 23 года) его средняя высота достигла 269,2 ± 9,6 см (как на обогащенных глиной субстратах в 9 лет), средний диаметр – 1,9 ± 0,1 см.

Наблюдения показали, что 2006-2015 гг. оказались значительно суше предыдущих лет наблюдений [234]. В эти годы сумма осадков за холодный период в среднем была на 29%, теплый – на 18%, а годовая сумма – на 17% меньше, чем в 1996-2005 ГГ. Наиболее опасными по снижению влагообеспеченности древостоя на песке были 2012, 2014 и 2015 ГГ, в которые осадков за теплый период выпало на 34-44% меньше, чем в среднем за 2006-2015 гг. (табл. 11).

Однако, несмотря на почти двукратное уменьшение среднего прироста в высоту и небольшое уменьшение охвоенности деревьев (см. табл. 11), визуально заметного изменения состояния насаждения в первой половине этого десятилетия не наблюдалось. Первое дерево усохло только в конце 2006 г. по невыясненной причине, второе, ориентировочно, – осенью 2012 г. Резкие изменения состояния древостоя произошли лишь после летне-

осенних засух 2014-го и 2015 гг. К осени 2014 г. выпало еще 3 дерева, по-видимому, ослабленных засухой 2012 г. (табл. 12).

Таблица 11

Атмосферные осадки и текущий прирост в высоту сосны в насаждении на субстрате из неогенового кварцевого песка, 2006-2015 гг.

ГГ	Сумма осадков (мм) за период			Прирост, см
	год	ноябрь – март	апрель – октябрь	
2005/06	341	128	213	8,6 ± 0,6
2006/07	317	126	191	7,4 ± 0,7
2007/08	308	112	196	6,3 ± 0,6
2008/09	318	120	198	6,4 ± 0,4
2009/10	432	174	258	6,3 ± 0,4
2010/11	465	182	283	5,6 ± 0,6
2011/12	251	122	129	4,5 ± 0,4
2012/13	443	140	303	4,8 ± 0,3
2013/14	316	183	133	5,1 ± 0,4
2014/15	263	150	113	6,3 ± 0,4
Среднее	346	144	202	6,1 ± 0,5
Среднее за 1996-2005 гг.	448	203	245	11,8 ± 7,5*

*Примечание. * – 1999-2005 гг. – период после окончания большого роста.*

Таблица 12

Рост и состояние 23-летнего насаждения сосны в лизиметре на субстрате из неогенового кварцевого песка, 11.05.2016 г.

Номер дерева	Н, см	Д, см	Состояние	Текущий прирост в высоту по годам, см									
				2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	326	2,9	Усыхающее	6,0	20,0	19,0	11,0	8,0	3,0	8,5	3,5	4,5	9,6
2	264	1,9	Усыхающее	8,5	9,5	7,0	6,5	5,5	4,0	4,5	5,5	2,5	7,0
3	290	2,8	Усыхающее	12,0	5,5	5,5	5,5	8,0	7,0	5,0	5,0	5,0	6,0
4	232	1,4	Усохло в 2015 г.	5,0	4,0	7,5	4,0	3,5	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0
5	222	1,1	Усохло в 2015 г.	10,0	9,0	4,0	5,0	3,0	4,0	3,0	2,5	3,0	5,0
6	344	2,3	Усохло в 2015 г.	7,5	6,0	8,0	3,5	6,0	4,5	4,0	5,0	5,0	7,0
7	332	2,7	Здоровое	12,0	7,5	2,5	3,5	5,5	4,5	3,5	4,0	5,0	7,0
8	268	3,0	Поврежденное	4,0	8,0	5,0	6,0	5,0	16,0	6,0	5,0	9,0	11,0
9	226	2,1	Поврежденное	7,5	5,0	5,5	7,5	8,5	6,0	5,0	4,5	5,5	5,0
10	220	0,8	Усохло в 2014 г.	10,0	6,5	6,0	7,0	5,5	3,0	4,5	9,5	5,0	-
11	240	1,8	Здоровое	6,0	3,0	1,5	4,0	5,5	4,0	4,5	6,0	7,0	8,5
12	-	-	Усохло в 2006 г.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	198	1,1	Усохло в 2015 г.	2,5	4,0	5,0	3,5	1,5	1,5	1,5	4,0	7,0	3,0
14	286	2,5	Усохло в 2015 г.	6,0	3,5	6,0	3,0	3,5	1,5	4,5	2,5	3,0	6,0
15	230	1,7	Поврежденное	10,0	7,0	9,0	6,0	8,5	6,5	5,0	6,0	5,5	7,5
16	380	2,7	Поврежденное	8,0	6,0	8,0	9,0	8,0	5,5	4,0	4,5	6,0	7,0

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
17	268	1,5	Усохло в 2015 г.	6,0	4,0	5,0	8,0	6,5	5,5	5,5	5,5	4,0	8,0
18	262	1,6	Усохло в 2015 г.	8,5	7,0	4,5	5,0	7,5	6,0	3,0	3,0	4,0	5,0
19	204	1,1	Усохло в 2014 г.	3,5	10,0	9,0	7,0	6,0	4,0	3,0	6,0	1,0	-
20	230	1,9	Усыхающее	10,5	7,5	4,0	7,5	6,0	5,0	2,5	4,0	3,5	4,5
21	-	-	Усохло в 2012 г	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	276	1,9	Усохло в 2015 г.	6,5	12,0	9,0	10,5	5,5	3,0	7,5	2,5	3,5	2,0
23	282	1,7	Здоровое	12,0	9,5	5,5	6,0	6,5	5,0	4,0	4,5	4,5	4,5
24	240	1,6	Усохло в 2015 г.	11,0	7,5	7,0	6,5	7,0	9,0	6,0	6,5	6,0	5,0
25	348	2,9	Усохло в 2015 г.	17,0	18,0	8,5	8,0	8,5	8,0	11,0	5,5	10,0	11,0
26	380	2,5	Здоровое	12,0	7,0	5,5	9,0	7,5	7,5	3,0	5,5	7,0	6,0
27	220	1,5	Усохло в 2014 г.	9,0	5,0	2,5	7,0	9,0	10	3,0	5,0	5,0	-
28	272	1,8	Усохло в 2015 г.	8,5	4,5	5,0	6,0	7,0	4,0	4,0	4,0	6,0	5,0
29	250	1,6	Здоровое	12,0	5,0	7,0	9,0	9,0	6,0	4,0	6,0	6,0	6,5
30	248	1,5	Здоровое	9,0	6,5	5,5	4,5	5,0	4,0	5,0	5,0	6,5	6,0

То есть в возрасте 22 года сохранность деревьев составляла более 73% от числа посадочных мест. После двухлетней засухи – в конце вегетации 2015 г. – усохло уже 11 деревьев. Кроме них, весной 2016 г. явные признаки необратимого усыхания имели еще 4 дерева. В поврежденном состоянии (с признаками усыхания прироста 2015 г.) находилось также 4 дерева, а здоровыми оставались всего 6 деревьев. Причем 3 из них заметно крупнее среднего дерева, и 3 – мельче. Поврежденными также оказались деревья с относительно хорошо развитой кроной. Таким образом, за один год сохранность древостоя дополнительно снизилась на 40% и в 23 года составила 33,3%, что послужит катализатором его необратимого распада.

2.7.4. Эффективность почвенного раствора и засухоустойчивость насаждений

Качество почвенного раствора и состояние насаждения хорошо диагностируются по приросту молодой хвои (рис. 7), ее влажности (рис. 8) и транспирационной активности. В ювенильный период на обогащенных глиной субстратах прирост хвои в 2-4 раза больше, чем на бедном песке. В последующем эти различия по годам уменьшаются до 1,5-2 раз при вдвое-вчетверо меньшем общем запасе хвои (табл. 13) и определяются состоянием насаждений, весенней влагозарядкой КС и суммой летних осадков. Летние осадки эффективнее для сосны на бедном песке, где их недостаток сильнее

подавляет рост молодой хвои и ускоряет опадение старой, отчего при почвенной засухе средний возраст хвои снижается до 1,5 лет и менее. В насаждениях на обогащенных глиной субстратах старая хвоя сохраняется заметно дольше.

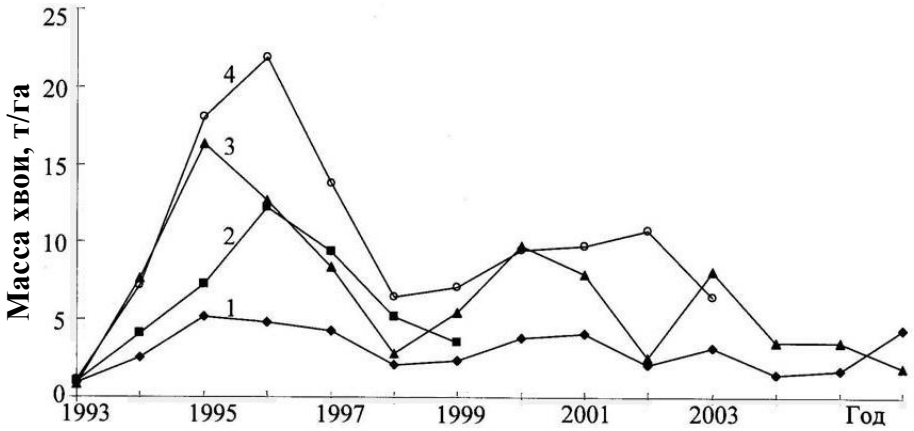


Рис. 7. Динамика сырой массы молодой хвои сосны в лизиметрических моделях (1-4) насаждений в конце вегетации

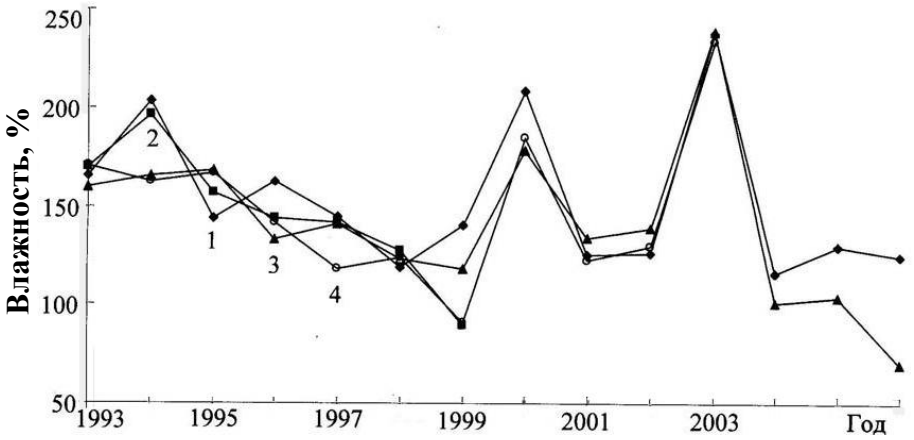


Рис. 8. Динамика абсолютной влажности молодой хвои сосны в лизиметрических моделях (1-4) насаждений в конце вегетации

Таблица 13

Запасы (в сыром состоянии) и средний возраст хвои в лизиметрических моделях сосняков на юге сухой степи европейской России (т/га/лет)

Модель	Год наблюдения							
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	0,9 -	2,8 1,24	7,7 1,3	11,2 1,62	9,5 1,77	6,7 1,91	4,4 1,5	5,5 1,41
2	1,0 -	4,4 1,19	11,4 1,4	22,5 1,53	23,5 1,77	14,8 2,8	17,6 2,3	-
3	0,8 -	8,0 1,09	21,7 1,25	33,2 1,64	30,2 2,01	18,0 2,31	17,7 2,42	18,6 2,44
4	1,1 -	7,5 1,15	24,6 1,26	45,6 1,50	43,7 1,93	33,0 2,25	22,4 2,25	23,6 2,17

Влажность хвои меньше меняется в годы с наличием в КС буферного запаса влаги. В дальнейшем ее сезонные колебания резко увеличиваются и синхронизируются с суммой летне-

осенних осадков. При повышенной сумме абсолютная влажность молодой хвои в конце вегетации достигает 200% и более, при небольшой опускается ниже 100% и не зависит от ее массы. По-видимому, уменьшение абсолютной влажности хвои сосны на бедных песках до 90-100%, а на глинистых отложениях несколько больше – показатель кризиса ее влагообеспеченности.

Вместе с влажностью хвои, по мере сокращения запасов почвенной влаги и с ростом плодородия субстрата, снижается и скорость ее транспирации (определялась по А. А. Иванову [286]). Так, в одинаковых по напряженности метеофакторов условиях 2-летняя хвоя (2000 г.) в 2001 относительно влажном году наименее интенсивно (143-81 мг/г·час) транспирировала в середине августа (табл. 14) после полуторамесячной засухи (осадков выпало 20 мм вместо 60 мм по норме). У сосны на суглинке этот минимум (85 мг/г·час) сохранялся и в середине сентября, несмотря на выпадение за месяц около 30 мм осадков. В насаждении на рыхлом песке хвоя транспирировала в 1,7-1,8 раза быстрее, чем на супеси и суглинке, а в среднем за вегетацию соответственно в 1,7 и 1,9 раза. И даже при высокой влагообеспеченности насаждений в мае на супеси и суглинке интенсивность расхода влаги хвоей (251 и 239 мг/г·час) составила всего 66,5 и 63,4% от расхода в модели на рыхлом песке.

Таблица 14

Динамика интенсивности транспирации хвои сосны 2000 г. в лизиметрических моделях насаждений в 2001 г.

Время наблюдения, час	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Относительная влажность, %	Интенсивность транспирации (мг/г·час) в лизиметрах		
				1	3	4
1	2	3	4	5	6	7
Май (10 и 17)						
9.00	17,0	1,60	56,0	316,6	277,3	231,6
11.00	19,0	1,30	50,5	409,0	275,3	324,2
13.00	21,5	1,50	42,5	435,4	265,9	226,8
15.00	20,6	1,50	39,0	295,3	219,6	158,9
17.00	21,2	1,10	39,0	423,3	218,7	251,9
Среднее				375,9	251,4	238,7
Июнь (14 и 15)						
9.00	22,0	1,20	56,5	538,2	306,2	178,0
11.00	23,4	1,15	58,3	498,1	338,7	179,3
13.00	26,3	1,50	57,0	394,0	253,9	196,3
15.00	26,5	1,20	55,0	475,3	251,2	207,8
17.00	24,6	1,10	56,7	447,6	246,6	195,4
Среднее				470,6	279,3	191,4

Продолжение табл. 14

1	2	3	4	5	6	7
Июль (12 и 13)						
9.00	24,5	1,20	59,5	322,2	81,9	107,7
11.00	28,5	1,80	53,5	272,4	120,1	80,2
13.00	32,0	1,70	36,5	215,3	107,1	181,1
15.00	32,6	1,80	34,0	199,9	103,9	120,5
17.00	32,2	1,60	43,0	195,9	80,6	157,0
Среднее				241,1	98,7	129,3
Август (15 и 16)						
9.00	24,0	0,70	59,0	97,5	67,1	72,4
11.00	28,2	1,60	44,0	136,2	84,0	119,2
13.00	29,5	1,20	41,0	148,9	91,7	90,1
15.00	28,5	1,80	42,0	139,3	98,7	83,5
17.00	26,7	1,00	45,0	193,2	65,2	59,8
Среднее				143,0	81,3	85,0
Сентябрь (11 и 12)						
9.00	19,2	1,00	65,0	136,6	86,1	72,5
11.00	23,0	1,60	57,0	158,1	102,0	101,9
13.00	26,5	1,65	45,0	214,7	100,4	89,3
15.00	28,3	1,60	37,0	248,6	134,0	75,7
17.00	28,1	1,60	40,5	173,1	85,5	85,5
Среднее				186,2	101,6	85,0
Среднее за вегетацию				283,4	162,5	145,9

С мая по август в лизиметрах 1 и 3 она снизилась в 2,6 и 3,1 раза. В лизиметре 4, где накануне произошел значительный отпад деревьев, в 2,8 раза при запасе сырой хвои в сентябре соответственно 6,1, 16,2 и 21,1 т/га. Июньский пик интенсивности транспирации хвои 2000 г. на песке и супеси (448 и 279 мг·г/час) был обусловлен большой суммой осадков в мае и первой половине июня (выпало 57 и 37 мм). В модели на суглинке влияние этих осадков проявилось с опозданием – в виде замедления темпа спада интенсивности транспирации хвои в июле – августе.

Динамика интенсивности транспирации молодой хвои также в относительно влажном 2002 г. имела схожую закономерность (табл. 15). Так, на протяжении 5-месячного засушливого периода (с мая по сентябрь выпало всего 30 мм влаги) в лизиметре 1 она сократилась почти в четыре раза, а в лизиметрах 3 и 4 – лишь примерно вдвое. С июня по сентябрь хвоя сосны в лизиметре 1 испаряла влагу в среднем на 12-15% менее экономно при ее запасе в насаждении в конце вегетации (4,1 т/га) в 2,8 и 2,4 раза

меньшем, чем в лизиметрах 3 и 4. То есть насаждения на тяжелой супеси и среднем суглинке расходовали почвенную влагу примерно втрое бережнее, чем на неогеновом кварцевом песке с содержанием ФГ около 1%.

Таблица 15

Интенсивность транспирации хвои сосны 2002 г. в лизиметрических моделях насаждений на юге европейской территории России, 2002 г.

Время наблюдения, час	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Относительная влажность воздуха, %	Интенсивность транспирации (мг/г·час) в лизиметрах		
				1	3	4
Июнь (11.06.02)						
8.00	20,0	1,0	60,0	285,57	225,46	297,95
11.00	21,0	2,2	48,0	409,77	254,48	230,53
14.00	25,0	1,4	34,0	359,02	178,38	241,45
17.00	25,4	1,1	32,0	356,30	178,56	199,62
Среднее				352,70	209,20	267,40
Июль (10.07.02)						
8.00	29,0	1,0	48,0	261,82	328,73	339,24
11.00	31,0	2,0	46,0	261,67	190,22	166,04
14.00	33,0	1,3	42,0	248,27	174,82	135,48
17.00	33,0	1,8	48,0	215,17	158,25	169,70
Среднее				246,60	213,00	202,60
Август (13.08.02)						
8.00	20,0	0,9	60,0	119,90	151,74	126,00
11.00	30,0	1,4	35,0	91,65	91,00	140,60
14.00	34,0	1,3	43,0	118,82	122,10	126,60
17.00	31,0	1,0	56,0	115,36	163,76	139,50
Среднее				111,40	157,20	126,80
Сентябрь (10.09.02)						
8.00	21,0	0,9	75,0	91,58	195,57	176,16
11.00	23,0	0,8	62,0	92,08	93,28	135,73
14.00	22,0	0,9	75,0	99,64	88,62	75,17
17.00	22,0	1,0	83,0	98,82	79,70	73,12
Среднее				95,53	109,30	115,10
Среднее за вегетацию				201,57	172,17	177,90

Наиболее опасное снижение транспирационной активности насаждений (до 60-50% от нормы [150]) отмечается в годы быстрого роста древостоя при сомкнутом состоянии полога (табл. 16). Их частота увеличивается от бедного песка к суглинку, повышая вероятность гибели молодняков в продолжительные засухи. Однако с повышением содержания глины в КС и биологической эффективности почвенного раствора понижается порог транспирационной активности, критической для жизни насаждений, т. е.

Таблица 16

Баланс почвенной влаги (мм/год) и транспирационная активность насаждений сосны в лизиметрах

ГГ	Осадки, мм	Изменение запасов влаги в почве, мм	Грунтовый сток, мм	Испарение, мм	Транспирация, мм	Масса сырой хвои, т/га$^{-1}$	Коэффициент транспирационной активности	
							фактический	нормальный**
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Модель 1								
1993/94	274	0	54	75	145	2,8	517	350
1994/95	410	–70,0	55	127	298	7,7	387	-"-
1995/96	422	–20,0	48	144	250	11,2	223	-"-
1996/97	463	2,0	0	167	294	9,5	309	-"-
1997/98	297	1,0	17	98	181	6,7	270	-"-
1998/99	424	–6,0	22	157	251	4,4	570	-"-
1999/00	502	66,0	11	175	250	5,5	455	-"-
2000/01*	471	–43,0	0	159	355	7,9	449	-"-
2001/02*	435	–3,0	38	105	295	6,3	468	-"-
2002/03*	340	12,0	73	99	156	5,3	294	-"-
2003/04*	339	–12,0	11	89	251	4,7	534	-"-
2004/05*	465	–3,0	8	125	335	5,1	656	-"-
2005/06	273	0	0	74	199	8,3	240	
Модель 2								
1993/94	274	10,0	56	77	141	4,4	320	205
1994/95	410	–74,0	65	120	299	11,4	262	-"-
1995/96	422	–30,0	36	140	276	22,5	123	-"-
1996/97	463	0	0	207	256	23,5	109	-"-
1997/98	297	10,0	17	103	167	14,8	113	-"-
1998/99***	424	–4,0	108	140	180	17,6	105	-"-
Модель 3								
1993/94	274	–115,0	88	141	160	8,0	200	141
1994/95	410	–6,0	35	154	227	21,7	128	-"-
1995/96	422	–67,0	0	184	305	33,2	92	-"-
1996/97	463	50,0	0	228	185	30,2	61	-"-
1997/98	297	–43,0	0	109	231	18,0	128	-"-
1998/99	424	16,0	0	146	262	17,7	148	-"-
1999/00	502	47,0	0	195	260	18,6	140	-"-
2000/01*	471	–42,0	0	192	321	20,5****	157	-"-
2001/02*	435	11,0	0	119	305	15,4****	198	-"-
2002/03*	340	98,0	0	115	127	14,7****	86	-"-
2003/04*	339	–56,0	0	122	274	13,0****	210	-"-
2004/05*	465	7,0	0	154	306	10,2****	300	-"-
2004/06	273	0	0	87	186	11,3	165	-"-

Продолжение табл. 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Модель 4								
1993/94	274	–78,0	60	141	151	7,5	201	130
1994/95	410	–39,0	58	158	233	24,6	95	-"-
1995/96	422	–118,0	5	207	343	45,6	75	-"-
1996/97	463	–55,0	0	255	263	43,7	60	130
1997/98	297	–29,0	0	131	195	33,0	59	-"-
1998/99	424	24,0	0	162	238	22,4	106	-"-
1999/00	502	0	0	209	293	23,6	124	-"-
2000/01*	471	–8,0	0	201	278	23,2****	120	-"-
2001/02*	435	64,0	0	111	260	10,3****	252	-"-
2002/03*	340	–26,0	0	146	220	7,9	278	-"-

*Примечание. *Сумма осадков за ноябрь – сентябрь, **выровненные данные Н. С. Зюзя и Е. М. Лобачевой [153], ***насаждение усыхало, ****масса хвои в сентябре (скорректированная).*

повышается устойчивость сосны к дефициту почвенной влаги. После опадения избыточной массы хвои и кульминации роста древостоя транспирационная активность стабилизируется на относительно высоком уровне.

Результаты исследования водного режима, роста и состояния культур сосны на лизиметрических моделях позволяют заключить следующее.

1. На юге Русской равнины увеличение годовой суммы атмосферных осадков в конце прошлого – начале текущего столетия происходило при уменьшении на 10-40% их суммы за июль – август, что осложняло водное питание лесных экосистем.

2. В пограничном поясе сухая степь – полупустыня лишенные растительности рыхлопесчаные отложения имеют промывной водный режим. Среднегодовой вертикальный сток влаги из них составляет около 70% суммы выпадающих осадков. При облесении таких песков густыми культурами сосны с 4-5-го года жизни их водный режим становится периодически непромывным. Под сомкнутыми молодняками отток влаги сокращается в среднем в 13-15 раз и не превышает 20-30 мм, а водный режим зоны аэрации отложений становится периодически непромывным. Древостой переходит на питание исключительно влагой текущего ГГ.

В культурах на средних и тяжелых почвогрунтах стартовые запасы корнедоступной влаги заканчиваются позднее, а их водный режим остается прежним или трансформируется в непро-

мывной. Т.е. на территории аридной зоны при облесении заросших влагоемких песков и легких почв существенной трансформации водного баланса арен, по-видимому, не происходит.

2. Несмотря на лучший водный режим, кварцевые пески с содержанием глины около 1% имеют неблагоприятные лесорастительные свойства. И в период высокой влагообеспеченности (до смыкания крон) прирост сосны в высоту на них в 1,3-1,7, а запас хвои в 2-4 раза меньше, чем на богатых песках, супесях и суглинках. Средний возраст хвои в молодняке не превышает 1,5 лет (в 1,5-1,6 раза меньше, чем на глинистых отложениях), интенсивность транспирации насаждений достигает максимума, а ее допустимое снижение минимума. Это приводит к быстрому расходу весенних запасов корнедоступной влаги, повышенной зависимости влагообеспеченности и сохранности древостоя от летне-осенних осадков.

3. С увеличением содержания физической глины в КС (особенно в диапазоне 1-5%) быстро увеличивается питательность почвенного раствора и устойчивость сосны обыкновенной к дефициту влаги. На слабосвязном песчаном, супесчаном и суглинистом субстратах она в 2-4 раза эффективнее расходует почвенную влагу, чем на рыхлом однофазном песке. В этой пропорции возникает и сохраняется преимущество в охвоенности сомкнутых деревостоев, потенциале оживления их роста после кризиса влагообеспеченности. Но в засушливые и даже средние годы вероятность этих кризисов возрастает, т. е. снижается засухоустойчивость насаждений.

Таким образом, в острозасушливых условиях лесопригодность кварцевых песков, наряду с низкой влагоёмкостью и корнепроницаемостью, лимитирует их минеральная бедность, особенно в засуху. А лесопригодность богатых глиной отложений ограничивает большое различие в годичных запасах почвенной влаги, опасное формированием избыточной массы хвои и критическим снижением влагообеспеченности сомкнувшихся молодняков.

4. С возрастом засухоустойчивость насаждений сосны повышается не только вследствие развития корней. На бедных песках это происходит благодаря раннему необратимому многократному уменьшению текущего прироста побегов и хвои, 2-3-кратному повышению ее транспирационной активности, а на богатых глиной почвогрунтах – вследствие роста требовательности породы к плодородию корнеобитаемого слоя и сокращения охвоенности деревь-

ев и динамичности (изменчивости по годам) массы активной хвои.

5. При большой минеральной бедности отложений и густой посадке культур повышенная засухоустойчивость древостоя сохраняется непродолжительное время, что может быть вызвано его ускоренным старением. Преимущество в лесопригодности для сосняков постжерднякового возраста смещается на относительно богатые отложения.

6. В сухой степи и полупустыне при глубоком залегании верховодки наиболее лесопригодными для сосновых культур являются однофазные связнопесчаные отложения и полиминеральные пески. Вместе с тем мощные тяжелые почогрунты в процессе содержания их в пару и чистом от сорняков состоянии в культурах первых лет жизни способны накапливать большие буферные запасы влаги, обеспечивать дополнительное питание молодняков и сохранение их жизнеспособности в засушливые годы. Но после исчерпания буферной влаги динамичность ее годичных запасов резко возрастает по сравнению с запасами в песчаных отложениях. Поэтому во всем диапазоне эдафических условий и приемлемой густоты посадки произвольное формирование долговечных насаждений может происходить только в редкие продолжительные периоды влажных лет. В годы с обычным ходом атмосферного увлажнения уберечь молодняки от губительного воздействия почвенных засух можно только при условии их своевременного изреживания рубкой ухода. Повторяемость и интенсивность приемов рубки в полнотных древостоях должна увеличиваться с ростом содержания физической глины в корнеобитаемом слое.

7. Надежными индикаторами влагообеспеченности насаждений сосны являются влажность и интенсивность продуктивного испарения влаги 1-2-летней хвои. В период ее высокого содержания в почве (в начале вегетации) влажность однолетней хвои составляет 130-170% и более, двухлетней – 110-120% от абсолютно сухого веса. При большом дефиците почвенной влаги (в конце вегетации) влажность хвои снижается соответственно до 115-110 и 100-90%.

Нормальная интенсивность транспирации хвои сосны обыкновенной на рыхлых песках составляет 300-350 мг/г·час, на супесях и суглинках 200-250 мг/г·час. Ее снижение у однолетней хвои соответственно до 100-90 и 60-50 мг/г·час свидетельствует о наступлении кризиса влагообеспеченности насаждений.

2.8. Особенности роста культур сосны и лесопригодность песчаных земель Волго-Ахтубинской долины и Терско-Кумского междуречья

Наиболее обширные песчаные массивы на юге европейской России сосредоточены в поясе сухих степей и полупустынь, эффективное хозяйственное использование которых связано с необходимостью создания различных видов ЗЛН. Практический опыт показал, что при выращивании широких ЛП и массивов защитно-хозяйственного назначения предпочтение отдается использованию засухоустойчивых хвойных пород – сосне обыкновенной и крымской. Однако производительность и долговечность их древостоев также широко варьируют по территории, находятся в строгой зависимости от наличия дополнительного к атмосферным осадкам водного питания и минеральной обеспеченности КС. В связи с этим особый интерес для лесоразведения представляют песчаные массивы "остепненных" речных долин, сложенные многофазными или однофазными полиминеральными породами.

Волго-Ахтубинская долина

Одним из важных объектов лесоразведения является северная (в пределах Волгоградской обл.), наиболее высокая и дренируемая часть Волго-Ахтубинской долины. Зарегулирование стока р. Волги Волжской ГЭС привело к существенной перестройке режимов поверхностных и ГВ [404], становлению новых квазистационарных условий водно-минерального питания и других важных аспектов существования лесных экосистем на ее территории. Участки гривистой поймы с маломощными почвами на однофазном древнеаллювиальном кварцевом песке и слоистых отложениях преимущественно легкого гранулометрического состава при залегании ГВ в межень глубже 3-5 м из-за редкого непродолжительного затопления в весеннее половодье стали значительно суше и беднее. Несмотря на существенное увеличение нормы осадков (с 355 до 410-420 мм/год) в последние десятилетия, они практически полностью потеряли древесную растительность и частично перешли в категорию нелесных земель. Бóльшая часть (тысячи гектаров) таких участков приурочена к руслам рек Волги, Ахтубы, крупных ериков и по природоохранным и хозяйственным соображениям подлежит облесению. Однако попытки создания на них лесных культур из лиственных пород деревьев и кустарников не имеют успеха. Они плохо приживаются, медленно

растут и рано распадаются. На их фоне выгодно отличаются только зеленые островки культур сосны обыкновенной, созданные в разные годы в порядке производственного опыта.

Условия, рост и состояние сосны изучались в 2005 и 2006 гг. на ПП, заложенных в 18-64-летних культурах [220] методом таксации древостоя, бурового зондирования зоны аэрации почвогрунта и оценки связи текущего прироста модельных деревьев с почвенно-климатическими факторами [22, 313]. При этом принимались во внимание следующие обстоятельства: 1) доступность почвенной влаги для сосны определяется не только влажностью и капиллярностью питающего слоя, но и его насыщенностью корнями, которая быстро снижается с глубиной [296]; 2) величина текущего прироста сосны в высоту является функцией влагообеспеченности насаждения в предыдущем ГГ, а по диаметру в текущем ГГ [22]; 3) продолжительность периода большого роста сосны (текущий прирост в высоту 40 см и более) увеличивается с улучшением лесорастительных условий [257]; 4) при отсутствии альтернативных источников влаги изменчивость текущего прироста сосны по годам прямо пропорциональна динамичности атмосферного увлажнения и влагоемкости КС [214]; 5) доля участия поздней древесины в формировании радиального прироста сосны прямо пропорциональна обеспеченности насаждений влагой во второй половине вегетационного периода [313].

Установлено, что во всем гипсометрическом поясе изучаемых площадей прирусловой и переходной поймы (превышение над меженным урезом воды в р. Волге от 5 до 8-10 м) признаки их затопления в паводки последних 3-5 лет отсутствуют. Средневзвешенное содержание глинистых частиц в КС сосны (2,0-3,5 м) колеблется в широких пределах (от 3 до 20%) и удовлетворяет требовательность этой породы к плодородию. В зоне аэрации почвогрунта формируются два слоя регулярного увлажнения: верхний (мощностью 1,5-2,5 м) за счет атмосферных осадков, и нижний (с глубины 1,5-3,0 м и более) вследствие подъема ГВ в половодье и паводки. Капиллярно-подвешенную влагу верхнего (корненасыщенного) слоя сосна интенсивно десугирует в первой половине вегетации, нижнего – менее интенсивно – во второй половине после схода полой воды и значительного просыхания корненасыщенного слоя. Благодаря этому в пойме она меньше страдает от позднелетне-осеннего дефицита почвенной влаги, чем на песках речных террас и возвышенностей с недоступной ГВ и может формировать высокопроизводительные (табл. 17) долговечные насаждения.

Таблица 17

Экологические условия и рост культур сосны в Волго-Ахтубинской пойме и черноземной степи

ПП	Почва	УГВ, м	Средневзвешенное содержание ФГ, %	Возраст, лет	Густота, шт./га	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Запас древесины, $м^3$/га	Бонитет	Полнота
1	Супесчаная маломощная на песке	2,5	6,0	34	620	18	21	165	Ia	0,6
2	Супесчаная маломощная на суглинке	2,3	8,5	35	830	19	22	340	Ia	0,8
3	Суглинистая мощная на суглинке	3,5	25,0	18	650	9	11	28	I	0,3
4	Суглинистая маломощная на аллювиальном суглинке	3,5	18,0	18	230	11	12	160	I	1,0
5	Суглинистая среднемощная на песке	2,7	19,0	28	1200	13	18	210	Ia	0,8
6	Суглинистая маломощная на песке	> 5	4,0	31	1040	9	14	85	III	0,6
7	Песчаная маломощная слоистая на аллювиальном песке	> 5	6,0	51	400	17	30	270	II	0,8
8		> 5	3,0	37	1500	14	16	220	I	0,9
9	Супесчаная среднемощная слоистая на аллювиальном песке	> 5	6,0	37	870	11	17	110	III	0,8
10	Супесчаная маломощная слоистая на аллювиальном песке	3,2	5,0	34	1150	15	17	200	I	0,8
11	Песчаная среднемощная слоистая на аллювиальной супеси	> 5	13,5	64	770	22	25	370	I	0,9
12		> 5	11,0	55	С – 370 Яз – 600	19 16	28 19	200 140	II III	0,7 0,3
13	Супесчаная среднемощная на аллювиальном суглинке	> 5	19,5	32	1760	17	18	380	Ia	1,3
14	Песчаная маломощная слоистая на аллювиальном песке	> 5	5,0	26	1390	11	13	110	Ia	0,8
15*	Супесчаная черноземовидная	> 9	13,5	55	860	23	20	340	Ia	0,9
16*	Неполнопрофильная легкосупесчаная	> 9	10,0	54	680	21	21	220	I	0,7

*Примечание. *Культуры сосны обыкновенной в государственной защитной лесной полосе Пенза – Каменск, Руднянский р-н Волгоградской обл.*

Сила влияния суммы осадков за июль – сентябрь, когда корненасыщенный слой бывает наиболее иссушен, на величину текущего прироста сосны в высоту в насаждениях даже на самых высоких участках крупногривистой поймы с песчаными почвогрунтами (ПП 6, 8, 9, 14) не превышает 11%. С ростом капиллярности отложений (ПП 2, 3, 4, 13), приближением уровня ГВ (ПП 4, 5, 10) оно почти исчезает. Но связь этого прироста с суммой осадков за август – сентябрь все же остается ощутимой. В целом, на рост сосновых культур в условиях песчаных экотопов этой поймы наибольшее влияние (r^2 = 17-25%) оказывает сумма осадков за весь ГГ, теплый период (r^2 = 17-29%) и, особенно, апрель – июнь (r^2 = 19-34%), когда почвенная влага десугируется наиболее интенсивно, формируется текущий прирост и новые почки. Последнее свидетельствует о том, что, при значительной влажности корненасыщенного слоя в первой половине вегетации, подпертая половодьем грунтовая влага, имеющая к тому же и низкую температуру, на транспирацию древостоев практически не используется. Маломощный (0,3-0,5 м) слой связной почвы (ПП 9), подстилаемый однофазным песком, снижает эффективность осадков теплого периода и лесопригодность высоких экотопов.

Повышенные суммы осадков за теплый период предыдущего ГГ, особенно август – сентябрь, благоприятно (r^2 = 18 и 50%) сказываются и на росте высокополнотных культур вблизи дренирующих водотоков (ПП 1), где с угасанием половодья зеркало ГВ стремительно понижается, а подвешенная влага из увлажненного ею подстилающего песка стекает за пределы КС.

На участках с большой мощностью слоистых отложений влияние осадков теплого периода на рост сосновых насаждений прослеживается слабее, а грунтового увлажнения остается заметным и при залегании зеркала воды в межень ниже 3-4 м (ПП 3, 13). В этих условиях несколько увеличивается и эффективность атмосферных осадков холодного периода.

На рост сосны в молодом возрасте (при неглубоком укоренении, ПП 3 и 4) и на участках с наиболее неблагоприятными грунтовыми условиями (ПП 9, 14) определенное влияние (r^2 = 8-13%) имела и сумма осадков за май – июнь текущего ГГ (года формирования прироста). С возрастом древостоя, углублением вертикальных корней, а также с притуплением прироста (снижением относительной транспирационной активности) влияние

осадков уменьшается и с года устойчивого контакта с капиллярной каймой (КК) ГВ становится мало заметным (ПП 2, 5, 10, 11).

Надежным показателем лесопригодности земель засушливого пояса является стабильность увлажнения КС по годам, а ее отражением – равномерность текущего прироста сосны в высоту в молодом возрасте и продолжительность периода большого роста. В насаждениях на перевеянных участках высокой поймы и мощных слоистых отложениях средней – коэффициент вариации прироста составляет 20-30%, т. е. примерно как в культурах на легких почвах приводораздельных возвышенностей в поясе настоящей (разнотравной) степи (табл. 18). Повышенные значения этот коэффициент имеет лишь в древостоях на маломощных легких почвах высокой поймы с экранированной кварцевым песком ГВ и на средних по составу почвах значительной мощности. Однако и в этих условиях депрессия прироста в высоту не приводит к его ранней кульминации и необратимому притуплению роста насаждений (рис. 9) как это происходит на зональных почвах и кварцевых песках сухой степи в 11-17 лет [27].

Таблица 18

Экологические условия и прирост в высоту культур сосны в Волго-Ахтубинской пойме

ПП	УГВ, м	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Средний прирост за период, см			Коэффициент вариации текущего прироста, %
			за весь срок жизни	11-20 лет	21-30 лет	
1	2,5	6,0	50,6	68,7	59,5	28,6
2	2,3	8,5	54,8	64,0	57,4	29,5
3	3,5	19,0	45,7	52,8*	-	34,2***
4	3,5	18,0	61,7	75,0*	-	19,4***
5	2,7	19,0	46,0	59,7	34,0*	40,5
6	> 5,0	6,0	30,0	34,6	25,6	31,4
8	4,5	5,5	37,0	46,5	34,2	42,5
9	6,0	6,0	27,0	29,9	25,8	43,6
10	3,2	5,0	44,4	43,5	41,5	30,8
11	> 5,0	13,5	35,1	59,1	36,2	29,4
13	> 5,0	19,5	54,7	66,2	42,9	27,5
14	> 5,0	5,0	42,4	48,2	41,2**	35,2
15	> 9,0	13,5	42,1	72,3	52,5	19,4
16	> 9,0	9,9	38,7	53,0	38,0	30,1

*Примечание. *За 8-9 лет; **за 5 лет, ***за 14-15 лет. Культуры на ПП 5 повреждены интенсивным низовым пожаром 4-5 лет назад.*

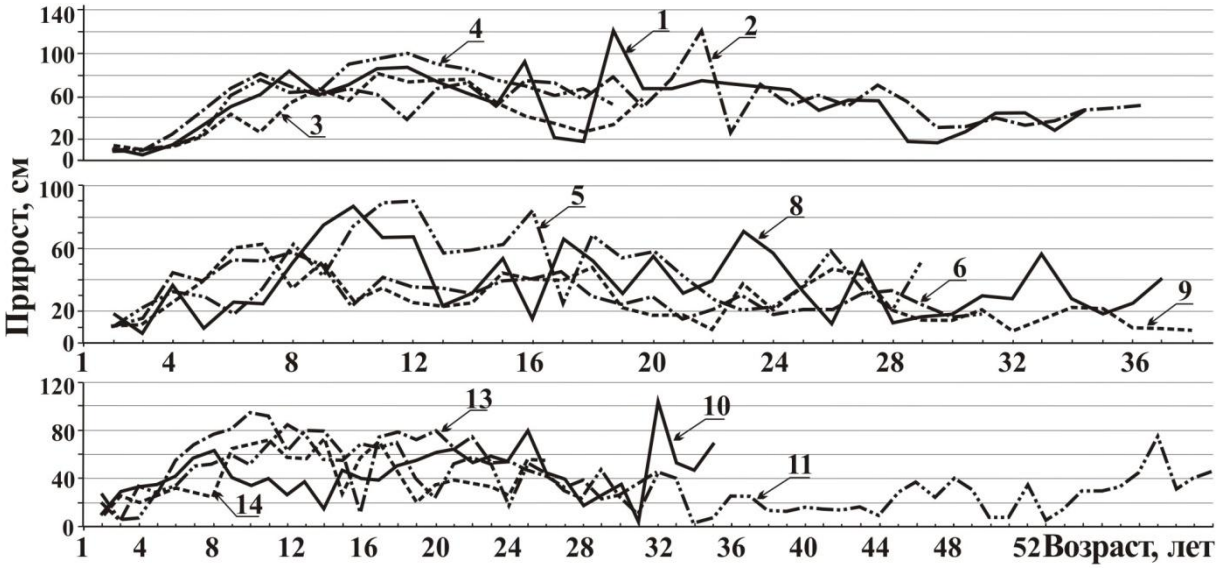


Рис. 9. Динамика текущего прироста в высоту культур сосны в Волго-Ахтубинской пойме на ПП 1-6, 8-11, 13 и 14

По величине среднего прироста сосны в высоту в первые два десятилетия после смыкания крон в насаждении (см. табл. 18) в период максимума их потребности во влаге и непродуктивного испарения осадков, почвенно-грунтовые условия Волго-Ахтубинской поймы имеют большую пестроту.

В наиболее жестких условиях (на участках с мало- и среднемощными легкими почвами, подстилаемыми аллювиальным песком при глубоком залегании ГВ) в первые 10 лет жизни он не достигает 40 см, а во втором десятилетии уменьшается до 25-26 см (ПП 6 и 9). Уже к 30 годам бонитет насаждений снижается до III класса. Эоловая переработка маломощной почвы (облегчение гранулометрического состава покровных отложений) несколько улучшает лесорастительные условия. На перевеянных участках до 30 лет сосна растет по I-Iа классам бонитета (ПП 8, 14).

На легких и средних почвах, подстилаемых слоистыми грунтами (ПП 3, 11, 13), в первое десятилетие средний прирост сосны в молодняках достигает 60-70 см и более, а во второе – уменьшается до 35-40 см. Позднее, после достижения корнями капиллярной каймы ГВ в межень, он может снова существенно увеличиваться (ПП 11) и приводить к выравниванию производительности насаждений на разных по гранулометрическому составу отложениях.

Особые условия формируются в понижениях с ГВ ближе 3,0-3,5 м. Их можно разделить на две группы: на участки, сложенные преимущественно песчаным и слоистым многофазным аллювием. В первые годы жизни культуры сосны растут на них так же, как и

на отложениях аналогичного строения высокой поймы. На песчаных почвогрунтах сосна достигает слоя постоянного увлажнения ГВ только к 11-15 годам и во втором десятилетии ее рост либо усиливается, либо остается на относительно высоком уровне (ПП 10, средний прирост в высоту около 40 см). На многофазных отложениях слой постоянного грунтового увлажнения достигается корнями раньше и примерно до 30 лет насаждения растут более энергично – средний прирост в высоту составляет 60-70 см (ПП 1, 2, 4, 5), а в последующее десятилетие он уменьшается до 40 см.

Связь среднего прироста насаждений ($Zh_{ср}$, см) в высоту с основными показателями почвенно-грунтовых условий – средневзвешенным содержанием ФГ в КС (*Гл*, %) и глубиной залегания зеркала ГВ в межень (УГВ, м) – за периоды 11-20 лет (после смыкания крон), 21-30 лет и за весь период жизни (*А*) подчиняется функциям

$$Zh_{ср\ (11\text{-}20)} = 0{,}989Гл - 5{,}16УГВ + 64{,}8\ (r = 0{,}79), \quad (52)$$

$$Zh_{ср\ (21\text{-}30)} = 0{,}277Гл - 5{,}87УГВ + 67{,}0\ (r = 0{,}78), \quad (53)$$

$$Zh_{ср\ (А)} = 0{,}583Гл - 4{,}47УГВ + 55{,}6\ (r = 0{,}78). \quad (54)$$

Из них следует, что в пойменных условиях положительное влияние влагоемкости и минерального богатства КС на рост сосновых культур уменьшается с их возрастом – с 33% в 11-20 лет до неощутимой величины в период 21-30 лет. На протяжении всей жизни насаждений оно составляет в среднем 24% и свидетельствует об их повышенном значении в первые годы. Влияние глубины залегания ГВ, напротив, увеличивается соответственно с 43 до 58%, а в течение жизни составляет около 50%, т. е. в этих условиях по мере взросления насаждений интенсивность их роста все больше зависит от глубины залегания зеркала ГВ, и после 10-15 лет их корреляционная связь становится сильной.

Наибольший прирост по диаметру (4-8 мм/год) сосна имеет до 8-12 лет во всем диапазоне лесорастительных условий гривистой поймы. Максимальной величины он достигает в насаждениях на относительно богатых почвогрунтах (физической глины в КС 15-20%) и при близком залегании ГВ. Этой же закономерности подчиняется и доля поздней древесины в радиальном приросте. Она увеличивается с 15% у сосны на мощных песках до 33-35% на слоистом супесчано-суглинистом аллювии и, как следствие, повышает качество древесины.

На протяжении десятилетий радиальный прирост также испытывает как подъемы, так и спады. Спады, как правило, соответствуют периодам засушливых лет. Кривая прироста ранней древеси-

ны почти в точности повторяет кривую прироста годичного кольца и достаточно динамична, а поздней – более стабильна. Колебания и различия в приросте годичного кольца с возрастом насаждений уменьшаются. Наибольшее влияние на него оказывают осадки за весь текущий ГГ и апрель – октябрь. На высоких экотопах оно достигает максимума и составляет 19-27%. Как и следовало ожидать, прирост поздней древесины у сосны на пойменных землях в наибольшей степени, но все же относительно слабо (на 8-19%) обусловлен осадками за июль – сентябрь. С повышением доступности ГВ влияние осадков снижается до 1-6%.

Таким образом, в северной части Волго-Ахтубинской долины (примерно до линии Капустин Яр – Каменный Яр) с усилением слоистости, утяжелением гранулометрического состава КС, понижением уровня поверхности и при некотором удалении от дренирующего русла влагообеспеченность и рост культур сосны улучшаются, а лесопригодность экотопов гривистой поймы повышается. По этим показателям, а также условиям создания лесных культур их следует подразделить на три относительно однородные группы (типы):

1. Плоские и увалистые участки крупногривистой (прирусловой) поймы с уровнем ГВ в межень ниже 4-5 м, слаборазвитыми почвами на преимущественно однофазных древнеаллювиальных песках, где рост насаждений лимитируется низкой влагоемкостью и минеральной бедностью КС;

2. Участки гривистой поймы среднего уровня с супесчаными и легкосуглинистыми почвами на слоистых отложениях среднего гранулометрического состава, где разведение сосны ограничивается возможностью гибели молодых культур вследствие их затопления [236] в экстремальные по высоте половодья;

3. Участки гривистой поймы с песчаными и супесчаными почвами на преимущественно слоистых отложениях легкого гранулометрического состава и уровнем ГВ в межень ближе 4 м, где разведение сосны лимитирует опасность затопления культур "с головой" в высокие паводки и их гибель в первые годы жизни.

Экотопы первой группы целесообразно отводить под сплошное или ландшафтное облесение монокультурами сосны обыкновенной, производительность которых к 60-летнему возрасту составит 200-250 $м^3$/га стволовой древесины.

На экотопах второй группы можно создавать как чистые насаждения сосны обыкновенной и крымской производительно-

стью до 400 м^3/га, так и смешанные (с робинией, тополем и другими породами).

При лесокультурном освоении экотопов третьей группы сосну следует вводить кулисами в качестве примеси к лиственным породам с целью снижения интенсивности десукции и опасности биогенного соленакопления в КС, повышения долговечности и производительности насаждений.

На участках со связной почвой и развитым травостоем культуры следует создавать после ее предварительной обработки по системе зяблевой вспашки или раннего пара, а на участках с перевеянными отложениями – посадкой сеянцев в одновременно нарезаемые широкие борозды комбинированными машинами типа МПП-1 (МУЛ-1). Схема размещения посадочных мест – 2,5-3,0 х 0,5-0,7 м.

Терско-Кумское междуречье

Определенный интерес для степного лесоразведения представляет северо-западная часть Терского и Бажиганский песчаные массивы Терско-Кумского междуречья. Эта высоко теплообеспеченная, безлесная, исконно пастбищная территория пояса полупустынь Северного Предкавказья вследствие перевыпаса подвержена периодической трансформации почвенного покрова и глубокому увлажнению отложений атмосферными осадками в очагах дефляции. Но в целом она неблагоприятна для жизни лесонасаждений: атмосферных осадков 300-350 мм/год (± 30% и более) с максимумом их суммы в мае – сентябре, продолжительность безморозного периода 170-190 дней, испаряемость 800-900 мм/год, ГТК 0,5-0,7. Для данной территории характерны также малоснежье, частые оттепели зимой и повышенная ветровая активность в короткий (март – апрель) весенний период. На питание сомкнутых древостоев здесь может использоваться в среднем 150-200 мм осадков с большими колебаниями по годам, поэтому лесопригодность песков существенно дифференцирована почвенно-грунтовыми условиями.

Терский массив представлен холмисто-грядовыми среднебугристыми однофазными среднезернистыми кварцево-полевошпатовыми песками. Содержание в них ФГ не превышает 2,0%, гумуса – 0,2-0,5%. НВ отложений составляет 4-6%, ВЗ – 1,0-1,5%, продуктивная влагоемкость (ПВ = НВ – ВЗ) – 3,0-4,5%. ГВ пресная, залегает на глубине 1-15 м.

Бажиганский массив с холмисто-грядовым и мелкобугристым рельефом сложен мелкозернистыми многофазными песками. Они

перевеяны на небольшую глубину и подстилаются супесчаными, суглинистыми прослоями и погребенными почвами, содержат около 4% глины и 0,2-0,4% гумуса. ПВ отложений составляет 4-5%. ГВ минерализацией 3-8 г/л залегает на глубине 4-10 м [183, 413].

В целом, перевеянные и подстилающие их отложения Терско-Кумского междуречья не засолены или слабо засолены, обладают повышенным плодородием. В отличие от кварцевых песков они не препятствуют глубокому укоренению древесных растений.

Особенностью земель лесокультурного фонда на территории региона в начале-середине XX в. являлось их многолетнее пребывание в состоянии открытых и слабозаросших песков, что привело к глубокому промачиванию и дополнительному рассолению отложений зоны аэрации, формированию пресных линз на поверхности минерализованной ГВ, и положительно отразилось на росте лесонасаждений.

В лесомелиорации арен региона многие десятилетия преимущественно использовались лиственные породы (тополя, робиния, вяз приземистый и другие), но они оказались недолговечными. Это вызвано интенсивным потреблением ими почвенной и грунтовой влаги, снижением уровня и повышением МГВ, концентрации солей в КК. Более устойчивый рост имеют насаждения сосны. Они в 1,5-2 раза (180-200 мм/год) экономнее расходуют влагу, а при потреблении минерализованной ГВ снижается опасность биогенного накопления солей и уменьшения мощности КС. В западной и юго-западной части междуречья культурами сосны может быть занято 25-30 тыс. га песков в виде полос, кулис, колков и небольших массивов [183, 165].

Разработанная Ачикулакской НИЛОС ВНИАЛМИ машинная технология их создания заключается в ленточной и полосной глубокой обработке почвы по системе раннего или однолетнего черного пара, весенней рядовой посадке 1-2-летних сеянцев по схеме 4,0-4,5 х 0,6-0,7 м и ориентирована на сохранение противодефляционной устойчивости почвы, накопление влаги и увеличение площади питания растений. Позднее, при облесении полузаросших песков успешно применялась посадка культур комбинированными машинами типа МПП-1 без предварительной обработки почвы [317].

С помощью этих технологий на Бажиганских и Терских песках дополнительно было заложено около 65 га насаждений и появилась возможность оценить влияние на их рост различных факторов.

Настоящие исследования выполнялись в 18-54-летних наса-

ждениях с использованием тех же методов и подходов к анализу полученных материалов, что и при работах в Волго-Ахтубинской пойме.

Установлено, что в зависимости от возраста и местоположения современное состояние культур сосны заметно отличается [237]. На мощных песках (ГВ на глубине 6-8 м) Бажиганского массива древостои сосны обыкновенной до 25-30 лет, сосны крымской 30-35 лет растут по I-II классам бонитета (табл. 19) имеют высокую охвоенность. В этом возрасте различия в их развитии обусловлены агротехникой создания, повреждением рубками, пожарами и т. п. Однако в насаждениях сосны обыкновенной с 16-19 лет, сосны крымской 25-30 лет резко снижается прирост в высоту. После этого в них усиливается отпад деревьев, а почва постепенно зарастает степными травами. Очевидно, что к указанному времени заканчиваются буферные запасы грунтовой влаги и насаждения переходят на питание осадками текущего периода. Преимущество постепенно переходит к сосне крымской. Ее насаждения дольше сохраняют повышенную густоту и сомкнутость лесного полога, но при ширине междурядий 4,0-4,5 м сильнее разрастаются кроны и высота деревьев меньше, чем в насаждениях с более узкими междурядьями. К 40 годам производительность насаждений достигает 200-260 $м^3$/га.

На глинистых песках при уровне слабоминерализованной ГВ 2,0-2,5 м, несмотря на большой отпад, устойчивый рост деревьев сосны крымской продолжается до 50-55 лет (рис. 10 и 11), а запас стволовой древесины увеличивается до 400 $м^3$/га и более.

Таким образом, при существующей технологии создания культур на мощных песках долговечность насаждений сосны обыкновенной и крымской составит соответственно 35-40 и 45-50 лет, а в местах пожизненного дополнительного питания ГВ – на 10-15 лет больше. По-видимому, в условиях междуречья их быстрое старение является результатом повышенной динамичности годовой суммы атмосферных осадков при большой продолжительности вегетационного периода. В годы длительных засух дефицит почвенной влаги в достаточной мере не компенсирует даже доступная ГВ. На маломощных отложениях долговечность насаждений снижается вследствие высокого подъема ее уровня во влажные годы, затопления части ризосферы в период активного роста корней.

Статистический и регрессионный анализ роста модельных деревьев подтверждает и уточняет эти выводы.

Таблица 19

Почвенно-грунтовые условия и таксационные показатели культур сосны на песках Терско-Кумского междуречья (апрель 2008 г.)

ПП	Площадь насаждения, га	Содержание ФГ в верхнем 3-метровом слое, %	УГВ/ МГВ	Возраст, лет	Схема размещения посадочных мест, м	Число стволов, шт./га				Средние			Запас древесины, $м^3$/га	Класс бонитета	Масса хвои в свежем виде, т/га	Ср. прирост по высоте, см
						всего	в т.ч., %			высота, м	диаметр, см	объем ствола, $м^3$				
							здоровых	угнетенных	усохших							
Сосна крымская																
6*	4,50	4,0	3,4/1,9	18	3,0×0,75	3037	72	21	7		10	0,026	73	II	17,5	37,7
8*	3,60	18,7	2,2/1,6	18	3,0×0,75	2352	66	27	7	6,9	11	0,031	83	II	19,1	38,2
7*	8,00	4,0	3,5/2,3	20	4,0×0,75	1481	68	17	15	6,3	10	0,024	36	II	7,5	31,5
10	5,20	4,9	6,4/6,4	28	4,0×0,75	1519	62	16	22	10,9	17	0,151	180	II	11,3	38,9
9	7,30	4,9	5,9/6,4	30	4,5×0,70	1111	80	10	10	12,3	18	0,152	169	I	11,1	42,3
5	8,00	15,0	6,3/4,6	34	4,0×0,75	1160	73	21	6	12,4	17	0,150	168	II	18,4	36,0
1	1,00	11,3	7,6/3,9	37	2,5×0,75	1233	81	14	5	14,2	19	0,225	262	II	18,5	38,0
2	1,10	11,3	7,6/3,9	37	2,5×0,75	598	60	40	-	12,8	19	0,214	127	II	-	34,9
11	0,06	22,1	2,4/1,6	54	Посев	492	79	14	7	15,0	23	0,370	167	III	-	32,5
Сосна обыкновенная																
2а	1,10	11,3	7,6/3,9	37	2,5×0,75	612	57	41	2	10,5	16	0,102	61	III	-	27,6
3	0,33	11.3	7,6/3,9	37	3,0×1,5	812	92	5	3	10,3	17	0,118	95	III	24,4	27,4
4	1,80	15,0	6,9/4,6	34	4,0×075	1236	69	17	14	9,6	15	0,089	94	III	14,6	27,3

*Примечание. *Терский песчаный массив.*

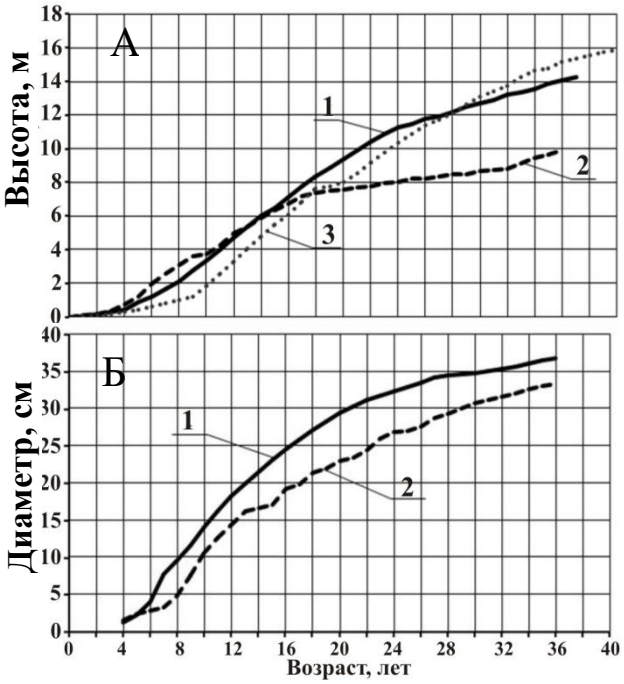


Рис. 10. Ход роста в высоту (А) и по диаметру (Б) сосны крымской (1, 3) и обыкновенной (2) при глубине залегания ГВ 7,6 м (1, 2) и 2,3 м (3) на Бажиганских песках

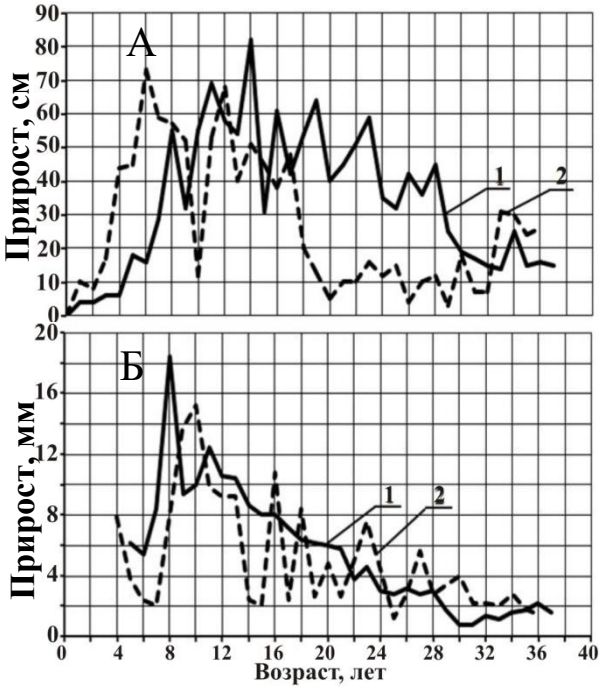


Рис. 11. Текущий прирост в высоту (А) и по диаметру (Б) сосны крымской (1) и обыкновенной (2) при глубине залегания ГВ 7,6 м на Бажиганских песках

Так, при глубоком залегании ГВ под толщей песков (ПП 1, 2, 5, 6, 9, 10) текущий прирост сосны в высоту до 30-40 лет испытывает прямую, но не сильную связь ($r \leq 0{,}44$) с суммой осадков за предыдущий ГГ, а также за его холодный сезон (ноябрь – март). Это является следствием неоднородности сложения и большой мощности КС, продолжительности периода дополнительного питания насаждений за счет буферных запасов влаги, а также высокой биологической эффективности почвенного раствора. В период быстрого роста и при большой густоте культур (интенсивной десукции, ПП 1, 2, 10) эта связь несколько возрастает. А на близководных глинистых песках (ПП 11), напротив, она практически не прослеживается. Более заметное влияние на текущий прирост оказывают осадки теплого периода ($r \leq 0{,}51$) и особенно его второй половины. Оно увеличивается с возрастом насаждений, т. е. по мере сокращения буферных запасов почвенно-грунтовой влаги, и больше у сосны обыкновенной (ПП 2-4).

На песках Терского массива с ГВ ближе 2,5 м (ПП 8) повышенная сумма осадков, как за холодный, так и теплый период предыдущего года ингибируют рост сосны в высоту ($r = -0{,}24 \ldots -0{,}77$). Отрицательное влияние оказывают большие осадки даже в апреле-

июне года формирования прироста (r = –0,50). В этих условиях в период активной вегетации наблюдается внезапное усыхание деревьев с сильно развитой кроной, что можно объяснить отмиранием затопленной части их корневой системы и резким снижением подтока влаги в крону.

При глубине ГВ около 3,0-3,5 м (ПП 6 и 7) рост сосны угнетает (r от –0,50 до –0,72) большая сумма осадков за октябрь – март. Летние осадки, напротив, его стимулируют (r = 0,42-0,59).

Радиальный прирост сосны имеет похожую зависимость от осадков за те же периоды года его формирования. В культурах на мощных песках летние осадки особенно стимулируют формирование поздней древесины, причем больше у сосны обыкновенной ($r \leq 0{,}53$).

Рост сосны крымской в высоту на мощных песках (ПП 5, 9) до 10 лет ускоряется с приближением на 1,5-2,0 м к дневной поверхности зеркала ГВ (на 21%) и с расширением междурядий с 3 до 4 м (15%), т. е. при более раннем достижении корнями верховодки и с увеличением площади питания деревьев. Повышение содержания глины в слое 0-3 м с 5 до 15% заметного влияния на рост сосны не оказывает. Близкая ГВ – 2,5 м (ПП 8) слабо (r^2 = 7,5%), но угнетает его. При этом содержание глины в КС и ширина междурядий теряют свое значение.

Среднюю высоту насаждений в 10 лет (H_1) на мощных песках региона можно определить с помощью функции

$$H_1 = -4{,}46УГВ + 0{,}037Гл - 3{,}55Ш + 43{,}18 \quad (R = 0{,}91,\ R^2 = 0{,}83), \quad (55)$$

где $Гл$ – содержание ФГ в 3-метровом слое (%), $Ш$ – ширина междурядий (м), R и R^2 – коэффициенты множественной корреляции и детерминации.

В период после смыкания интенсивность роста культур в высоту прямо и сильно связана с влагоемкостью КС, его мощностью и глинистостью (r^2 = 88 и 20%), а влияние ширины междурядий не прослеживается. Это может быть обусловлено, с одной стороны, различиями в буферных запасах влаги, с другой – увеличением непродуктивного испарения осадков в насаждениях с широкими междурядьями.

При близком залегании слабоминерализованной ГВ влагоемкость отложений и ширина междурядий почти не влияют на рост сомкнувшихся культур.

На мощных песках среднюю высоту насаждений сосны крымской старше 10 лет (H_2) можно определить с помощью функции

$H_2 = 0{,}11A + 1{,}72УГВ - 0{,}16Гл - 3{,}65$ ($R = 0{,}997$, $R^2 = 0{,}995$), (56)

где A – возраст культур (лет), а продолжительность периода их быстрого роста в сомкнутом состоянии (T, лет) достоверно описывает функция

$T = 2{,}0УГВ + 0{,}49Гл + 7{,}54Ш - 26{,}4$ ($R = 0{,}92$, $R^2 = 0{,}85$). (57)

На Бажиганских песках при увеличении содержания ФГ в верхнем 3-метровом слое с 5 до 15% этот период удлиняется на 23%, расширении междурядий с 3 м до 4 м – 31%.

В этих же условиях после смыкания культур средняя толщина годичного кольца сосны крымской (B, мм) не реагирует на изменение глубины залегания ГВ и ширины междурядий, но уменьшается с ростом содержания глины в КС ($r = -0{,}47$) и подчиняется функции

$B = 4{,}0УГВ - 0{,}41Гл + 3{,}46Ш - 30{,}9$ ($R = 0{,}93$, $R^2 = 0{,}86$). (58)

Прирост у нее поздней древесины реагирует отрицательно и на утяжеление гранулометрического состава отложений (r = –0,40), и на расширение междурядий ($r = -0{,}23$). Это вызвано снижением эффективности летних осадков, ускорением расхода запаса почвенной влаги на физическое испарение.

Радиальный прирост сосны обыкновенной энергичнее реагирует на изменение почвенно-грунтовых и лесокультурных условий. С увеличением глинистости КС и ширины междурядий прирост ранней древесины у нее увеличивается, а поздней снижается, что соответствует динамике увлажняющей эффективности осадков холодного и теплого периодов.

Таким образом, в Терско-Кумском междуречье вследствие засушливости климата и динамичности годовой суммы осадков долговечность насаждений сосны регламентируется возможностью их устойчивого дополнительного питания грунтовой влагой.

Благодаря полиминеральному составу и повышенной корнепроницаемости лучшие лесорастительные условия складываются на однофазных песках с пресной и слабоминерализованной ГВ на глубине 4-5 м, а также на влагоемких мелкозернистых песках, подстилаемых многофазными грунтами и погребенными почвами, с ГВ глубже 6-7 м.

Лесопригодность однофазных песков с ГВ ближе 4 м снижается из-за периодического затопления и отмирания части корневой системы сосны, глубже 5 м – вследствие уменьшения ее доступности. Лесорастительную эффективность многофазных маломощных песков ограничивает их небольшая водоудерживаю-

щая способность и повышенная МГВ.

На Терско-Кумских песках бóльшую долговечность, продуктивность и мелиоративную эффективность имеют насаждения сосны крымской. На богатых минеральной пищей почвогрунтах они более засухоустойчивы, чем насаждения сосны обыкновенной. Доля лесопригодных песков в составе покровных отложений не ограничивает достижения оптимальной защитной лесистости при освоении арен под лесоаграрные, лесопастбищные, лесоохотничьи и рекреационные угодья, но долговечность сосновых насаждений будет существенно разниться в зависимости от почвенно-грунтовых условий и способа их создания.

Обработка мощных многофазных песков под лесные культуры, кроме сохранения противодефляционной устойчивости площади, должна быть ориентирована на максимальное накопление доступной влаги в толще отложений и на поверхности минерализованной ГВ. Эффективными будут многолетнее парование почвы и тщательная культивация ее в междурядьях молодых культур, создание их широкими кулисами и массивами [222, 223]. Так, только за четыре года поступления по 180-240 мм (по два года до посадки и после нее) в зоне аэрации почвогрунта и линзе ГВ под паровыми участками запаса влаги хватит на дополнительное питание насаждений сосны после смыкания крон в размере 30-50 мм/год в течение 15-30 лет (патент № 2559944 РФ). Это приведет к усилению роста, дифференциации древостоя, повышению его производительности, устойчивости и долговечности. В целях сокращения расхода влаги на эвапотран-спирацию и повышение качества культур междурядья не следует оставлять шире 3 м. Площадь питания деревьев в сомкнувшихся насаждениях необходимо увеличивать своевременным проведением прочисток и прореживаний.

На близководных песках широкие междурядья могут быть средством стимулирования развития горизонтальных корней и повышения устойчивости культур сосны к подтоплению.

Одним из приемов повышения долговечности хвойных насаждений может оказаться и создание смешанных культур сосны крымской и обыкновенной [228]. За счет более раннего созревания и отмирания последней начиная со среднего возраста, будет постепенно расширяться площадь и улучшаться условия водного питания деревьев темнохвойной сосны, что удлинит период их роста.

2.9. Лесопригодность близководных песков

Как уже отмечалось выше, в засушливых районах доступная для корней ГВ оптимизирует питание лесных экосистем, повышает их продуктивность, устойчивость к засухе и другим негативным воздействиям. Так, D. C. Reicosky и др. [431] установили, что корни, находящиеся вблизи уровня ГВ, поглощают влагу в 1000 раз интенсивнее, чем корни, расположенные в более высоких и сухих слоях почвы. А В. Н. Виноградов [44] сообщает, что на Нижнеднепровских песках после засухи 1957 г. в 1958 г. в культурах сосны на глубоководных боровых песках прирост составил 49,6, а на близководных – 107,4% от прироста предыдущего года.

Л. П. Брысова [30], Э. А. Репшас [321], В. И. Петров [300] и другие лучший рост древостоев на близководных местообитаниях объясняют улучшением не только их водного, но и минерального питания. Особенно заметно это проявляется на бедных кварцевых песках даже в условиях влажного климата. Так, Э. А. Репшас установил, что в насаждениях на приморских эоловых отложениях Южной Прибалтики сосна реагирует на глубину залегания ГВ повышением бонитета тем сильнее, чем беднее пески.

Однако степень положительного влияния ГВ на жизнь насаждений зависит от ее корнедоступности, т. е. от целого комплекса факторов.

А. Г. Гаель [84], И. С. Матюк и В. В. Миронов [243] отмечают, что корнедоступность ГВ зависит не только от глубины ее залегания, но и в значительной мере от гранулометрического состава и других физических свойств песков, наличия в них более влагоемких супесчаных и суглинистых прослоек.

Н. С. Зюзь [150] считает, что основным показателем, определяющим корнедоступность кварцевых песчаных грунтов (а, следовательно, и залегающей под ними воды – А. М.), является их твердость во влажном состоянии. По данным автора, в современном (50-80 лет) эоловом песке Придонья слои с предельным значением твердости для корней сосны (1,6-1,8 МПа) вскрываются с глубины 1,8-2,0 м, в котловинах выдувания 80-100-летнего возраста – 0,6-0,8 м. Твердость материнских древнеэоловых и древнеморских песков практически всегда выше этой величины. Под дерново-степными связнопесчаными почвами речных террас и зональными почвами Ергенинской возвышенности слой подстилающего песка критической твердости расположен уже на

глубине менее одного метра.

М. М. Дрюченко [157] обращает внимание на то, что на Нижнем Днепре на высоком бугре перевеянного средне- и мелкозернистого песка с содержанием ФГ от 0,77 до 1,97%, гумуса – от 0,15 до 0,27% и НВ = 3-4% корневая система сосны крымской быстрее углубляется (на 2,2-2,5 м против 1,50-1,75 м в течение 23 лет) в опушечной части насаждения, где отложения дополнительно увлажняются перераспределенными осадками.

R. O. Slatuer [437], E. I. Newman [427] также считают, что проницаемость корней обусловлена потенциалом и давлением влаги.

На приморских эоловых песках Южной Прибалтики Э. А. Репшас [321] вообще не обнаружил признаков торможения нисходящего роста корней сосны при твердости отложений до 65 кг/см^2 (6,5 МПа). Он считает, что в отличие от более плодородных песков засушливых районов в условиях влажного климата на бедных рыхлопесчаных отложениях проникновение корней в глубокие слои тормозит не твердость сложения субстрата, а отсутствие хемо- и гидротропизма.

В. И. Петров [300] установил, что в условиях Северо-Западного Прикаспия на почвогрунтах, где нисходящему росту корней не препятствуют непроницаемые экраны – импермацидный, солевой горизонты, твердые слои грунта – доступность ГВ ограничена содержанием в них элементов минерального питания. В случаях, когда оно превышает потребность насаждений, что отмечается при МГВ свыше 0,5-1,0 г/л, использование влаги из КК сопровождается ее осолонением и сокращением продолжительности жизни древостоев. Интенсивность денсации (биогенного соленакопления) снижается от насаждений лиственных пород, активно потребляющих ГВ, к насаждениям из ксерофитов, включая сосну.

В бугристых песках северных пустынь Арало-Каспия А. Г. Гаель [83, 84] предлагает считать доступной пресную ГВ при ее залегании на глубине укоренения растений в год посева или посадки за период до наиболее глубокого летнего иссушения верхнего слоя песка. Он убежден, что в этих условиях только контакт корней с ГВ с первого года жизни является гарантом получения высокой приживаемости лесных культур. По его мнению, при высоте КК 0,4-0,5 м оптимальный УГВ для посевов лежит в диапазоне 0,3-0,6 м, посадок – 0,6-0,9 м.

В ряде более поздних публикаций [94, 99, 415], посвящен-

ных опыту облесения Урдинского песчаного массива, высказывается мнение о том, что на песках полупустыни культуры сосны обыкновенной, ольхи черной, робинии могут существовать лишь по глубоким котловинам выдувания с уровнем пресной ГВ ближе 1,0-2,5 м.

О. В. Белевцева [18] рекомендует облесять котловины Урдинских песков при глубине ГВ менее 1,2-1,3 м лиственными породами, при более глубоком залегании – сосной. Вместе с тем она отмечает, что при уровне ГВ глубже 2 м сосняки растут медленно примерно до 15-летнего возраста. По ее данным, насаждения сосны в 33-37 лет имеют здесь средние показатели по диаметру на 5 см и высоте на 2 м меньше, чем при уровне ГВ 1,35 м.

На основании данных исследований в различных природных зонах, А. А. Молчанов [263] пришел к выводу о том, что для сосны на песках критической является глубина залегания ГВ 3,0-3,3 м. Мнения других исследователей существенно отличаются.

Так, А. И. Ахромейко [12] считает, что на полиминеральных песках Бузулукского бора ГВ практически не участвует в питании сосновых насаждений при залегании глубже 2,5-3,0 м. В. И. Рутковский [331], напротив, находит, что здесь она потребляется сосной с глубины до 6-7 м, А. Г. Гаель и Н. А. Воронков [88] – 5-6 м, а на однофазных кварцевых песках Придонья – только с глубины до 4,0-4,5 м.

Согласно Н. Ф. Кулику [178], на Терско-Кумских песках потребление ГВ лиственными породами (робинией, дубом черешчатым, осокорем) прослеживается при глубине ее залегания до 8-12 м, сосной черной 5-6 м, а его интенсивность определяется листовой нагрузкой, обеспеченностью осадками и теплом. В пределах одного района во влажные годы использование ГВ резко сокращается, а в сухие возрастает.

А. А. Молчанов [265], Л. П. Брысова [31], А. Г. Гаель и И. И. Судницын [95], Н. А. Воронков [62] приходят к выводу о прогрессирующем во всех географических условиях сокращении потребления ГВ сосновыми древостоями главным образом с увеличением глубины ее залегания.

Однако отрицательное влияние на лесопригодность песков оказывает и близкое залегание ГВ в связи с сезонными и многолетними колебаниями ее уровня. Высокий подъем ГВ приводит к сокращению мощности ризосферы, ухудшению ее аэрации, азот-

но-зольному голоданию деревьев и может вызывать их гибель [97, 157, 293, 296, 401 и др.].

Сосна считается породой относительно устойчивой к затоплению [82, 296, 322, 359, 401 и др.]. Вымокание ее насаждений на близководных песках отмечалось неоднократно [40, 296, 322, 359, 401], но происходило достаточно редко при затоплении корневой системы в период ее активного роста, когда вероятность подъема воды невелика. В Придонье это случается один раз в 40-50 лет [62]. Последние такие случаи произошли в 1991-1993 гг. в связи с высоким подъемом верховодки в вегетационный период.

Периодичность появления ("взрывы возобновления") и гибели леса на близководных песках степной зоны дали основание говорить о необходимости дифференцированной оценки роли ГВ для растений на различных этапах их жизни [62].

Таким образом, лесопригодность близководных песков засушливой зоны находится в строгой зависимости от глубины залегания и динамичности УГВ, ее минерализации, а также от плодородия, корнепроницаемости зоны аэрации почвогрунта и биологии лесообразователей. Оптимальная глубина залегания ГВ в разных природных зонах и для разных пород имеет свои нижний и верхний пределы.

Поскольку на аренах Юго-Востока в понижениях рельефа пресная ГВ, как правило, экранирована твердыми труднокорнепроницаемыми слоями кварцевого, олигоминерального или сравнительно грубозернистого полиминерального песка, важнейшим классификационным признаком их лесопригодности должна являться глубина залегания капиллярно-подпертой влаги, определяющая ее доступность в период приживания культур, смыкания и быстрого роста молодняков, другие критические периоды формирования и жизни полнотных насаждений.

2.9.1. Особенности роста культур сосны на близководных песках сухостепного Придонья

Исследования проводились на пологобугристо-увалистой равнине второй надпойменной террасы Арчедино-Донского песчаного массива с дерново-степной связнопесчаной почвой, подстилаемой кварцевым мелкозернистым древнеаллювиальным песком твердостью 2,0-3,0 МПа. Многолетняя норма атмосферных осадков составляет 380-400 мм/год, испаряемость 700-750 мм/год.

В 34-летнем полнотном (густота 2870 деревьев/га, сомкнутость полога 0,8-0,9) насаждении сосны обыкновенной, созданном в приозерной депрессии на пологом склоне западной экспозиции с перевеянной на глубину 20-30 см почвой, от восточной к западной опушке хорошо прослеживалось постепенное увеличение высоты древостоя с 6,5-7,0 до 16-19 м (рис. 12).

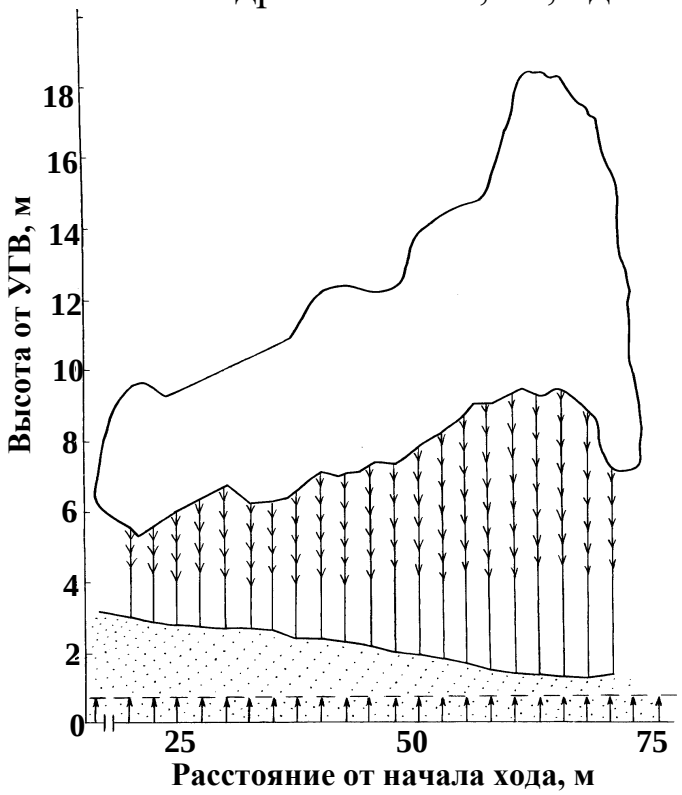


Рис. 12. Поперечный профиль 34-летнего насаждения сосны на пологобугристых песках второй надпойменной террасы Арчедино-Донского массива. Участок вблизи х. Козиновского, май 1993 г.

Изучение хода роста (табл. 20) показало, что в западных рядах при залегании ГВ на глубине 1,2 м усиленное развитие сосны началось с первых лет жизни. С ее погружением – позднее, а в восточных рядах, где ГВ на глубине около 3 м, деревья имели постоянно угнетенный рост, что свидетельствовало об их питании исключительно влагой атмосферных осадков. На графиках (рис. 13) видна закономерность: с определенного года (разного при разной глубине залегания ГВ) кривые хода роста модельных деревьев резко отходят вверх. Если этот год принять за возраст достижения корнями сосны уровня капиллярно-подпертой влаги, то окажется, что на преодоление сопротивления второго метрового слоя (с 1,0 до 2,0 м) кварцевого песка им потребовалось 4-5 лет, третьего – (с 2,0 до 3,0 м) около тридцати лет и этим возможности породы оказались практически исчерпаны.

Кривая нисходящего роста корневых систем деревьев ($У$, м) в восточной части насаждения имеет вид гиперболы, асимптотически приближающейся к своему пределу на глубине 2,8-2,9 м (рис. 14) и подчиняется уравнению

$$У = 2{,}8/1 - \exp(-0{,}289 - 0{,}186X),\ r = 0{,}99, \qquad (59)$$

где X – возраст дерева, лет.

Таблица 20

Высота деревьев в 34-летних культурах сосны на неполнопрофильной дерново-степной связнопесчаной почве при разной глубине залегания ГВ. Арчедино-Донской песчаный массив, участок вблизи х. Козиновского, 1993 г.

Модель		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
УГВ, см		298	284	273	263	246	234	209	202	182	150	139	125
Высота деревьев (см) в возрасте, лет	5	106	83	95	75	110	90	89	164	151	128	83	103
	10	227	260	280	258	310	365	425	559	539	521	420	510
	15	433	373	455	480	442	657	631	-	-	837	-	-
	20	506	470	651	581	591	-	-	-	-	1009	-	-
	34	670	650	750	800	840	1100	1150	1150	1240	1332	1710	1600

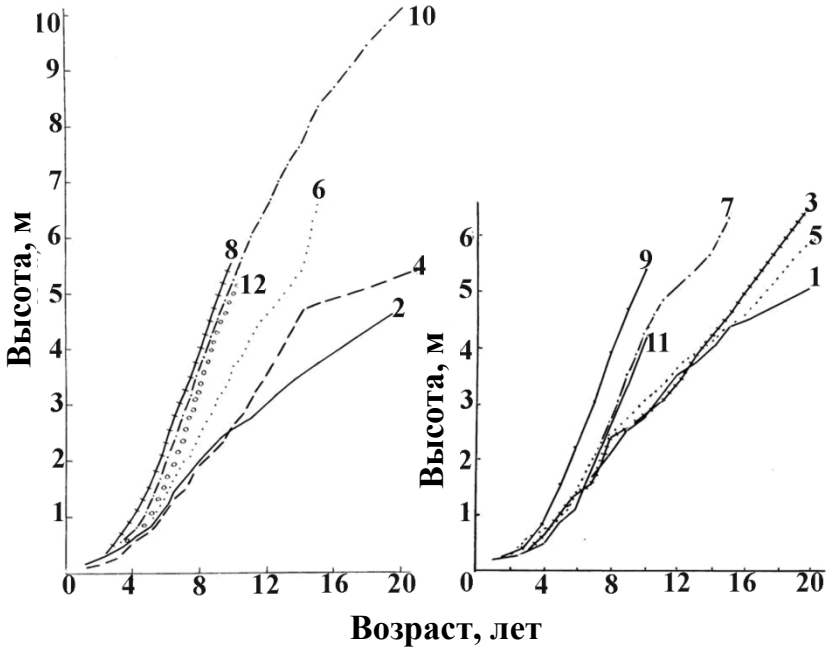


Рис. 13. Ход роста модельных деревьев сосны в насаждении вблизи х. Козиновского. Арчедино-Донской песчаный массив (1-12 – номер модели)

Таким образом, на кварцевом песке, где высота КК 0,5-0,7 м, при механизированной посадке сеянцев в борозды несомкнувшиеся культуры сосны могут использовать ГВ с глубины примерно до 1,5 м. В возрасте образования сомкнутого полога (на бедных песках – в 10-15 лет) и позднее – с 1,5-3,0, максимум 3,5 м. Более глубокое залегание ГВ делает ее малодоступной и для средневозрастных насаждений.

Однако наши исследования на Урдинском песчаном массиве, где твердость сложения перевеянного олигоминерального полевошпатово-кварцевого песка нарынов уже с глубины 0,5-0,6 м также превышает 20 кг/см^2 (рис. 15), показали, что кроме глубины залегания на корнедоступность ГВ влияет и рельеф участка. Так, раскопка корневой системы 16-летней самосевной сосны, растущей на крутом склоне высокого бугра северной экспозиции

с развитым покровом из типчака, вскрыла неожиданные закономерности ее строения (рис. 16).

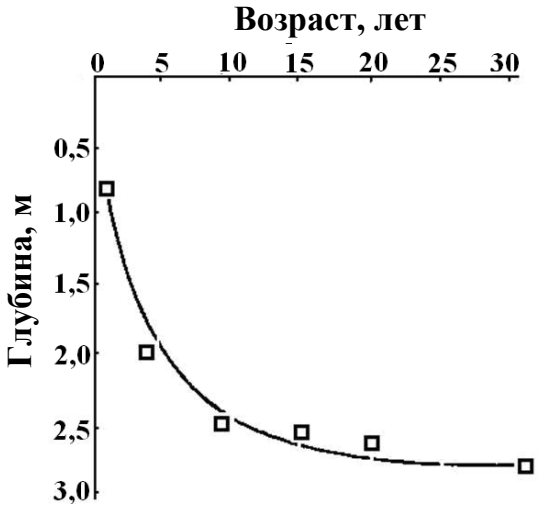


Рис. 14. Глубина проникновения корней сосны в толщу древнеаллювиального кварцевого песка в зависимости от возраста насаждения. Арчедино-Донской песчаный массив, х. Козиновский, 1993 г.

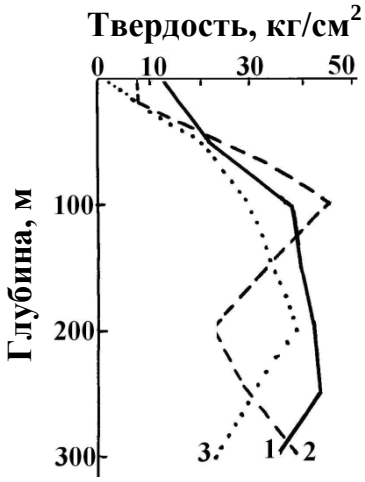


Рис. 15. Твердость песка под целинной растительностью на плоских буграх средней высоты. Урдинский песчаный массив: 1 – ур. Жаскус (25.06.92 г.), 2 – ур. Мечеть-Кум (07.10.92 г.), 3 – ур. Кандагаш (27.10.91 г.)

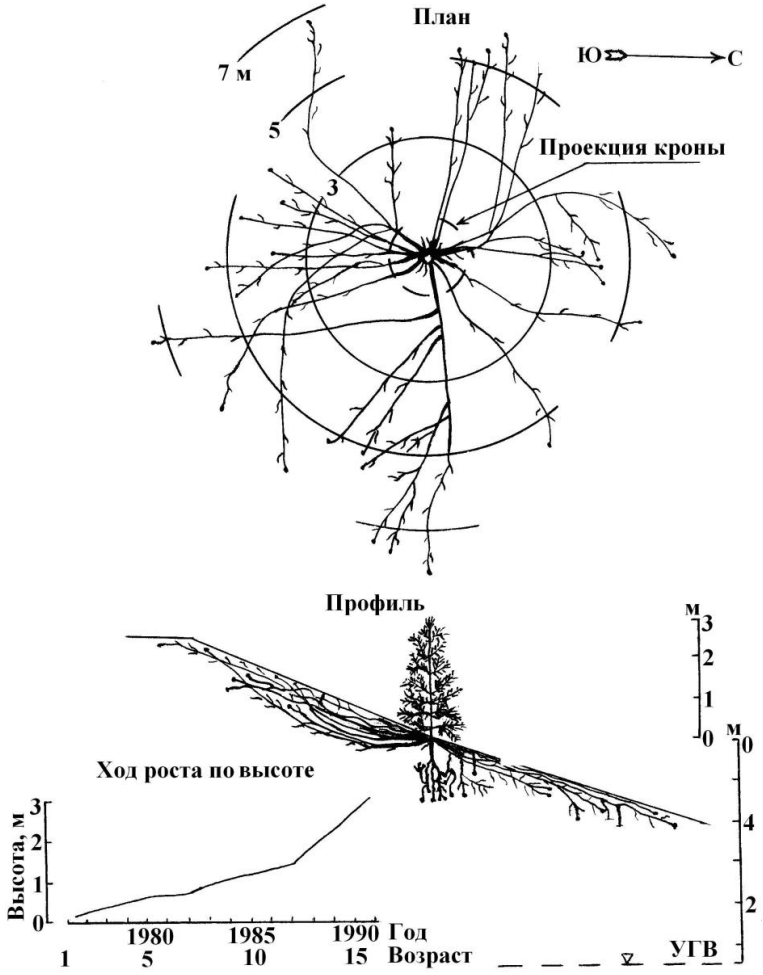


Рис. 16. Корневая система 16-летнего самосева сосны на северном склоне песчаного бугра. Урдинский массив. Ур. Кандагаш, октябрь 1991 г.

Стержневой корень у сосны оказался коротким, сбежистым. На глубине около 1,0 м он разветвлялся на многочисленные вертикальные отростки и заканчивался плоскими мочками ("метлами") всасывающих корней на глубине 140 см с признаками прекращения дальнейшего роста вниз. Основное развитие получили горизонтальные корни. Они были сосредоточены в слое 10-40 см и заметно тяготели к распространению вверх и поперек склона. Вниз по склону на расстояние более 7 м веерообразно простирались четыре хорошо развитых тяжа. По мере удаления от ствола деревца и приближения к влажной котловине от тяжей все более часто отходили вертикальные отростки якорных корней диаметром 3,5-2,0 мм, явно "нацеленные" достичь зоны капиллярного увлажнения ГВ.

При УГВ ниже горизонта основания дерева примерно на 5,5 м до 12 лет оно росло очень медленно и достигло всего 1,5-метровой высоты. После этого текущий прирост сосны резко усилился и стабилизировался на уровне 35-40 см в год. К 16-ти годам высота густо охвоенного деревца достигла 3 м, что свидетельствует о существенном улучшении его водного питания, которое могло произойти только за счет использования ГВ. Якорные корни сосны на 13-й год ее жизни на склоне бугра достигли КК (высотой 50-70 см) при залегании зеркала ГВ глубже 3,0-3,5 м. Это может свидетельствовать как о повышенной проникающей способности якорных корней, так и неоднородной плотности эоловых отложений, наличии в них рыхлых зон – "карманов", что позволяет опушечным деревьям колковых насаждений использовать близко расположенную к поверхности ГВ на значительном горизонтальном удалении от стволов – до 10-15 м. Таким образом, в небольших по площади близководных котловинах выдувания бугристых песков диапазон доступной для сосны глубины залегания ГВ расширяется до 3-4 м.

2.9.2. Рост и состояние лесных культур на близководных песках Волго-Уральской полупустыни

Одним из первых и наиболее интересных в познавательном отношении очагов лесокультурного освоения песков полупустыни является Урдинский песчаный массив, расположенный в северо-западной части Волго-Уральского междуречья.

Климат района резко континентальный, засушливый. Годовая норма осадков составляет 259 мм (150-350 мм) при испаряемости

750-800 мм и более. Летнее (неоднократное) иссушение песка достигает значительной глубины. Воздушные засухи (относительная влажность воздуха ≤ 30%) возникают с ранней весны – вскоре после схода снежного покрова. В апреле они повторяются в среднем 11-12, в мае – июне 37 раз. Сильные ветры наиболее вероятны в марте – апреле. Вместе с тем, температурный режим воздуха и почвы не препятствует жизни многих пород деревьев и кустарников.

К середине 20-х годов XX столетия на нескольких тысячах понижений в бугристых песках (нарынах) ручным способом было создано около 200 га лесных культур (в основном сосны). Уже в 10-15-летнем возрасте они привлекли внимание видных ученых-лесоводов и ботаников того времени и в последующем стали объектом детального изучения сотрудниками ВНИИ лесного хозяйства (Е. Д. Годневым, О. В. Белевцевой, А. П. Никитиной) и МГУ (А. Г. Гаелем, Л. П. Брысовой, Б. Г. Розановым и др.).

Наиболее обширные и глубокие исследования роста куртинно-колковых насаждений выполнены в период работы Песчаного отряда Комплексной экспедиции по полезащитному лесоразведению при Институте леса АН СССР (1951-1952 гг.) [84, 415].

Было установлено, что в 35-37-летнем возрасте насаждения сосны обыкновенной в основном относятся ко II и III классам бонитета с числом стволов от 250 до 7330 на 1 га. Средняя высота древостоев колеблется в широких пределах – от 4 до 14 м, средний диаметр 18-40 см, полнота 0,6-0,8, годичный прирост 1,1-5,7 $м^3$/га, запас от 120-260 $м^3$/га (I-II классы бонитета) до 40-90 $м^3$/га (IV и V классы бонитета).

Рост и состояние насаждений находятся в строгой зависимости от глубины залегания ГВ (в период исследования она вскрывалась на глубине 120-375 см) и площади питания деревьев. Насаждения I и II классов бонитета приурочены к УГВ 1,0-2,2 м с густотой древостоя 600-1600 дер./га. Увеличение густоты или понижение уровня ГВ сопровождается снижением бонитета насаждений. Густота древостоя не оказывает влияния на его высоту, а диаметр стволов по мере ее снижения увеличивается вплоть до редкого стояния деревьев.

В первые 5-7 лет, пока корни не достигли ГВ, сосна растет медленно, затем наступает период большого роста – до 25-30 лет, после чего прирост в высоту довольно резко замедляется, особенно в насаждениях высших классов бонитета. Лишь при нали-

чии в песке прослойки суглинка или погребенного гумусового горизонта этот период растягивается до 35-40 лет.

Наиболее толстомерные деревья с мощной односторонней низко опущенной кроной приурочены к опушкам колков. Деревья внутри колков более тонкие с короткой (в верхней трети ствола) сжатой кроной.

Для чистых колковых древостоев сосны характерно наличие 50-55% деревьев господствующих классов роста Крафта, повышенные полнодревесность [18] и разница в диаметре стволов. Лучше сосна растет в насаждениях с примесью почвоулучшающих пород – ольхи черной, робинии, лоха.

После сосны лучшей породой является ольха черная. При оптимальной глубине ГВ (около 1 м) и густоте древостоя ее чистые насаждения к 35 годам (возраст количественной и качественной спелости ольхи в местных условиях) накапливают 150-290 $м^3$/га стволовой древесины. Но ольха резче замедляет рост с увеличением густоты. Оптимум для нее составляет около 600 стволов на 1 га, против 1500-1600 у сосны.

Перечисленные особенности роста сосны и ольхи на близководных участках вызваны минеральной бедностью отложений. Поселение древесной растительности улучшает их физико-химические свойства, создает благоприятные условия для роста последующих поколений [30, 84, 104].

Наши исследования проводились в 1991-1994 гг., когда возраст большинства насаждений превысил 70-75 лет. Внимательный осмотр, исследование их роста на ПП в трех дачах (Жаскус, Кандагаш и Мечеть-Кум) выявили следующие общие признаки: ярко выраженный, усилившийся с возрастом "опушечный эффект" – большое преимущество в диаметре стволов и развитии кроны периферийных деревьев; постепенное уменьшение высоты, диаметра стволов, снижение сомкнутости полога и увеличение плотности живого напочвенного покрова во внутренней части насаждений – при движении от склонов бугров к центру вогнутых котловин; наличие полян-луговин в колковых древостоях, приуроченных к наиболее низким участкам котловин; при отсутствии рубки – высокая сохранность тонкомерных деревьев IV-V классов роста. Кроме этого, луговины в колках сосны особенно хорошо выражены в ур. Жаскус, где отложения состоят из более грубозернистого песка и ближе залегает ГВ. В ур. Кандагаш они малозаметны, а в ур. Ме-

четь-Кум с мелкозернистым и относительно влагоемким песком практически не просматриваются. Это свидетельствует о существенной неоднородности лесорастительных условий как внутри котловин, так и между котловинами нарынов разных урочищ, а также о высокой жизнеспособности сосны при корнедоступной ГВ и сильном боковом освещении. Перечисленные особенности должны учитываться при облесении бугристых песков.

Лучше растут колковые древостои сосны на плоских нешироких понижениях с УГВ в пределах 0,8-1,5 м (табл. 21). В 75 лет они имели среднюю высоту 17-22 м, запас стволовой древесины 300-400 м^3/га и сохраняли хорошее состояние. Однако в ур. Жаскус в наиболее ранних посадках крона деревьев приобрела притупленную форму и свидетельствовала о резком ослаблении их роста в высоту. В других урочищах вершины сосен еще оставались острыми.

Таблица 21

Таксационные показатели колковых насаждений на Урдинском песчаном массиве (1991-1992 гг.).

ПП, га	Почва	УГВ, м	Состав пород	Возраст, лет	Число стволов на 1 га	Д ср., см	Н ср., м	Полнота	Бонитет	Запас стволовой древесины, м^3/га	Ср. прирост, м^3/га
	Инициальная на рыхлом мелкозернистом оглеенном песке	*Ур. Кандагаш*									
1		0,8	10Оч	35	2370	12,6	12	0,8	III	170	4,9
0,093											
2		0,9	10С	75	975	22,7	17	0,5	III	306	4,1
0,124											
3		1,2	10Т	30	413	19,0	12	0,3	III	57	1,9
0,152											
4		1,3	10Аб	30	1070	15,4	10	0,6	IV	119	4,0
0,150											
		Ур. Жаскус									
5		0,6	10С	74	281	42,0	22	0,4	II	407	5,5
0,191											
		Ур. Мечеть-Кум									
6		1,4	10С	77	1086	24.1	18	0,7	III	440	5,7
0,070											

Так, в ур. Кандагаш модельное дерево, взятое в колке при уровне ГВ около 1,0 м, до 20-25 лет росло по IV классу бонитета, затем темп прироста в высоту у него заметно увеличился и с 25 до 30 лет оно росло по II, а с 30 до 40 лет даже по I бонитету. К 72 годам темп роста дерева в высоту понизился до II бонитета, но его резкого снижения не наблюдалось (рис. 17).

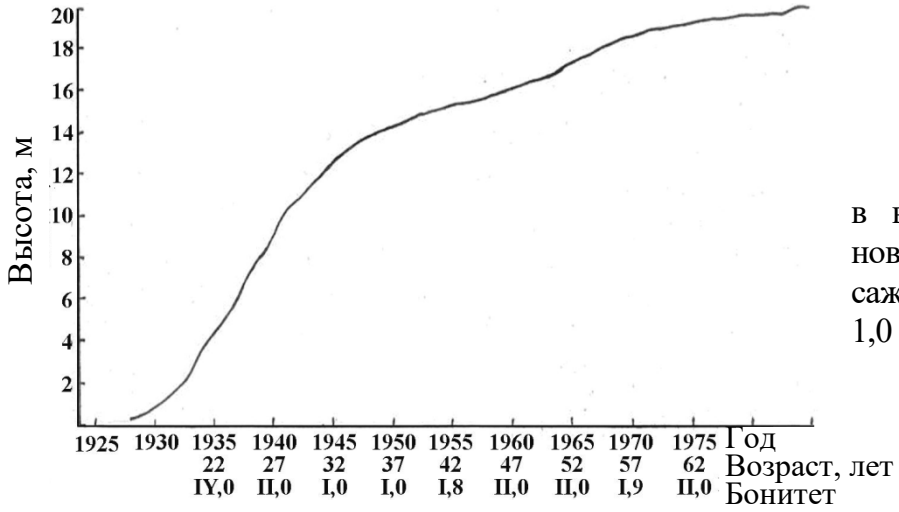


Рис. 17. Ход роста в высоту сосны обыкновенной в колковом насаждении при УГВ около 1,0 м. Ур. Кандагаш

В толщину относительно быстро (прирост до 5,2 мм), но с большими колебаниями, дерево росло до 47 лет. В дальнейшем величина и амплитуда радиального прироста у него неуклонно уменьшались (рис. 18), а абсолютный минимум (0,5 мм) пришелся на 72-й год жизни и, без сомнения, связан не столько с возрастом, сколько с флуктуациями погоды.

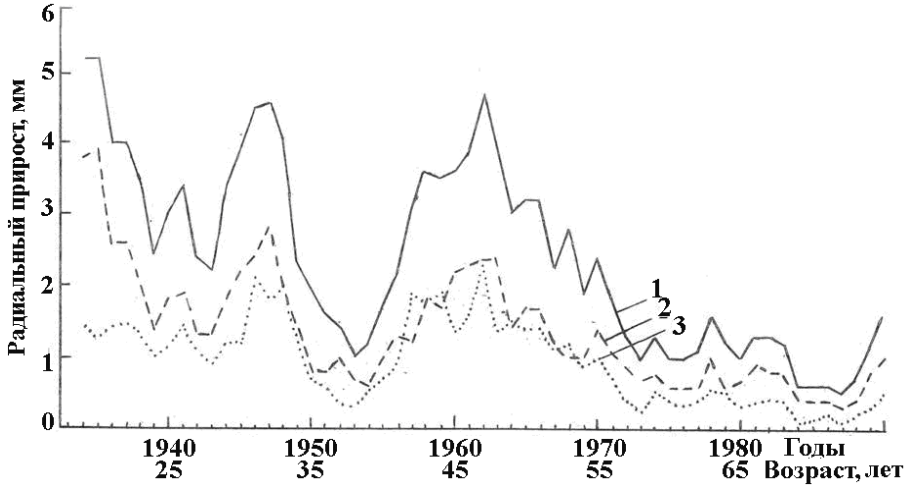


Рис. 18. Текущий прирост по диаметру сосны обыкновенной в колковом насаждении при УГВ около 1,0 м. Ур. Кандагаш:

1 – годичное кольцо; 2 – ранняя древесина, 3 – поздняя древесина

Статистический анализ свидетельствует о том, что при повышении уровня ГВ с 0,9 м (ур. Кандагаш) до 0,6 м (ур. Жаскус) у деревьев сосны почти вдвое увеличивается динамичность, на 5% сокращается средняя величина радиального прироста, на 12% – доля поздней древесины, т. е. ухудшается ее качество (табл. 22). В целом, в диапазоне глубины залегания ГВ 0,9-0,6 м с приближением ее к поверхности влагообеспеченность древостоя сосны улучшается (увеличивается доля ранней древесины) при одновременном росте ее нестабильности, что, по-видимому, объясняется более резкими колебаниями уровня верховодки и мощности деятельной части корневой системы.

Таблица 22

Статистические показатели радиального прироста (М, мм) сосны обыкновенной в колковых насаждениях на Урдинских песках

Объект	Показатель				
	М, мм	±m, мм	σ, мм	Р, %	С, %
Ур. Кандагаш, ПП2, УГВ = 0,9 м					
Годичное кольцо	2,35	0,18	1,33	7	56
Ранняя древесина	1,38	0,10	0,82	8	59
Поздняя древесина	0,97	0,08	0,60	8	62
Ур. Жаскус, ПП5, УГВ = 0,6 м					
Годичное кольцо	2,24	0,28	2,27	12	101
Ранняя древесина	1,60	0,22	1,84	14	115
Поздняя древесина	0,64	0,06	0,57	11	89

Иначе развивается древостой сосны в колках компактной формы. Так, в непройденном рубками густом (2940 живых и 1000 суховершинных и усыхающих деревьев на 1 га) 72-летнем насаждении, созданном на плосковогнутом понижении (54 х 37 м) с диапазоном уровня ГВ от 48 до 100-105 см (22 июня 1994 г.), средний диаметр стволов составил всего 10,6 см, а запас древесины около 150 м^3/га. При этом толщина деревьев в основной – внутренней части колка – колебалась в пределах 2-15 см (средняя 7,5 см) при средней высоте 7,5-8,0 м и крайне слабой сомкнутости полога, а его внешняя поверхность (при виде сверху) как бы увеличила крутизну вогнутой поверхности понижения. На приподнятых бортах понижения – в периферийной части насаждения – диаметр стволов сосны достигал 37-38 см, высота 12-14 м при высокой сомкнутости полога. Кривая нормального распределения деревьев по ступеням толщины (рис. 19) в этом насаждении имела большую правую асимметрию (положительную косость) и сложный характер.

Рис. 19. Распределение здоровых (1) и всей совокупности (2) деревьев сосны по 2-см ступеням толщины на высоте груди в чистом 72-летнем колковом насаждении на близководном плоском понижении ур. Кандагаш,1994 г.

Поскольку опушка оказывает влияние только на периферийные деревья, такое распределение толщины стволов обусловлено

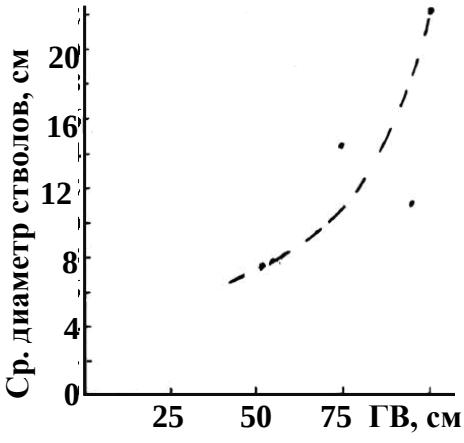


Рис. 20. Средний диаметр стволов сосны при различной глубине залегания ГВ в культурах 1922 г. Ур. Кандагаш, 1994 г.

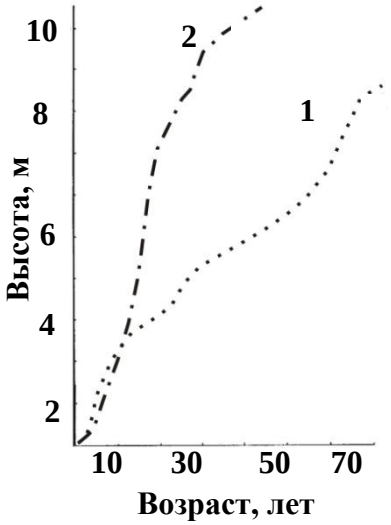


Рис. 21. Ход роста в высоту модельных деревьев в центре насаждения (1) и вблизи опушки (2). Культуры сосны 1922 г. Ур. Кандагаш, 1994 г.

в основном вертикальной мощностью ризосферы (x, м) (рис. 20).

В диапазоне мощности 0,5-1,0 м ее влияние на диаметры подчиняется степенной функции

$$Y = (6{,}32x)^{1{,}79} \text{ при } r = 0{,}85. \qquad (60)$$

Рост деревьев в высоту (рис. 21) на участках с глубиной ГВ около 0,5 м резко замедляется уже с 10-12 лет, а при более высоком стоянии воды он прекращается и сосна постепенно отмирает, уступая место луговинам.

В смешанных насаждениях благотворное влияние на сосну почвоулучшающих пород прослеживается на протяжении многих десятилетий даже на относительно плодородных песках. Так, в юго-западной части ур. Мечеть-Кум в 80-летнем (1994 г.) насаждении (кулиса длиной 100 и шириной 25-30 м) при УГВ около 1 м и подеревном смешении с робинией (2,13 х 0,71 м) средняя высота сосны составила 20-25 м, средний диаметр – 30 см (до 50 см), число стволов около 700 шт./га, запас древесины – 400 м^3/га.

Опушечный эффект не просматривается. Робиния порослевого происхождения имела высоту 5-8 м. Она неоднократно отмирала под пологом сосны и явно не мешала ее развитию и в молодом возрасте.

В этом же урочище по котловинам с ГВ не глубже 1 м полнотные древостои образуют ольха черная, робиния, тополь нарынский. В качестве примеси хорошо растут яблоня китайская, груша обыкновенная, шелковицы белая и черная, боярышник однопестичный, лох узколистный, карагана (см. прилож. 1). Это позволяет рекомендовать перечисленные породы для создания лиственных колков, а почвоулучшающие – для смешанных с сосной насаждений с целью повышения ее бонитета. Высаживая породы-почво-

улучшители в наиболее пониженных участках котловин в окружении рядов сосны [319], можно добиться улучшения ее роста во внутренней части колков, а во внешнем поясе насаждений он стимулируется близостью опушки. Чем больше и компактнее площадь облесяемой котловины, тем актуальнее применение такого приема. В узких вытянутых понижениях хорошее развитие колковых древостоев сосны обеспечивают прилегающие необлесенные участки.

Без почвоулучшения хороший рост имеет сосна на периферии нарынов (на границе с ашиками и приаренными землями), где КК близкой ГВ увлажняет останцы размытых хвалынских суглинков и глин. Так, на северо-восточной окраине ур. Мечеть-Кум при залегании хвалынских отложений на глубине 0,5-1,0 м и уровне ГВ 1,3-1,8 м в возрасте 75-80 лет (1994 г.) она достигла высоты 16-18 м, среднего диаметра стволов внутри колка 24 см, на опушке 40-45 см.

2.9.3. Классификация лесопригодности средне-высокобугристых песков Урдинского песчаного массива

Материалы инструментальной съемки рельефа четырех ключевых участков (прилож. 18) позволяют подразделить фрагменты поверхности мезорельефа нарынов на 4 класса лесопригодности, отличающиеся по удобству выполнения и целесообразности лесокультурных работ:

1. Безусловно лесопригодные – мелкоконтурные (50-5000 $м^2$), наиболее низкие участки межбугровых понижений с уровнем ГВ на глубине до 1,5 м, где корневые системы саженцев сосны быстро достигают КК, хорошо приживаются и растут с первых лет жизни;

2. Лесопригодные – вогнутые контуры рельефа с уровнем ГВ на глубине 1,5-3,5 м (преимущественно вытянутые борта межбугровых понижений, площадью от 0,05 до 2,0, в среднем 0,4-0,5 га), где сосна достигает КК ГВ в основном до полного смыкания культур;

3. Ограниченно лесопригодные участки – склоны высоких бугров, бугры и гряды средней высоты с уровнем ГВ 3,5-5,5 м (ограниченно доступной или недоступной для корней сосны вследствие высокой твердости сложения песка), где возможно выращивание узкокулисных, сильно разреженных на атмосферном водном питании, а при устройстве корнеходов – полнотных древостоев сосны;

4. Нелесопригодные участки – вершины и верхние фрагменты склонов высоких бугров и гряд с уровнем ГВ глубже 5,5 м, где

облесение невозможно или нецелесообразно по технологическим и экологическим соображениям.

Подсчеты на ключах свидетельствует о том, что Урдинский песчаный массив имеет резерв лесопригодных земель свыше 30 тыс. га. Так, в ур. Жаскус площадь участков с уровнем ГВ менее 3,5 м составляет около 75%, ур. Кандагаш – 47, ур. Мечеть-Кум – 43% (табл. 23) и дает возможность выбора под облесение наиболее удобных участков. Даже в самых облесенных местах нарынов эта площадь использована лишь на 25-33%, что примерно соответствует условиям безопасной деформации гидрологического режима песчаного массива и формирования продуктивных лесоохотничьих угодий (см. гл. 7).

Таблица 23

Распределение территории нарынов Урдинского песчаного массива по глубине залегания УГВ

Урочище	Площадь ключей, га/%	Доля участков (га/%) с УГВ, м			
		до 1,5	1,5-3,5	3,5-5,5	> 5,5
Жаскус	5,60/100	1,71/30,5	2,51/44,8	1,03/18,4	0,35/6,3
Кандагаш	13,86/100	1,49/10,7	5,02/36,2	4,40/31,8	2,95/21,3
Мечеть-Кум	3,35/100	0,24/7,2	1,21/36,1	1,51/34,3	0,75/22,4

Полученные данные свидетельствуют о том, что лесопригодность близководных понижений на песках засушливой зоны лимитируется прежде всего низкой минеральной обеспеченностью и твердостью подстилающих отложений, препятствующих нисходящему росту корней, использованию грунтовой влаги, которая в этих условиях оказывает повышенное влияние на приживаемость, адаптацию культур и скорость роста молодняков.

В древнеаллювиальном кварцевом песке вертикальный рост корней сосны обыкновенной замедляется с возрастом и к 30 годам заканчивается на глубине около 3 м.

На бедных однофазных песках сухой степи и полупустыни Русской равнины устойчивый рост полнотных насаждений сосны обеспечивается при глубине залегания пресной ГВ 0,8-3,5 м. Понижения с глубиной воды менее 1,5 м следует относить к безусловно лесопригодным, от 1,5 до 3,5 м – лесопригодным. Участки поверхности рельефа с уровнем верховодки 3,5-5,5 м являются ограниченно лесопригодными, ниже 5,5 м – нелесопригодными.

На бугристых олигоминеральных песках полупустыни при уровне верховодки 0,5-0,8 м полнотные сосняки страдают от не-

достатка химических элементов питания и нуждаются в наличии примеси почвоулучшающих пород или изреживании. На площадях с более высоким уровнем ГВ сосна вымокает и уступает место травостою. Размеры образующихся луговин зависят не только от вертикального строения котловин, но и динамичности уровня воды. Чем ниже влагоемкость зоны аэрации песков, тем большую площадь занимают луговины.

Участки с доступной для сосны грунтовой влагой составляют 40-70% площади Урдинских нарынов, что создает условия для управления лесистостью и выбора форм использования их территории. Лучшие условия для роста монокультур этой породы складываются при глубине ГВ в диапазоне 0,8-2,5 м. При большей глубине быстро снижается ее доступность, меньшей – объем ризосферы полнотных насаждений и ее способность удовлетворять потребность деревьев в минеральной пище. Дефицит в минералах возникает сразу после освоения корнеобитаемой толщи уже в конце первого – во втором десятилетии жизни культур и при слабой дифференциации деревьев должен понижаться изреживанием молодняков, а отчасти и путем более редкой посадки. Очевидно, что в чистых колковых насаждениях густота должна быть неравномерной – уменьшаться от периферии к центру понижений.

В котловинах выдувания негативное влияние близкого залегания ГВ и густоты древостоя на его таксационные показатели возрастает с увеличением требовательности используемых пород к плодородию КС.

2.10. Облесение и водный баланс нарынов

Поскольку полнотные древостои в полупустыне могут существовать только при дополнительном водном питании за счет ГВ, по соображениям нежелательного изменения гидрологического режима песчаного массива, а также по наличию близководных понижений, А. Г. Гаель [84] считал возможным довести лесистость нарынов Урдинского массива до 6-10%, О. В. Белевцева [18] – 15, Е. Д. Годнев [104] – 15-20%.

Исследования на ключевых участках (см. прилож. 18) и других объектах позволили установить следующее.

Травянистый покров нарынов в основном состоит из типчака (овсяницы). К нему примешивается осока колхидская, моло-

чай, юринея, козлобородник, цмин (см. прилож. 1) и другие с урожаем надземной массы в воздушно-сухом состоянии в благоприятные по увлажнению годы 4-6 ц/га (табл. 24). В засушливые годы он не превышает 1-2 ц/га. Так, после острой засухи 2010 г. в середине мая 2011 г. почти все элементы рельефа бугристых песков оставались практически голыми (рис. 22). На дефлируемых вершинах и склонах осыпания (3-5% площади) растительность состоит из полыни песчаной, вейника и кияка (от 1,0 до 7-10 ц/га). В наиболее глубоких котловинах, чаще совместно с деревьями и кустарниками, растут тростник, вейник, солодка.

Таблица 24

Надземная масса (кг/м^2) растительного покрова нарынов Урдинского песчаного массива. Июнь 1991 (ур. Кандагаш) и 1992 гг.

Растение	Ур. Жаскус		Ур. Кандагаш	
	сырая	воздушно-сухая	сырая	воздушно-сухая
Сосна обыкновенная:				
хвоя	1600	0,770	1,750	-
Тополь нарынский:				
листья	1300	0,557	0,500	0,215
побеги d ≤ 15 мм	1,690	-	-	-
Ива каспийская:				
листья	0,982	0,460	0,293	0,121
побеги d ≤ 15 мм	3,740	-	1,291	-
Ива розмаринолистная:				
листья	1,090	0,422	0,547	0,202
побеги d ≤ 15 мм	3,060	-	0,668	-
Джузгун безлистный:				
листья и семена	1,260	0,330	-	-
побеги d ≤ 15 мм	2,950	-	-	-
Травостой	0,114	0,590	0,099	0,056

Древесная растительность представлена культурами сосны обыкновенной, черной ольхой, тополем нарынским, ивой каспийской и розмаринолистной, джузгуном безлистным. Иногда встречаются порослевая робиния и лох узколистный. Насаждения этих пород, за исключением джузгуна, в основном приурочены к котловинам выдувания. Одиночные деревья и небольшие куртины низкорослого (засыпанного песком) кривоствольного тополя, а также кусты ивы каспийской нередко встречаются на склонах и вершинах бугров. Джузгун местами образует довольно обширные заросли из угнетенных невысоких кустов.

Естественная лесистость нарынов неодинакова по отдельным

Рис. 22. Состояние травянистого покрова нарынов Урдинского песчаного массива. Ур. Кандагаш, середина мая 2011 г.

урочищам, но в среднем без учета кустарников она не превышает 1%, по площади урочищ с кустарниками и в связи с облесением изменяется от 1,0-1,7 (необлесенные участки) до 15-20% (с культурами сосны), что, по-видимому, существенно приближается к оптимуму (табл. 25, рис. 23).

Таблица 25

Породный состав насаждений и лесистость нарынов Урдинского песчаного массива в 1991-1992 гг.

Ключевой участок	Порода	Занятая площадь, га	Лесистость, %
1	2	3	4
1 ур. Кандагаш	Тополь нарынский	0,052	0,97
	Ива каспийская	0,028	0,52
	Ива розмаринолистная	0,010	0,18
	Джузгун безлистный	0,002	0,04
	Лох узколистный	0,001	0,02
	Итого	0,093	1,73
	Ассоциации трав	3,620	-
	Всего	5,351	-
2 ур. Кандагаш	Сосна обыкновенная	1,240	14,59
	Тополь нарынский	0,070	0,82
	Ива каспийская	0,030	0,35
	Ива розмаринолистная	0,005	0,06
	Джузгун безлистный	0,040	0,47
	Итого	1,358	16,29
	Ассоциации трав	6,616	-
	Всего	8,500	-
3 ур. Жаскус	Сосна обыкновенная	0,540	9,60
	Тополь нарынский	0,070	1,30
	Ива каспийская	0,030	0,50
	Ива розмаринолистная	0,070	1,30
	Джузгун безлистный	0,010	0,20
	Итого	0,720	12,90
	Ассоциации трав	4,880	-
	Всего	5,600	-

Продолжение табл. 25

1	2	3	4
4 ур. Мечеть-Кум	Сосна обыкновенная Тополь нарынский Ива каспийская Ива разморинолистная Джузгун безлистный Итого Ассоциации трав Всего	0,473 0,164 0,004 0,002 0,010 0,653 2,697 3,350	14,10 4,90 0,10 0,06 0,30 19,46 - -

Рис. 23. Общий вид облесенного сосной участка бугристых песков в ур. Кандагаш (ключ 2). Урдинский песчаный массив, сентябрь 1991 г.

Расчеты водного баланса нарынов, выполненные на основании приведенных данных и многолетней нормы осадков (табл. 26), свидетельствуют о том, что при естественной лесистости (ключевой участок № 1) годовой инфильтрационный сток атмосферной влаги (дебит ГВ) составляет около 100 мм. При повышении лесистости до 13 (ключ № 3) и 16% (ключ № 2) его величина сущест-

Таблица 26

Водный баланс (мм водного слоя) бугристых песков (нарынов) Урдинского песчаного массива

Элемент баланса	Ключевой участок		
	1	3	2
Осадки (многолетняя норма)	259,0	259,0	259,0
Физическое испарение	–98,4	–104,2	–101,5
Транспирация:			
травостоем	–55,0	–51,4	–46,8
насаждениями лиственных пород	–4,7	–8,9	–4,3
сосновыми колками	-	–30,7	–49,6
Гравитационный сток	–104,3	–63,3	–56,8
Осадки, 1991 г.	404,6	404,6	404,6
Эвапотранспирация	–154,7	–195,7	–202,2
Гравитационный сток	–246,6	–208,9	–201,8

венно сокращается. Если за допустимый водный баланс территории принять нулевой гравитационный сток, то влаги атмосферных осадков (с учетом уничтожения растительного покрова при производстве лесных культур и исключения расхода влаги на 15-20 мм) хватит для обеспечения полнотных насаждений сосны не менее чем на 30-35% занятой ими площади, а с учетом необходимости использования лиственных пород – 25-30%. Такая норма лесистости позволяет освоить лишь половину лесокультурного фонда в ур. Жаскус, около 80% в ур. Мечеть-Кум и дает возможность выбирать под посадку леса межбугровые понижения, наиболее подходящие по лесорастительным условиям и доступности техники.

Отметим, что при расчетном допустимом уровне лесистости в засушливые годы будет происходить перерасход грунтовой влаги, снижение УГВ.

Так, наблюдения в шести скважинах, заложенных в урочищах Жаскус и Кандагаш, показали, что на участках с общей лесистостью 13-16% под 75-80-летними колками сосны при глубине залегания весной 0,5-1,0 м УГВ к осени 1994 г. понизился на 57-60 см. Это в два раза больше, чем под естественными травостоем и 1-2-летними культурами сосны на свободных от леса (лесистость до 2%) участках нарынов, и означает, что с увеличением нагрузки на площадь активно десугирующими насаждениями депрессионные воронки в зеркале ГВ начинают взаимодействовать. Горизонтальное перераспределение влаги (подток из-под открытых участков) замедляется и происходит общее понижение зеркала.

Можно прогнозировать, что при 30% площади под сосной в засушливые годы снижение уровня воды приблизительно будет достигать 70-75 см (рис. 24, функция 61), и соответствовать исполь-

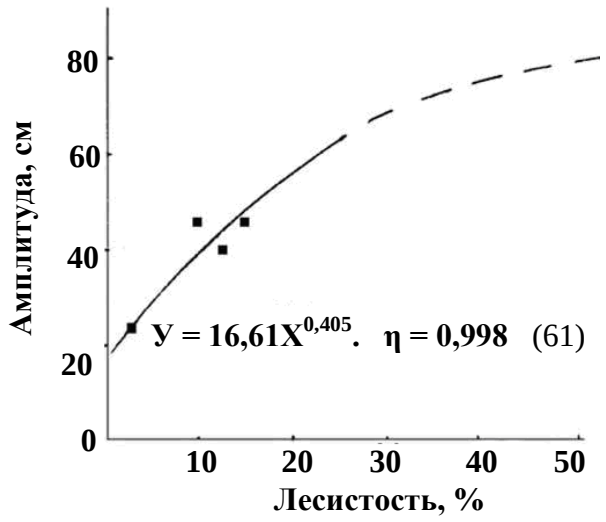


Рис. 24. Амплитуда сезонных перепадов УГВ при различной лесистости (*X*) ландшафтов бугристых песков Урдинского массива

зованию почти 280-300 мм ее слоя. Но в обеспеченные осадками годы потребление грунтовой влаги насаждениями будет уменьшаться, а запасы верховодки восстанавливаться или увеличиваться, как, например, было в 1991 г., когда вертикальный сток атмосферных осадков на открытых участках достигал 250 мм, на облесенных – 200 мм и более (см. табл. 26).

Имеются также основания полагать, что приведенные расчеты несколько занижают величину инфильтрации, поскольку не учитывают возможность ручейкового стока осадков с бугров и склонов в близководные понижения, где происходит ускоренное просачивание влаги в ГВ. Нам неоднократно приходилось наблюдать такой сток при летних ливнях величиной 10-30 мм. При этом на склонах образуются водороины, а в депрессиях рельефа эфемерные (на 1-2 часа) озерца.

Об интенсивности и годовом потреблении влаги из ГВ колковыми древостоями сосны ориентировочно можно судить и по суточной пульсации их уровня. Так, по нашим наблюдениям в июне 1992 г. на гидрологических площадках в 70-летнем сомкнутом древостое сосны с запасом сырой хвои около 18 т/га понижение уровня ГВ носило ступенчатый характер (рис. 25). Это явилось следствием двух причин: суточного изменения интенсивности потребле-

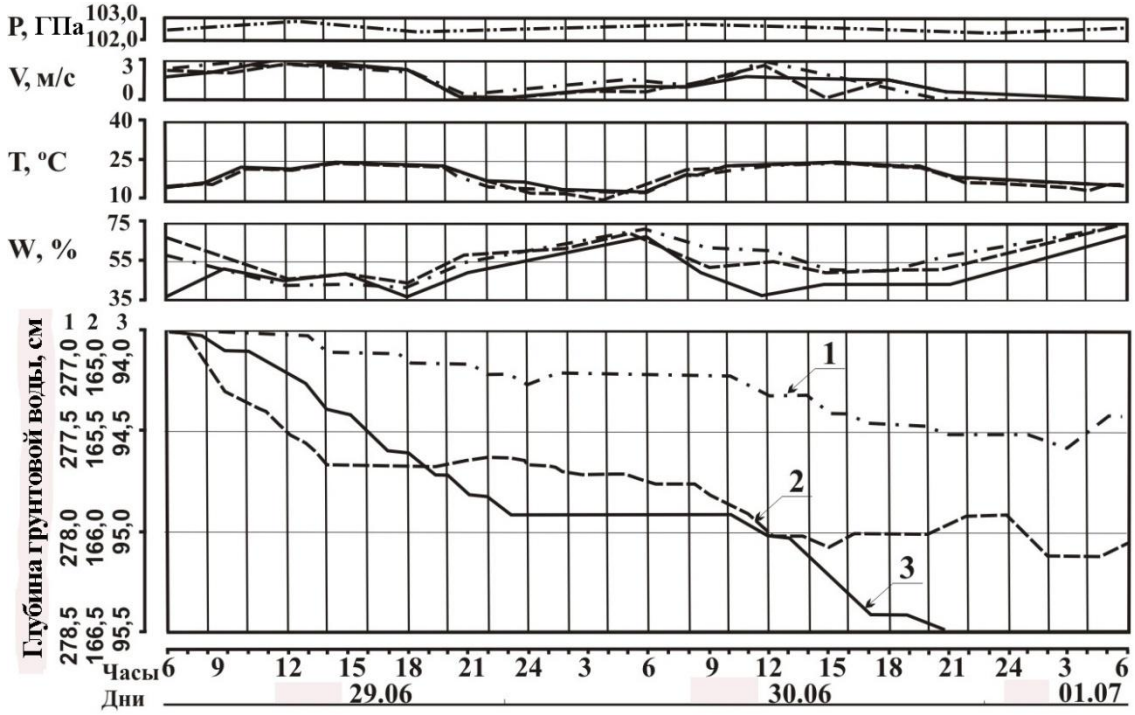


Рис. 25. Микроклимат и суточная пульсация ГВ на различных экотопах бугристых песков ур. Кандагаш (ключевой участок 2): 1 – склон бугра, 2 – необлесенная котловина, 3 – колок сосны. P – атмосферное давление, V – скорость ветра, T – температура воздуха, W – относительная влажность воздуха

ния воды насаждением и почти полного отсутствия бокового притока влаги в слабое депрессионное поле, обусловленного выравниванием зеркала ГВ под различными элементами рельефа благодаря выпадению осадков накануне наблюдений.

За двое суток с теплой сухой средневетреной погодой понижение уровня составило 15 мм или было израсходовано 6 мм водного слоя. При очень благоприятной для транспирации напряженности метеофакторов за май – сентябрь продуктивный расход грунтовой влаги сосновым колком мог составить 459 мм. Эта величина, безусловно, значительно завышена. Она на 63 мм больше даже суммарного (из почвы и ГВ) продуктивного испарения, определенного [62] для таких же насаждений, произрастающих в степных и лесостепных районах. Тем не менее, ее можно использовать для очень осторожной оценки уровня допустимой лесистости близководных песков аридной зоны. Получается, что при такой интенсивности водопотребления нулевой водный баланс Урдинских нарынов наступит при облесении сосной свыше 20-25% их площади.

Под необлесенными склонами бугров и понижениями с мощностью зоны аэрации более 1,5 м и естественным травостоем снижение уровня ГВ вызвано боковым оттоком влаги во влажные котловины с плотным растительным покровом.

Наблюдения показали также, что в полупустыне на испарение с крон спелых полнотных колковых сосняков расходуется, как и в массивных насаждениях степной зоны, около 30% влаги осадков теплого периода (табл. 27).

Таблица 27

Распределение осадков теплого периода 1992 г. на различных экоморфах бугристых песков ур. Кандагаш

Дата наблюдения	Местоположение осадкомера		
	бугор	сосновый колок	необлесенная котловина
30.04	33,0	19,1	33,0
16.05	3,1	0,6	3,1
25.05	16,5	10,2	16,5
13.06	15,9	7,0	15,9
26.06	4,3	2,8	5,3
27.06 после дождя	31,0	26,2	28,3
29.06	1,8	0,5	2,0
30.07	53,5	43,3	53,5
14.08	9,5	6,4	9,5
18.09	31,9	25,5	31,9
04.10	25,9	13,8	25,5
5.10	2,7	2,4	2,4
Сумма осадков, мм	229,1	157,8	226,9
% от осадков на открытом бугре	100,0	68,8	99,0

3. ЛЕСОКУЛЬТУРНОЕ ОСВОЕНИЕ БУГРИСТЫХ ПЕСКОВ ПОЛУПУСТЫНИ

Высокобугристые (бугристо-котловинные) пески являются единственным крупным резервом лесопригодных земель засушливого пояса Евразии [238] и очагами зарождения лесокультурного опыта в полупустыне в конце XIX в. Под впечатлением успеха Нарынского лесничества в период реализации "Плана полезащитного лесоразведения…" (1949-1953 гг.) на Астраханских песках Первая Прикаспийская экспедиция Агролеспроекта (1951 г.) обосновала создание 40 тыс. га насаждений сосны промышленного значения, на Урдинском песчаном массиве (около 500 тыс. га, в т. ч. 100 тыс. га бугристых песков) Вторая Прикаспийская экспедиция разработала проект мероприятий по облесению 50% его площади. В 1951-1952 гг. здесь проводил упомянутые ранее исследования Песчаный отряд Комплексной экспедиции по полезащитному лесоразведению при Институте леса АН СССР. Несмотря на это, лесомелиоративное освоение песчаного массива долго сдерживали узколокальный подход к облесению котловин, основанный на создании насаждений только по участкам с УГВ не глубже 1,25 м, ручное производство и низкая результативность лесокультурных работ [83, 84].

По свидетельству очевидцев, при культивировании сосны осенью песок перештыковывали лопатой лентами шириной 0,5 м. В ранневесенний период в течение 8-12 дней после схода снега почву выравнивали граблями и вручную высаживали 2-летние сеянцы из собственного питомника (семена сосны завозили из Воронежской губернии). Густота посадки составляла 7-10 тыс. растений/га при ширине междурядий около 2,0 м (схема размещения посадочных мест 2,0 х 0,5-0,8 м). Почву в культурах за лето 2-3 раза обрабатывали мотыгами в течение 3-5 лет. В наиболее засушливые годы саженцы поливали. Культуры ольхи создавали в основном посевом, путем разбрасывания семян ранней весной (по последнему снегу) без предварительной обработки почвы. Главным бичом культур являлось засекание саженцев песком в периоды суховеев [104].

По этой и другим причинам планы масштабного облесения

песков полупустыни оказались не осуществленными. "В Нарынском лесничестве удалось облесить не более 1,5-2,5%, а в Большебарсукском 1,0-1,5% общей площади. Культуры приживались лишь по близководным котловинам меж бугров и только после многоснежных зим с высоким (до 0,6-1,0 м от поверхности дна котловин) подъемом уровня пресной ГВ (где КК выходит на дневную поверхность, а саженцы не страдают от недостатка влаги и сильного переноса песка – А. М.)" [415]. Главный вывод – культуры следует закладывать не ежегодно, а только в годы с наиболее высоким стоянием ГВ [99]. Для создания полноценных насаждений в первые годы жизни за ними необходимо вести уходы (прополку, дополнение, прочистку, прореживание) [30].

С целью расширения и повышения эффективности лесомелиоративных работ сотрудниками ВНИАЛМИ (вместе с автором работали Н. С. Зюзь, В. И. Кондрашов и Н. А. Прозоров) при активном участии главного лесничего лесхоза Б. К. Жунисова в 1991-1994 гг. на Урдинском песчаном массиве, наряду с изложенными выше лесогидрологическими исследованиями, проводились и лесокультурные эксперименты. С применением современной техники и различных приемов в ур. Кандагаш на нескольких десятках гектаров посажены и успешно прижились опытные культуры сосны обыкновенной, крымской, лиственных пород. Результаты этих исследований опубликованы в ряде статей и практических рекомендациях [216, 219, 229, 319], что освобождает от необходимости их подробного описания. Ниже кратко приводятся основные итоги этой работы.

3.1. Погодные условия периода исследований

Наиболее благоприятным по увлажнению был 1990/91 ГГ (табл. 28, прилож. 19), в течение которого выпало около 156% многолетней нормы атмосферных осадков. Их наибольшее количество пришлось на ноябрь, январь и апрель – июль, что обеспечило глубокое весеннее промачивание песка и регулярное обильное летнее увлажнение ризосферы культур. Тем не менее, относительно высокие (на 1,5-2,0°С в среднемесячном исчислении) температуры воздуха в апреле, мае, июле, августе и сентябре приводили к возникновению довольно продолжительных периодов с атмосферной засухой (рис. 26) усиливающей эвапотранспирационный расход влаги.

Таблица 28

Суммы осадков (мм) в районе Урдинского песчаного массива за годы лесокультурных исследований

Год	Ноябрь – март	Апрель – октябрь	Гидрологический год
Многолетняя норма	95	164	259
1990/1991	112	292	404
1991/1992	85	179	264
1992/1993	107	205	312
1993/1994	94	95	189

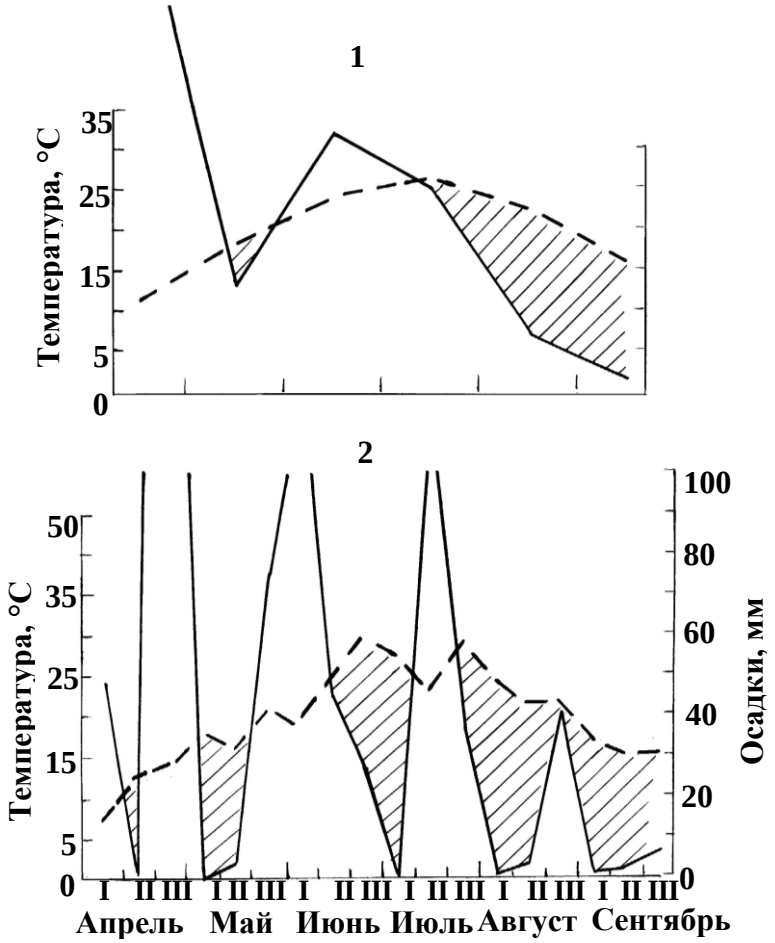


Рис. 26. Климатограмма засушливости апреля – сентября 1991 г. по данным метеостанции Урда, построенная по методике Г. Вольтера [67] на основании среднемесячных (1), среднедекадных (2) (с утроенными осадками) показателей погоды (– – – температура, ——— осадки, ▽ – засушливый период; I, II, III – декады месяца)

В 1991/92 ГГ характер погоды был близок к норме. В первую половину вегетационного периода по сухости воздуха он существенно превосходил предыдущий (рис. 27). Негативной особенностью года была также повышенная температура воздуха (до 15-20°С) и скорость ветра (до 15-18 м/с) в период создания культур (в начале апреля), что приводило к быстрому пересыханию на глубину 5-7 см взрыхленного слоя песка, эоловой перестройке рельефа посадочных борозд, засыпанию и последующей гибели глубоко посаженных сеянцев сосны.

1992/93 ГГ был на 20% влажнее среднего. После глубокого промачивания песка осенне-зимними осадками запасы влаги по-

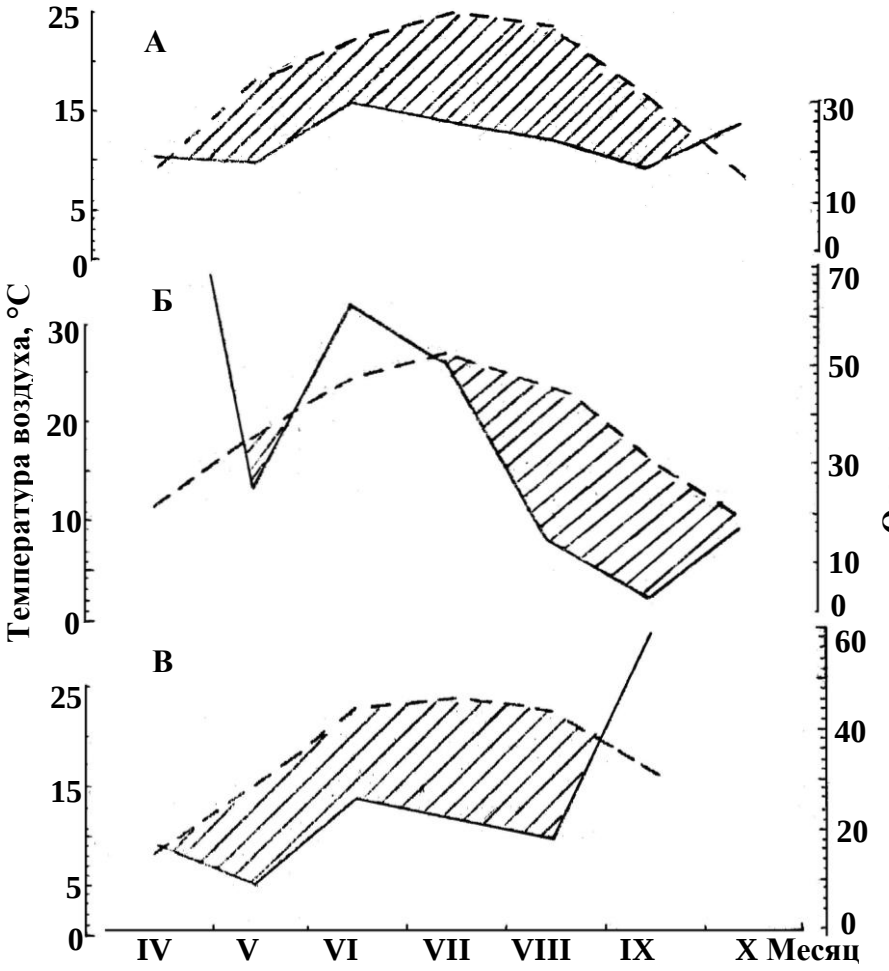


Рис. 27. Климатограмма за апрель – октябрь, по данным Урдинской метеостанции. А – многолетние данные, Б – 1991 г., В – 1992 г. (– – – температура, ——— осадки, засушливый период)

полнялись регулярно выпадавшими с апреля по сентябрь дождями, что вместе с относительно нежаркой погодой способствовало хорошей приживаемости и росту культур, буйному развитию трав, что, по-видимому, явилось основной причиной массового размножения пруса итальянского (*Callptamus italicus* L.). В июне того гидрологического года насекомые нанесли большой урон растительному покрову, в т. ч. и 1-2-летним культурам сосны.

1993/94 ГГ, напротив, был острозасушливым. Осадков выпало на 27% меньше нормы. В апреле и сентябре дождей практически не было. В июле – августе влаги выпало вдвое меньше нормы при температуре воздуха близкой к средней многолетней. В период посадки культур (10-15 апреля) стояла теплая (днем 15-17°С) солнечная погода с умеренным юго-восточным ветром. Послепосадочный и позднелетне-осенний периоды этого года были сухими, ветреными и неблагоприятно влияли на приживаемость и развитие саженцев.

Таким образом, разные по увлажнению и другим условиям годы исследования повышают достоверность результатов лесокультурных экспериментов.

3.2. Водный режим зоны аэрации бугристых песков

Исследование влажности песчаных отложений проводилось в ур. Кандагаш в течение четырех лет на экологическом профиле длиной 210 м. С востока на запад он пересекал замкнутое близководное понижение, склоны бугров, песчаную гряду высотой 8 м и еще одно понижение с минимальной глубиной ГВ 70-80 см (рис. 28).

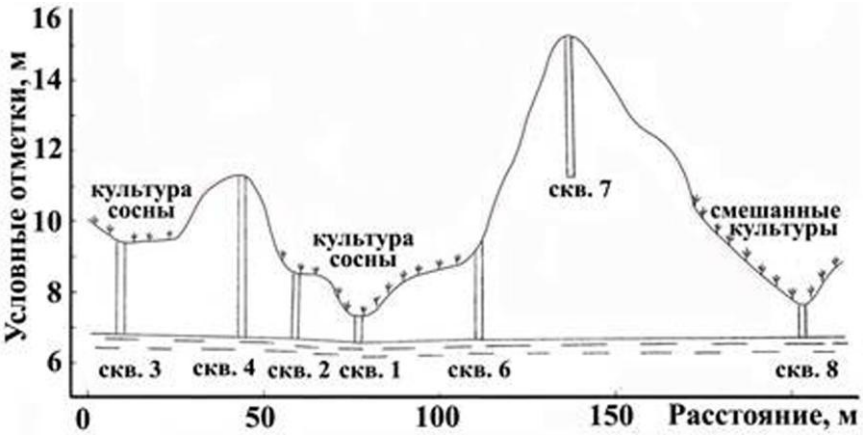


Рис. 28. Инструментальный экологический профиль ключевого участка № 1 (схема режимных площадок 4-летнего наблюдения за влажностью песка и УГВ)

Полученные материалы свидетельствуют о том, что все элементы рельефа нарынов имеют промывной водный режим и являются зонами питания ГВ. Исключение составляют межбугровые депрессии, занятые лесом или лугом, в которых в вегетационный период происходит частичная разгрузка грунтовой влаги. Открытые близководные понижения, где концентрируются снег и сток ливневых осадков, имеют интенсивно-промывной водный режим. Наиболее благоприятные условия для создания культур формируются ранней весной, а при теплой влажной погоде и осенью. Выпадающие в ноябре – марте 80-100 мм осадков ликвидируют осенний дефицит влажности верхнего 1-2-метровом слоя (табл. 29). В годы наблюдений весенние запасы влаги в песке даже на высоком бугре не опускались ниже 61-66% НВ и благодаря выпадению дождей в первой половине вегетационного периода имели тенденцию к увеличению (прилож. 20-22, рис. 29).

При отсутствии увлажнения ГВ верхнего слоя (за пределами выпотных котловин) летнее полное иссушение песка достигает глубины 30-40, в особо засушливые периоды – 50 см, причем может происходить уже в июне и вызывать отпад саженцев с поврежденной и слабомочковатой корневой системой. Но осадки теплого периода (в среднем 2/3 годовой суммы) периодически увлажняют песок и в понижениях пополняют ГВ. Тем не менее, просыхание верхнего слоя,

Таблица 29

Весенние запасы (*I*) продуктивной влаги (мм) и степень насыщения влагой (*II*) зоны аэрации (над КК), % от НВ. Ур. Кандагаш, 1991 г.

Слой почвогрунта, см	Дно выпотной котловины	Плоское повышение в котловине	Невысокий бугор в котловине	Подножие высокого бугра	Вершина среднего бугра	Вершина высокого бугра
			I			
0-100	188,2	66,5	65,5	49,0	59,3	67,2
100-200	-	183,0	51,8	68,2	60,8	54,0
200-300	-	-	-	13,1	47,6	41,3
300-400	-	-	-	-	42,5	45,0
400-820	-	-	-	-	-	18,.2
			II			
0-100	100,0	98,5	97,0	72,6	87,8	99,6
100-200	-	88,1	95,9	101,0	90,1	80,0
200-300	-	-	-	77,5	70,5	61,2
300-400	-	-	-	-	63,0	66,7
400-820	-	-	-	-	-	66,0
УГВ, см	74,0	180,0	252,0	272,0	457,0	894,0

Примечание. НВ = 4,5%

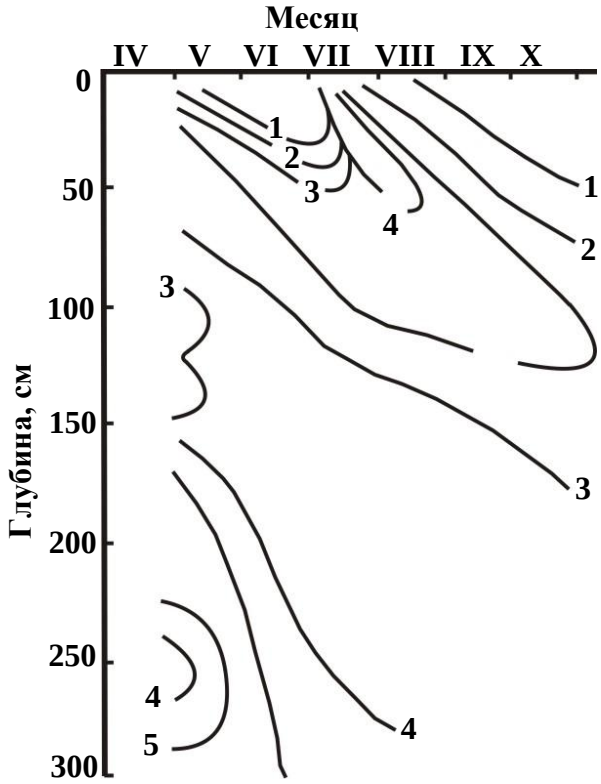


Рис. 29. Хроноизоплеты влажности песка на вершине высокого бугра в течение вегетационного периода 1994 г. Ур. Кандагаш

где сосредоточены корни саженцев сосны в год посадки, прогрессирует к осени (см. рис. 29) и ликвидируется в октябре – ноябре после выпадения 20-30 мм и более осадков, характерных для этих месяцев. Однако до наступления устойчивых заморозков осенняя влагозарядка песка происходит не ежегодно.

Лучше увлажняется осадками и быстрее просыхает верхний 1,0-1,5-метровый слой отложений на плоских возвышениях и склонах высоких бугров с хорошо развитым покровом из типчака, тонконога, юринеи, цмина и других трав. Медленнее заряжаются влагой и просыхают слабозаросшие вершины высоких бугров (табл. 30).

Таблица 30

Динамика валовых запасов влаги (мм) в слое 0-300 см высокого песчаного бугра. Ур. Кандагаш (ВЗ = 0,3-0,5%)

Дата	Вершина	Восточный склон	Западный склон
2 апреля 1991 г.	180	-	-
8 апреля 1992 г.	142	209	170
1 июля 1992 г.	164	163	182
4 октября 1992 г.	154	122	177
10 апреля 1993 г.	169	198	227
2 июля 1993 г.	204	208	199
14 апреля 1994 г.	166	186	176
25 июня 1994 г.	152	137	152
18 сентября 1994 г. (в слое 0-170 см)	52	43	41

Из песчаной толщи зоны аэрации, расположенной ниже КС, в теплый период непрерывно идет гравитационный отток влаги, создавая картину вертикальной миграции (сверху вниз) увлажненного осадками горизонта. Но локальное (слоями) иссушение песка не опускается ниже 50% НВ и снова увлажняется дождями.

Осадки холодного периода не всегда обеспечивают сквозное промачивание большой толщи песка. В годы с повышенной и средней суммой весенне-летних осадков (как в 1991-1993 гг., когда за апрель – август выпало соответственно 274, 99 и 145 мм при норме 121 мм) оно происходит в теплый период, вызывая инфильтрационный подъем ГВ на 10-30 см.

Лучший водный режим имеют понижения с ГВ ближе 1,5 м. За счет частого сквозного промачивания зона аэрации отложений даже под густой травянистой и древесной растительностью в них почти постоянно хорошо увлажнена. Пополнение грунтовой влаги обеспечивается здесь и подтоком воды в десуктивные депрессии из-под слабо задернелых песчаных повышений и бугров (рис. 30).

В открытых понижениях уже после сравнительно небольших летних дождей наблюдается заметный подъем ГВ. А в 1994 г. несколько недель спустя после осадков величиной 10-15 мм, выпавших в начале мая, во второй половине июня и в первой декаде июля даже под сомкнутой куртиной 75-летней сосны отмечалось явное замедление сезонного понижения или небольшой подъем уровня верховодки (рис. 31).

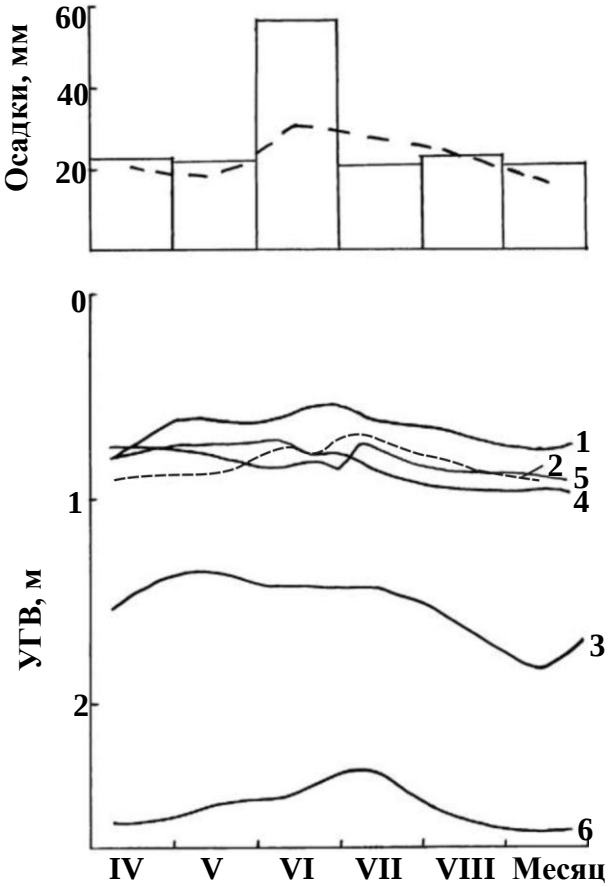


Рис. 30. Динамика УГВ в бугристых песках ур. Кандагаш: 1, 2 – в глубоких котловинах с культурами сосны 1991-1992 гг.; 3 – в открытой неглубокой котловине; 4 и 5 – во взрослом сосново-ольховом и сосновом колках; 6 – под плоским невысоким бугром в котловине, 1993 г.

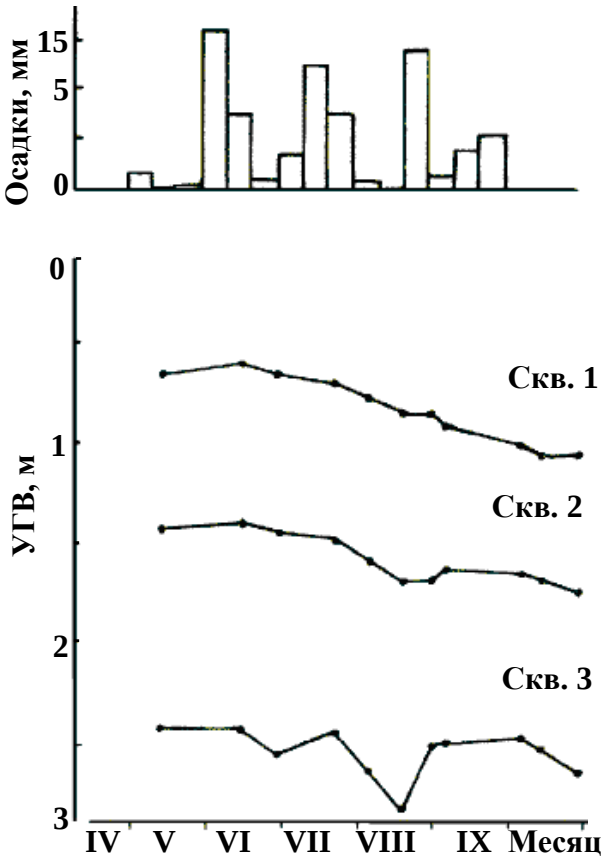


Рис. 31. Динамика УГВ на ключевом участке № 2: в колке сосны VIII класса возраста (1), в безлесном понижении (2), на склоне бугра (3), 1994 г.

3.3. Результаты лесокультурных экспериментов

Опытно-производственные работы на нескольких десятках гектаров котловин в 1991-1994 гг. показали приемлемую маневренность посадочного агрегата из гусеничного трактора класса 30 кН (ДТ-75, Т-74, "Казахстанец") и навесной машины МЛУ-1, оборудованной удлиненным по вертикали сошником и дерноснимами с шириной захвата 1,0 м. В условиях сложного рельефа при нестрогом соблюдении направления рядов он позволяет осваивать фактически всю площадь понижений с корнедоступной ГВ (табл. 31, рис. 32). Лесопосадочная машина обеспечивает удаление дернины и подсохшего слоя песка толщиной 7-15 см, рыхление отложений на глубину 35-45 см и выполаживание поверхности облесяемых участков по оси рядов посадки.

Таблица 31

Полнота использования площади лесокультурного фонда бугристо-котловинных песков при механизированной посадке насаждений. Ур. Кандагаш, 1992 г.

УГВ, м	Площадь лесокультурного выдела, га	Закультивированная площадь, га	Использование площади, %
< 3.5	0,28	0,25	89,3
> 3.5	0,30	0,02	6,7
Всего	0,58	0,27	46,6

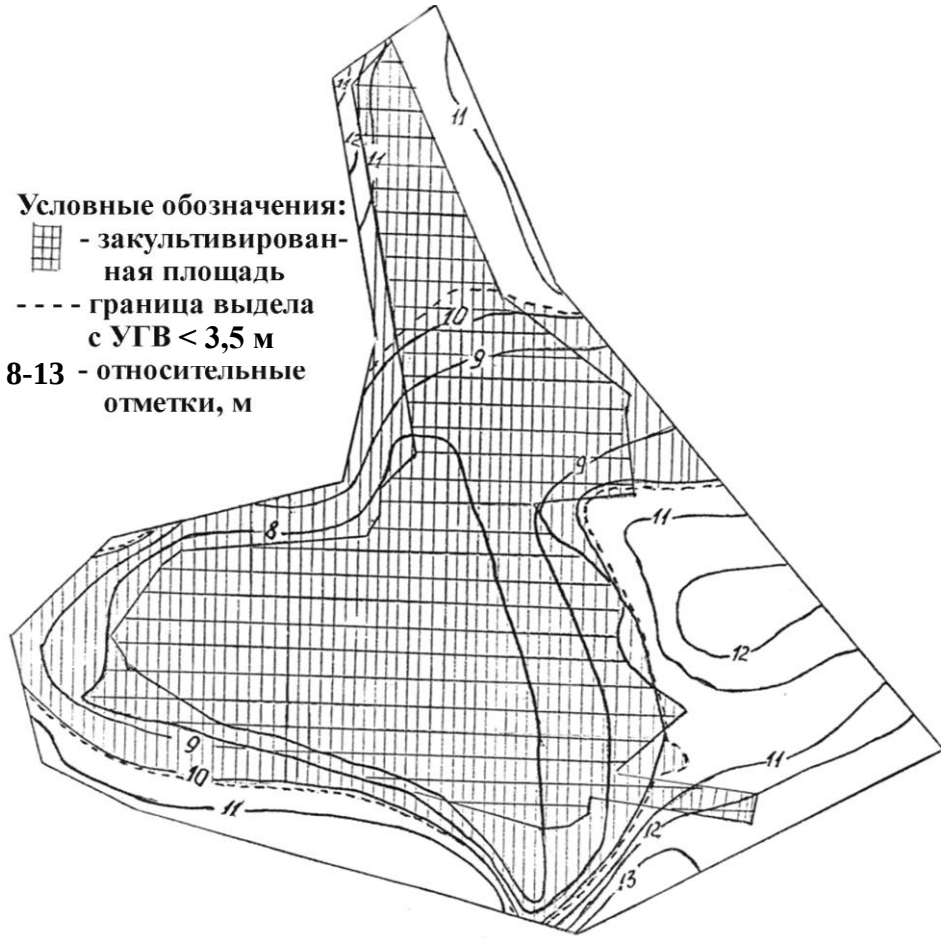


Рис. 32. Использование лесокультурного фонда нарынов Урдинского песчаного массива при механизированной посадке культур. Ур. Кандагаш, 1992 г.

При работе агрегата нарезаются борозды шириной 1,6-1,8 м и высаживаются 1-2-летние сеянцы. Клинообразные дерноснимы комбинированной машины легко подрезают и отбрасывают в стороны даже плотную дернину трав в "мокрых" котловинах, а также кусты ивы розмаринолистной, средние и мелкие кусты ивы каспийской, порослевины тополя высотой до 1,5-2,0 м. При медленном зарастании борозд травами это позволяет обходиться без предварительной раскорчевки кустарников, очистки котловин, проведения агротехнических уходов и существенно упрощает лесокультурный процесс. Однако слабая задернелость и низкая несущая способность песчаного грунта вызывают необходимость строгой регламентации машинных работ. В целях предупрежде-

ния усиления дефляции, заноса борозд песком здесь нежелательны ширина междурядий менее 2 м и повторная машинная посадка культур ранее, чем через 3-4 года после неудачного приема.

Для закладки опытных культур сосны в 1991 г. (31.03-01.04) использовались 2-летние сеянцы из питомника Урдинского лесхоза, имевшие низкое качество. Они были выращены в загущенных посевах. Средний диаметр корневой шейки сосенок составил 2 мм, высота – 6-15 см. Их слаборазвитые корни были переплетены между собой. При извлечении из пучков в процессе посадки значительная часть всасывающей фракции обрывалась. В период посадки сеянцы хранились в кузове автомашины на слое сырой соломы под брезентом.

В 1992 г. хорошо развитые 2-летние сеянцы сосны были завезены из питомника Калачевского лесхоза Волгоградской обл. Они транспортировались и хранились переслоенными снежной крошкой в специальных дюралевых контейнерах, изготовленных отделом механизации ВНИАЛМИ.

В 1993 и 1994 гг. сеянцы того же возраста среднего качества были получены в питомнике Арчединского лесхоза Волгоградской обл. До посадки они хранились в снеговой куче, в период посадки – в кузове автоприцепа, переслоенные снегом и соломой.

Одно-двулетние сеянцы лиственных пород брали из питомников Урдинского лесхоза (весной 1991 г.) и Волгоградского ОПХ ВНИАЛМИ (осенью 1991 г.).

Сосну высаживали чистыми культурами в понижениях и на нижних склонах бугров с различной глубиной залегания ГВ. Лиственные породы (весной и осенью 1991 г. и весной 1992 г.) – в низинах с УГВ не глубже 3 м.

Осмотр и учет приживаемости культур 1991 г. подтвердили мнение о том, что при облесении низковлагоемких песков аридной зоны на адаптацию сеянцев в год посадки большое негативное влияние оказывает атмосферная засуха (табл. 32).

В культурах сосны прослеживалась четкая связь приживаемости сеянцев с глубиной залегания ГВ, т. е. зависимость от контакта корневой системы с КК сразу после посадки (рис. 33). Их интенсивный отпад шел в течение всего вегетационного периода, несмотря на наличие до самой осени доступной влаги уже с глубины 15-25 см и высокой влажности второго полуметрового слоя (рис. 34).

Основной причиной гибели саженцев был дисбаланс между интенсивностью десукции и испарением влаги их вегетативными органами. В жаркую погоду засушливых периодов второй половины

Таблица 32

Приживаемость (%) опытных и опытно-производственных культур в 1991 г. Ур. Кандагаш

ПП	Порода	УГВ, см	Учтено сеянцев, шт.	Сроки учета							
				20 июня				13 сентября			
				здоровые	сомнительные	погибшие	приживаемость	здоровые	сомнительные	погибшие	приживаемость
1	Сосна	75-90	53	62,3	22,6	15,2	73,6	34,0	15,1	50,9	41,6
2	-"-	180	51	35,2	17,7	47,1	44,1	7,8	2,0	90,2	8,8
3	-"-	250	55	23,6	6,4	60,0	31,8	0	0	100,0	0
4	-"-	100-300	299	42,1	15,1	42,8	49,7	8,4	2,0	89,6	9,4
4	Смородина золотая	-"-	289	83,0	3,1	13,9	84,6	22,1	4,8	73,1	24,5
4	Дуб	-"-	127	89,0	4,7	6,3	91,4	7,1	1,6	91,3	7,9
4	Клен татарский	-"-	101	93,2	6,0	0,8	96,2	6,0	2,6	91,4	7,3
4	Лох	-"-	113	61,9	10,6	27,5	67,5	10,6	1,8	87,6	11,5
6	Смородина золотая	60-100	194	76,3	5,7	18,0	69,2	52,1	6,7	41,2	55,5
6	Лох	60-100	165	66,1	12,1	21,8	72,2	48,5	1,8	49,7	49,4
7	Ручная посадка сосны*	20-50	92	87,0	5,4	7,6	89,7	70,6	8,7	20,7	75,0
8	Робиния	190-200	46	89,1	6,5	4,4	92,4	43,5	2,2	54,3	44,6
8	Абрикос	-"-	22	81,8	4,5	13,7	84,1	4,5	4,5	81,0	6,8

*Примечание. *Посадка под меч Колесова по сырым участкам котловин с обкладкой саженцев полуразложившейся хвойной подстилкой.*

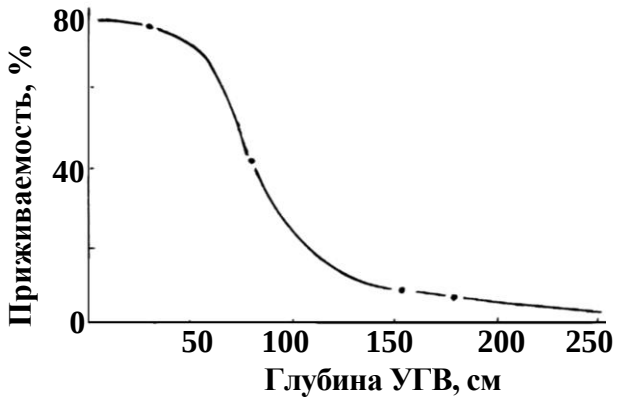


Рис. 33. Зависимость приживаемости культур сосны от УГВ на песках Урдинского массива в 1991 г.

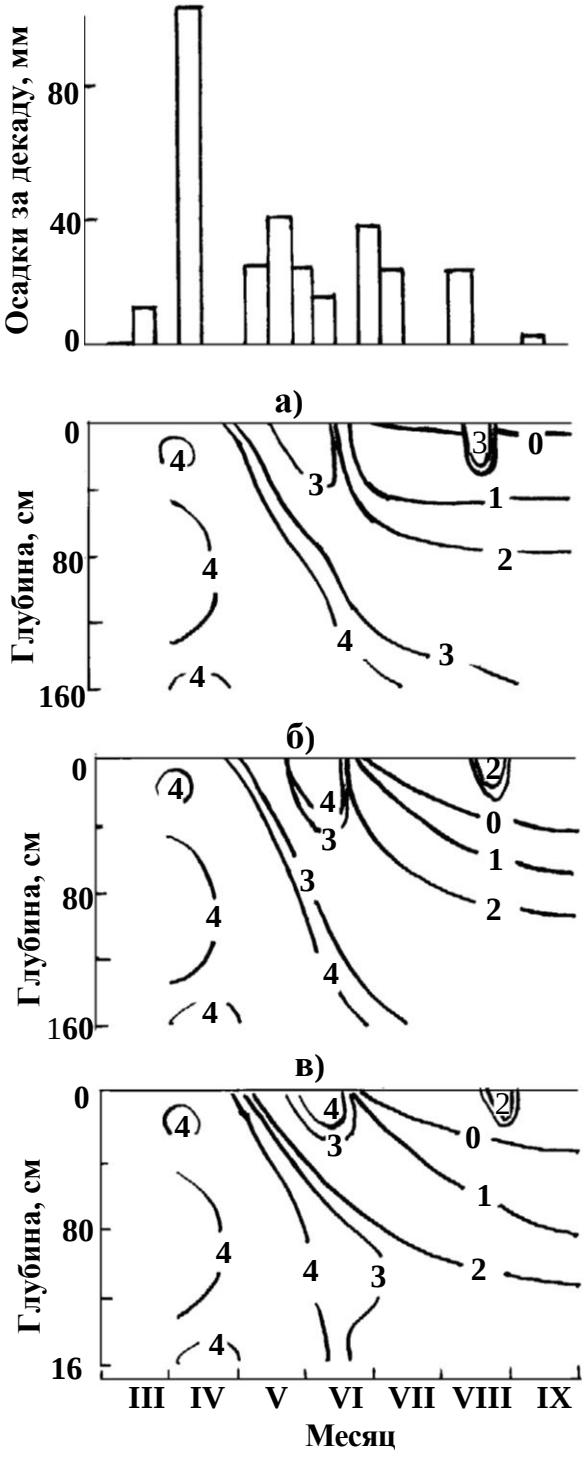


Рис. 34. Хроноизоплеты содержания доступной влаги (%) в почве опытных культур сосны: а) в ряду (борозда МЛУ-1), б) в междурядье, в) на целине. Ур. Кандагаш, 1991 г.

лета усыхали даже те сосенки, корневая система которых уходила глубоко во влажный песок.

Раскопки показали, что гибли в основном растения с небольшим объемом ризосферы (менее 2 дм^3) вследствие отсутствия мочковатых корней (рис. 35). Но при большом охвате песка (18,5 дм^3, в т. ч. влажного 8 дм^3) они успешно развивались даже при неглубоком укоренении (рис. 36). Такие сосенки в количестве 50-100/га имели хорошее состояние и на высоких элементах рельефа (рис. 37.)

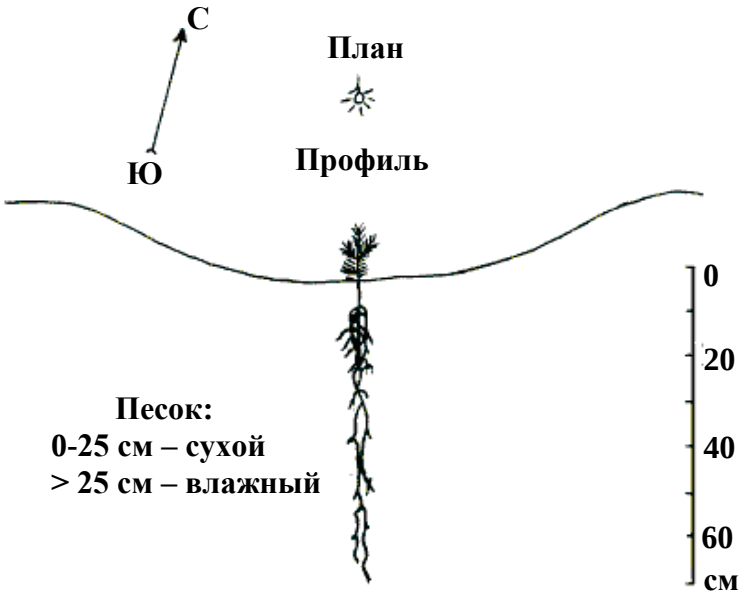


Рис. 35. Корневая система погибшего саженца сосны в культурах 1991 г. на западном склоне бугра при УГВ 3,8 м. Ур. Кандагаш, сентябрь 1991 г.

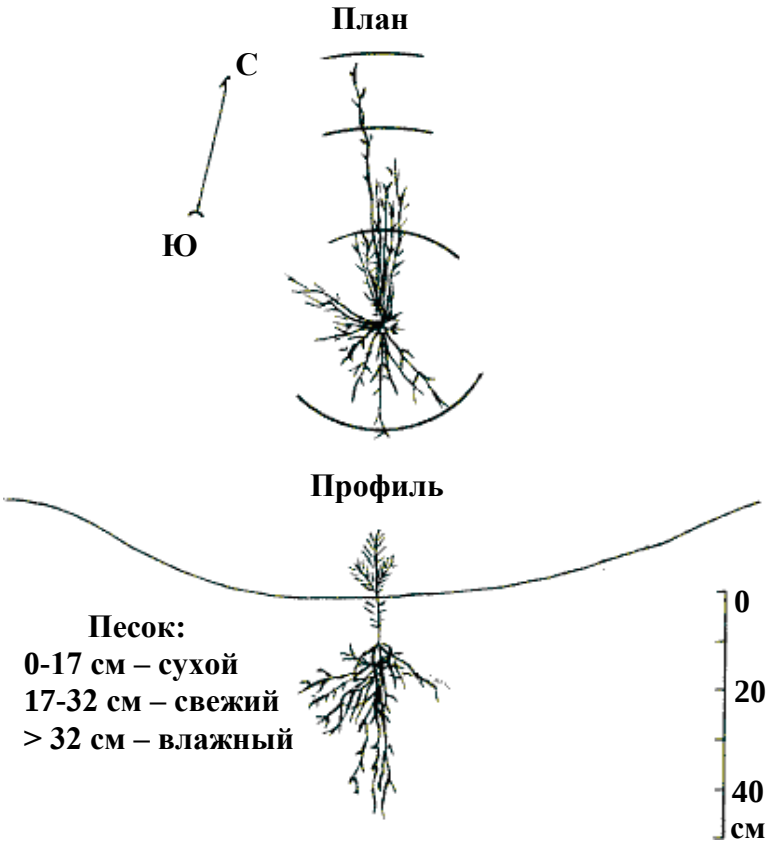


Рис. 36. Корневая система здорового саженца сосны в культурах 1991 г. на западном склоне бугра при УГВ 3,8 м. Ур. Кандагаш, сентябрь 1991 г.

Рис. 37. Здоровый саженец сосны в однолетних культурах на склоне бугра при УГВ 2,8 м. Урдинский песчаный массив. Ур. Кандагаш, сентябрь 1991 г.

Даже в котловинах с выходом КК на поверхность борозд при машинной посадке вследствие травмирования корневой системы (обрыв мочковатых корней при поспешном выдергивании их из пучков) приживаемость саженцев оказалась невысокой. Однако рост здоровых экземпляров не имел связи с глубиной залегания ГВ (табл. 33) и свидетельствовал о возможности их успешного развития в первые годы жизни на всех элементах рельефа бугристых песков полупустыни.

Результативность посадок лиственных пород также оказалась невысокой. Она имела еще большую зависимость от грунтового увлажнения (см. табл. 33).

Лучше приживались и росли относительные олиготрофы. Мезотрофы: дуб, клен татарский и даже лох узколистный на площади с УГВ 1-3 м дали отрицательный прирост, смородина золотая сохранила надземную часть, не увеличив высоту.

Таблица 33

Результативность опытных культур сосны 1991 г. на различных элементах рельефа нарынов Урдинского песчаного массива. Ур. Кандагаш

Элемент рельефа	Участие элемента в рельефе закультивированной площади, %	Учтено здоровых саженцев, %	Наличие здоровых саженцев, шт./ га	Средняя высота саженцев, см	Средний прирост в высоту, см
Котловины с КК	7	52	963	11,40	7,8
Понижения без КК	12	12	115	10,20	6,9
Нижние части склонов	25	16	74	9,20	6,6
Средние части склонов	22	12	59	10,00	5,4
Верхние части склонов	15	4	30	13,20	6,2
Вершины бугров	8	0	0	-	-
Ровные местоположения	11	4	40	12,25	8,2
Итого, среднее	100	100	183	10,80	7,2

На участках с глубиной ГВ 190-200 см при ручной посадке робиния имела прирост 6-20 см. В сырых понижениях – 107-180 см, а при залегании КК на глубине 30-40 см – 73-110 см. При контакте корней саженцев с КК (ГВ на глубине 60-90 см) абрикос хорошо прижился и дал прирост до 50-60 см. А при его отсутствии (УГВ 2,0 м) – почти полностью погиб.

По-видимому, на приживаемость культур оказывает влияние и температурный режим почвы. Так, в зонах выхода КК в бороздах МЛУ-1 температура поверхности песка в полуденное время на 7-8°С ниже, чем на сухих участках. Во второй половине июня она достигала соответственно 47 и 55°С, но ожога тканей саженцев в зоне контакта с нагретым песком не отмечалось. Особенно сильно (до 66°С) нагревается поверхность пересохших отвалов борозд. Существенные различия в температурном режиме имеют и поверхности склонов разной экспозиции (рис. 38).

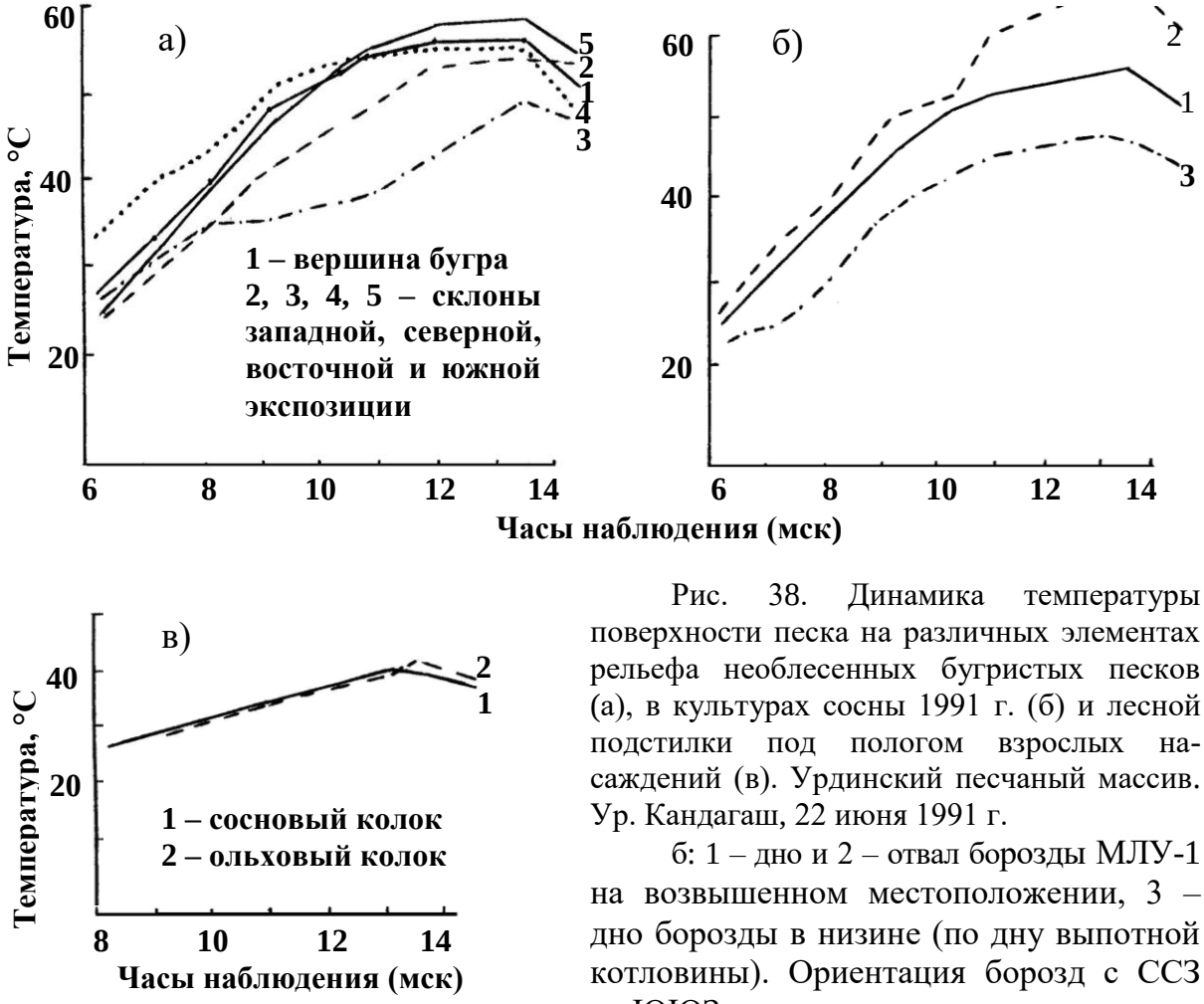


Рис. 38. Динамика температуры поверхности песка на различных элементах рельефа необлесенных бугристых песков (а), в культурах сосны 1991 г. (б) и лесной подстилки под пологом взрослых насаждений (в). Урдинский песчаный массив. Ур. Кандагаш, 22 июня 1991 г.

б: 1 – дно и 2 – отвал борозды МЛУ-1 на возвышенном местоположении, 3 – дно борозды в низине (по дну выпотной котловины). Ориентация борозд с ССЗ на ЮЮЗ

Полученный урок был учтен в 1992-1994 гг. Кроме ужесточения режима хранения сеянцев, перед посадкой их обмакивали в песчано-навозную болтушку, не дававшую эффекта слипания корней, слегка встряхивали и аккуратными, почти вертикальными рядами укладывали в ящики лесопосадочной машины. Эта процедура обеспечила легкое отделение сеянцев друг от друга и предотвратила обрыв их мочковатых корней при посадке. Дополнительно был испытан целый ряд других приемов повышения приживаемости саженцев.

Последующие трехлетние опыты показали, что при аккуратной весенней посадке 2-летних стандартных сеянцев сосны машиной в широкие борозды (или вручную по террасам и минерализованным полосам шириной около 1 м) практически на всех элементах рельефа нарынов во влажные и средние годы можно получать высокую (70-90%), в засушливые – приемлемую (около 60%) приживаемость культур без применения дополнительных приемов ее стимулирования (табл. 34 и 35, рис. 39).

Таблица 34

Осадки вегетационного периода и приживаемость культур сосны, посаженных модернизированной МЛУ-1. Урдинский песчаный массив. Ур. Кандагаш

Год	Осадки, мм							Приживаемость, %	
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	сумма	июнь	сентябрь
Норма	21,0	19,0	31,0	27,0	23,0	17,0	131,0	-	-
1992	18,5	11,5	27,5	22,8	19,2	60,1	158,6	89,7	74,8
1993	28,3	21,6	55,7	21,3	22,8	20,7	167,4	93,0	73,0*
1994	2,2	24,6	23,9	15,0	11,0	0	76,7	61,3	59,5

*Примечание. *Культуры в июле были повреждены прусом итальянским.*

Таблица 35

Приживаемость (%) культур сосны и лиственных пород, созданных модернизированной лесопосадочной машиной МЛУ-1. Ур. Кандагаш, 1992 г.

Порода	Срок учета	
	27 июня	5 октября
Сосна обыкновенная	95,4-89,7	93,2-74,8
Абрикос	97,3	88,0
Береза	77,7	48,2
Акация белая	88,3	85,0
Айва	32,6	20,3
Аморфа	100,0	100,0
Боярышник однопестичный	44,1	35,3
Боярышник кровавокрасный	64,6	49,2
Калина обыкновенная	50,8	32,0
Бирючина	92,5	65,7
Смородина золотая	92,4	67,6
Вишня войлочная	70,9	68,4
Рябина обыкновенная	100,0	88,9
Арония	68,2	63,6
Калина гордовина	73,3	66,7

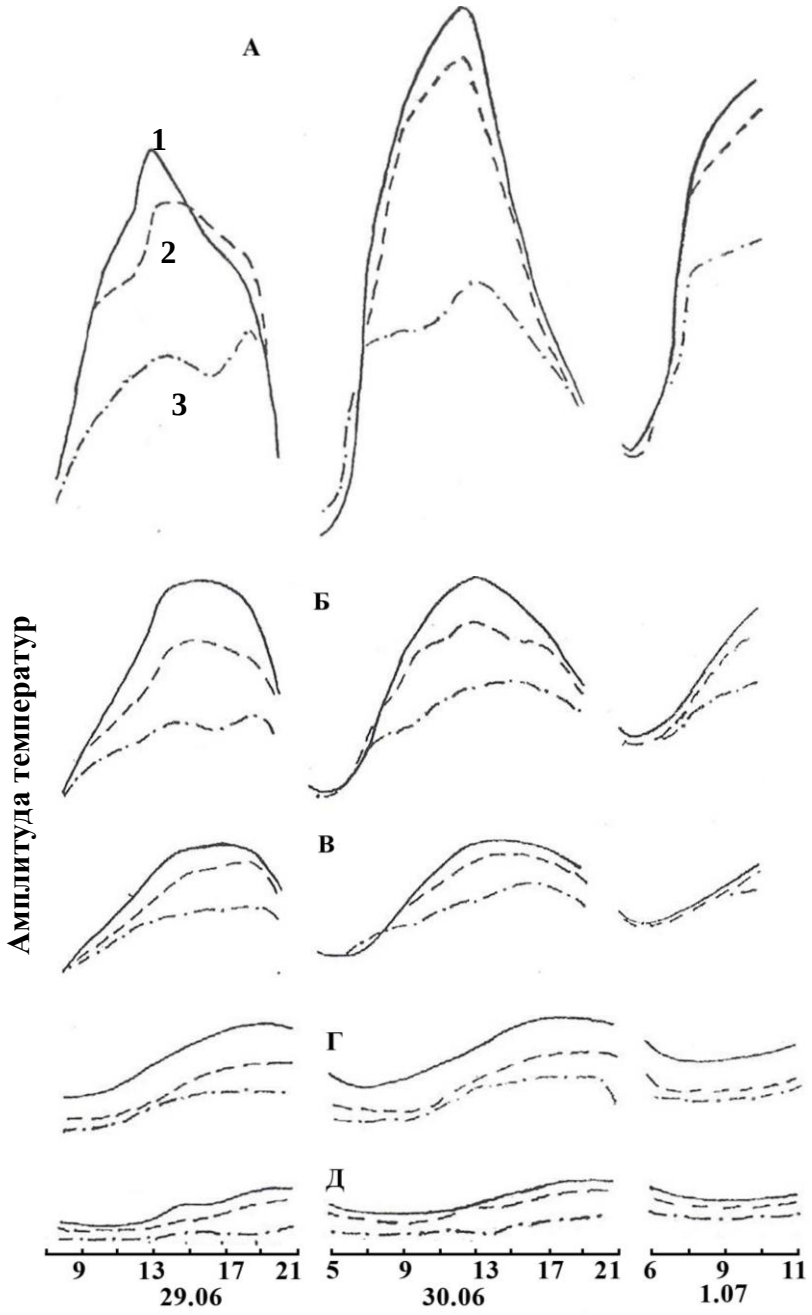


Рис. 39. Суточная амплитуда температуры песка на поверхности (А); на глубине 5 см (Б), 10 см (В), 20 см (Г), 30 см (Д); 1 – контроль, 2 – навоз, 3 – щит. Ур. Кандагаш, 1992 г.

Механизированная посадка стандартных сеянцев весной и благоприятной осенью во влажных и мокрых понижениях (с ГВ ближе 1,5 м) обеспечивает достаточно высокую приживаемость культур сосны и ряда лиственных пород-олиготрофов (см. табл. 35). Решающее значение для успеха также имеет использование качественного посадочного материала. Длительное хранение его в прикопке на рыхлом песке неизбежно ведет к подсыханию и снижению жизнеспособности растений.

Устойчиво высокие результаты дает глубокая посадка сеянцев и саженцев лиственных пород на участках с УГВ до 1,0 м, где они в последующем и могут образовать сомкнутые древостои.

На площадях с ГВ глубже 1,5 м закладка плантаций ивы

каспийской и тополя нарынского посадкой одревесневших черенков длиной до 40 см весной 1993 г. оказалась малоэффективной. Приживаемость осенью составила всего 35 и 8-19% соответственно. Использование черенков длиной 60-80 см увеличило ее у ивы до 50%, но вызвало необходимость глубокого щелевания очень твердых слоев песка.

Из испытанных агроприемов повышения приживаемости сосны наиболее эффективной оказалась посадка в борозды МЛУ-1 2-летних саженцев сосны с закрытой корневой системой (табл. 36). При весенней закладке культур отпада растений не было даже в острозасушливый вегетационный период. Однако в первый год они не имели преимущества в росте перед обычными саженцами, что может свидетельствовать о замедленной адаптации растений в брикетах к новым условиям среды. По-видимому, этот способ имеет перспективу применения и осенью при слабом увлажнении верхнего слоя песка.

Таблица 36

Приживаемость (%) культур сосны машинной посадки при разных способах ее стимулирования на Урдинском песчаном массиве. Ур. Кандагаш

Вариант	Время учета		Прирост по высоте, см
	июнь	сентябрь	
1	2	3	4
1992 г.			
Посадка сеянцев, обработанных ростовым веществом КЭЭМ	89,7	74,6	7,1±0,8
Контроль	87,8	74,8	6,8±0,4
Притенение борозд щитами			
С середины апреля до конца июня	95,3	92,8	-
С середины апреля до конца октября	97,8	96,6	6,8±0,4
С середины мая до конца июня	87,8	86,7	-
С середины мая до начала октября	100,0	100,0	-
С конца июня до начала октября	91,6	88,9	-
Контроль	95,9	93,2	6,7±0,6
Мульчирование борозд навозом			
Мульча	68,3	24,5	-
Контроль	88,9	80,6	-
Устройство корнеходов			
Посадка на участке с предварительно пробуренными скважинами	100,0	78,3	-
Контроль	88,2	73,5	-
Ручная посадка сосенок на террасе северного склона с УГВ глубже 5 м	72,7	72,7	-

Продолжение табл. 36

1	2	3	4
1993/94 ГГ			
Повышение влагоемкости грунта			
С прослойкой супеси на глубине 5-25 см	91,7/78,3	75,0/77,1	-
Контроль	85,3/40,7	24,7/27,1	-
1994 г.			
Посадка двухлетних сеянцев с закрытой корневой системой	100,0	100,0	8,4±0,33
Контроль	61,3	59,5	8,3±0,56
$НСР_{05}$	-	-	1,3

Притенение растений в бороздах наклоненными плетневыми щитами несколько смягчило температурный режим верхнего (0-30 см) слоя песка (см. рис. 39), но существенного влияния на его влажность, приживаемость, прирост сосенок не оказало.

На осенней приживаемости культур резко отрицательно отразилось мульчирование дна борозд слоем (2-3 см) сыпучего навоза. Это вызвано снижением увлажняющей эффективности летних осадков (табл. 37), которые на низковлагоемких песках имеют решающее значение в питании растений.

Таблица 37

Запасы продуктивной влаги (мм) в песке посадочной борозды МЛУ-1. Ур. Кандагаш, 1992 г.

Слой почвогрунта, см	Время определения					
	1 июля			2 октября		
	Вариант опыта					
	притенение борозд щитами с середины апреля	мульчирование борозд навозом с середины апреля	контроль	притенение борозд щитами с середины апреля	мульчирование борозд навозом с середины апреля	контроль
0-5	0	1,6	0,6	5,3	0	4,8
5-30	17,6	11,7	14,4	18,0	6,1	17,9
30-50	16,2	9,9	12,3	12,0	10,6	12,4
0-50	33,8	23,2	27,3	35,3	16,7	35,1
50-70	16,7	15,2	17,8	14,4	10,4	15,7
70-90	14,4	15,4	20,5	15,6	7,3	17,1
90-100	6,2	5,7	8,9	7,5	2,7	9,3
50-100	37,3	36,3	47,2	37,5	20,4	42,1

Зернистый гидрогель (поперечно сшитый полиакриламид) при размещении его на дне посадочной щели с целью аккумуляции влаги у корней сеянцев, после набухания активно перемеща-

ется к дневной поверхности – в сторону снижения твердости сложения песка и не выполняет своей функции.

Устройство в песчаной толще корнеходов в виде скважин, засыпанных рыхлым песком, полуразложившимся опадом, навозом, их смесью с песком (с целью ускорения контакта корней сосны с ГВ на высоких элементах рельефа) не оказало влияния на приживаемость саженцев. Мелиоративный эффект корнеходов должен проявиться через усиление роста сосен спустя несколько лет после посадки.

Получено также подтверждение положительного влияния на приживаемость сосны повышения влагоемкости песка в зоне размещения корней 2-летних сеянцев при посадке. Однако когда это достигается устройством влагоемких экранов на небольшой глубине от поверхности (как это было в нашем опыте), значение последних в разные по увлажнению и ритмике выпадения дождей годы неодинаково (табл. 38).

Таблица 38

Приживаемость* (%) сеянцев сосны на контрольных и экранированных с глубины 5 см слоем (5-15 см) средней супеси площадках (1 х 1 м) на вершине плоского бугра при ГВ на глубине 4-5 м

Вариант опыта	Время учета	
	июнь	сентябрь
1992 г.		
Площадки с экраном	47,3	12,2
Контрольные	90,3	82,8
1993 г.		
Площадки с экраном	91,7	75,0
Контрольные	85,3	24,0
1994 г.		
Площадки с экраном	78,3	77,1
Контрольные	40,7	27,1

*Примечание. *Средняя по 3 повторностям (площадки с 25 саженцами).*

В 1992 г. с продолжительной засухой в первой половине лета, когда корни сосны еще не углубились в слой влажного песка, расположенный под влагоемким экраном, его иссушение привело к массовому отпаду и ослаблению саженцев. В 1993 и 1994 гг., напротив, получено преимущество в приживаемости сеянцев на экранированных площадках. Большие различия значений показателя в эти годы (на 50%), кроме лучшего режима увлажнения грунта экранов (табл. 39), по-видимому, объясняются и какими-то случайными причинами.

Таблица 39

Влажность (%) и валовое содержание влаги (мм) в почвогрунте на площадках с саженцами сосны при ГВ на глубине 4-5 м, Урдинский песчаный массив. Ур. Кандагаш

Глубина, см	10 апреля 1993 г.				2 июня 1993 г.				25 июня 1994 г.				28 сентября 1994 г.			
	влажность		содержание влаги		влажность		содержание влаги		влажность		содержание влаги		влажность		содержание влаги	
	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран	контроль	экран
0-5	0,4	0,3	0,3	0,2	2,6	2,1	1,9	1,6	1,0	0	0,8	0	0,1	0	0	0
5-15	2,8	2,9	4,2	4,4	4,6	2,8	6,9	4,2	2,7	7,8*	4,0	11,7*	0,3	0,3*	0,5*	0,5
15-25	2,6	10,9*	3,9	16,4*	4,3	8,8*	6,5	13,2*	2,6	8,7*	3,9	13,1*	1,0	4,9*	1,5*	7,4
25-35	2,8	11,1*	4,2	16,7*	4,9	11,6*	7,4	17,4*	3,0	3,0	4,5	4,5	0,8	0,8	1,2	1,2
35-45	2,9	2,9	4,4	4,4	4,9	6,2	7,4	9,3	3,0	3,5	4,5	5,3	1,3	1,7	2,0	2,6
45-55	3,6	2,8	4,9	4,2	5,6	5,3	8,4	8,0	3,3	3,6	5,0	5,4	2,0	1,4	3,0	2,1
55-85	3,7	3,0	16,6	13,5	5,0	5,5	22,5	24,8	2,7	3,4	12,2	15,3	2,5	1,1	11,4	5,1
Сумма	-	-	35,5	59,8	-	-	61,0	78,5	-	-	34,9	55,3	-	-	19,7	18,9

*Примечание. *Супесчаный экран.*

Осмотр массовых культур 1992-1993 гг. в конце 1994 г. показал, что среди прижившихся сосен отпада не произошло. Не поврежденные скотом растения сохраняют высокую жизнеспособность и свидетельствуют о достаточной устойчивости сосны в условиях полупустыни. При атмосферном водном питании средний прирост саженцев в высоту увеличился с 6-8 см в первый год до 23-28 см на четвертый (табл. 40). Но у сосен, достигших корнями ГВ, уже в третью вегетацию он составил 30-40 см. Они отличаются также более густым охвоением и темно-зеленой окраской кроны.

Таблица 40

Динамика среднего прироста в высоту (см) культур сосны 1991-1994 гг. посадки на Урдинском песчаном массиве. Ур. Кандагаш

Год посадки	Высота после посадки	Прирост по годам				Средняя высота в 1994 г.
		1991	1992	1993	1994	
1991	4,7±0,42	6,8±0,44	10,3±0,57	15,1±0,73	26,0±1,35	62,9
1992	-	-	6,8±0,40	11,2±0,78	18,5±1,20	40,5
1993	-	-	-	7,2±0,51	10,0±0,66	22,2
1994	-	-	-	-	8,3±0,64	13,3
Точность определения (P, %)	8,9	6,5	5,5	4,8	5,2	-

Развитие саженцев лиственных пород на олигоминеральных песках регламентируется их требовательностью к плодородию. Абрикос, смородина золотая и при грунтовом водном питании с первого года жизни не образуют прироста, имеют красноватые листья и постепенно выпадают. При УГВ глубже 1,5 м у дуба черешчатого наблюдается ежегодное отрастание побегов и отмирание прироста (10-20 см) до корневой шейки. Вместе с тем в молодых культурах успешно развиваются робиния, аморфа и арония. При дополнительном питании из ГВ на второй-третий год прирост в высоту у робинии может достигать 1,5-2,0 м. Аморфа уже в год посадки выгоняет побеги длиной 60-100 см и образует кусты. Арония также успешно кустится. Средняя высота и диаметр кроны 2-летних растений составляют около 40 см. Определенную перспективу имеют рябина обыкновенная, боярышники, хеномелес (айва японская). Однако до достижения корнями КК ГВ даже эти породы развиваются очень медленно, что свидетельствует о низкой питательной способности песка при скудном атмосферном увлажнении (при его влажности меньше НВ в течение основной части периода вегетации), необходимости размещать

культуры лиственных пород только на близководных участках.

Справедливость этих выводов подтвердило время. Так, при посещении урочищ Жаскус и Кандагаш 10-15 мая 2011 г. установлено, что, несмотря на усиление засушливости погоды в последнем десятилетии, аномальную засуху 2010 г. и общее понижение УГВ в нарынах на 75-80 см (по сравнению с началом 1990-х гг.), 90-100-летние насаждения сосны по-прежнему находятся в хорошем состоянии и сохранности. Заметно увеличился диаметр деревьев, особенно на периферии колков. Стало более выраженным притупление вершин у сосны в ур. Жаскус, наметилось оно и в наиболее ранних посадках в ур. Кандагаш.

Культуры сосны обыкновенной и крымской в возрасте 16-20 лет хорошо сохранились. Прижившиеся растения практически все уцелели, а небольшая доля убыли вызвана повреждениями скотом. Лишь отдельные наиболее слаборазвитые светлохвойные сосны на высоких участках рельефа вследствие засухи 2010 г. погибли или суховершинили. Так, при УГВ глубже 5 м из восьми посаженных в 1992 г. на небольших террасах северного склона бугра сосен сохранилось шесть (рис. 40), из которых четыре в хорошем состоянии. Сосна в понижениях бугристых песков полупустыни оказалась устойчивее к засухе, чем на песчаных почвах речных террас лесостепи Тамбовской обл., где в культурах даже старше 30-35 лет в 2010 г. произошел значительный отпад.

Рис. 40. Культуры сосны 1992 г. на микротеррасах северного склона бугра с ГВ на глубине около 5,0 м (на переднем плане береза пушистая в понижении с ГВ на глубине 2,5-3,0 м через 20 лет после посадки). Ур. Кандагаш, май 2011 г.

Как и предполагалось, при необходимости можно облесять и плоские возвышенные участки песков, устраивая в их толще искусственные корнеходы. Так, в посадке сосны обыкновенной 1992 г. на ровном участке с УГВ около 3 м, где в рядах через 3 м были пробурены скважины до ее зеркала диаметром 10-12 см и

заполнены рыхлыми корнепроницаемыми субстратами, также сохранились все растения (табл. 41, ПП 5а). Контрольные ряды (ПП 5б), где корни деревьев не имели контакта с ГВ, оказались на 1,7 м ниже и в 2010 г. сильно пострадали от засухи (погибло около половины деревьев).

Таблица 41

Таксационные показатели культур сосны на Урдинских песках, май 2011 г.

ПП	УГВ, м	Состав	А, лет	Густота, шт./га	$H_{ср}$, м	$D_{ср}$, см	V, $м^3$/га	Класс бонитета	Доля деревьев здор./суховер. и усохш., %
2	1,3-2,0	10Со	17	1590	7,8	9,5	53,2	I,0	66,9/2,1
3	1,3-2,5	10Ск	17	1367	4,6	8,9	28,7	II,0	93,0/0,0
4	1,4-2,4	10Со	19	1310	8,0	10,1	47,2	I,0	80,3/0,0
5а*	2,8-3,0	10Со	19	1459	5,8	7,2	19,1	II,0	61,9/2,4
5б	2,8-3,0	10Со	19	625	4,1	5,5	5,0	III,0	41,7/58,3
6	1,4-2,0	10Со	19	1989	10,0	12,0	109,4	Ia	85,7/0,0
7**	≤ 1,4	10Со	20	13182	6,5	6,1	145,0	II,0	36,8/9,2

*Примечание. *Культуры машинной посадки на плоской вершине бугра с устройством корнеходов. ** Культуры ручной посадки на «потном» понижении.*

В культурах машинной посадки на всех элементах рельефа понижений кроны сосен густо охвоены, имеют темно-зеленую окраску. Но их рост находится в тесной зависимости от глубины залегания ГВ. В понижениях с ее уровнем 1,3-2,5 м (2011 г.) насаждения сосны обыкновенной хорошо сомкнуты, имеют высоту 8-10 м, диаметр 10-12 см (ПП 4 и 6, рис. 41). На 5-7-й год жизни их прирост в высоту резко увеличился и в отдельные годы достигал 80-90 см. На участках с более низким УГВ высота насаждений заметно меньше, а там, где корни не достигли слоя капиллярного увлажнения, она не превышает 4,0-4,5 м (ПП 5б) с максимальным текущим приростом 45-50 см. Исключение составили внутренние отрезки рядов в густых колках сосны. При УГВ 1,0-1,4 м деревья имеют слабо развитую крону и раннюю кульминацию прироста (ПП 2). В 17 лет они ниже в среднем на 2 м (высота 5,7-6,0 м) и тоньше на 5-7 см, что является следствием их минерального голодания и отсутствия своевременного прореживания (рис. 42). Оптимальная густота жердняков в понижениях составляет, по-видимому, 1-2 тыс. шт./га (см. табл. 41) и должна постепенно уменьшаться от периферии к центру.

Сосна крымская как более требовательная к плодородию почвы в том же высотном диапазоне условий имеет еще большую дифференциацию деревьев по высоте и диаметру. Она также резко

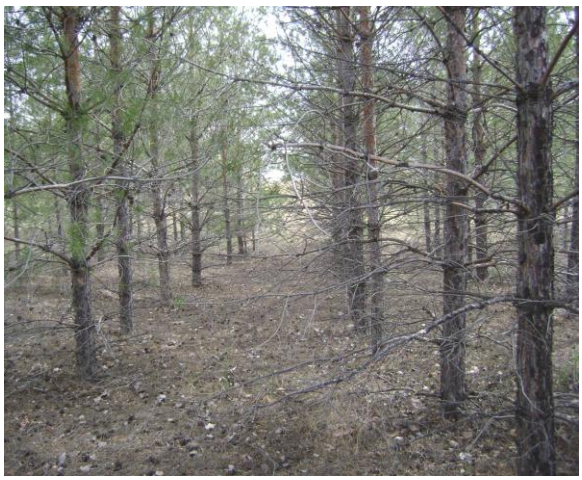


Рис. 41. 18-летний сосновый колок машинной посадки в понижении с ГВ на глубине 1,4-2,0 м. Ур. Кандагаш, май 2011 г.

Рис. 42. Состояние деревьев во внутренних рядах культур сосны обыкновенной машинной посадки в понижении с ГВ (в 2011 г.) ближе 1,3 м.
Ур. Кандагаш, май 2011 г.

негативно реагирует на увеличение густоты древостоя, но более устойчива к засухе. В понижении с УГВ 1,5-3,5 м высота 16-летних сосен при густом стоянии в рядах (созданы посадкой саженцев с закрытой корневой системой) составляет 1,1-3,5 м (на 1,3-2,5 м меньше чем у сосны обыкновенной, рис. 43). Но при этом не замечено их усыхания ни в 2010 г., ни раньше. В редких культурах она мало уступает в росте светлохвойной сосне (рис. 44). Так, в сходных условиях у этой породы начиная с 2002 г. текущий прирост в высоту почти неуклонно снижался и в 2010 г. составил всего 9 см

Рис. 43. Сосна крымская (крайние ряды) и обыкновенная в культурах 1994 г. в понижении с ГВ на глубине 2,0-2,3 м. Ур. Кандагаш, май 2011 г.

Рис. 44. Сосна крымская в культурах 1993 г. машинной посадки на бугристых песках Урдинского массива (ГВ на глубине 2,0-2,5 м). Ур. Кандагаш, май 2011 г.

(ПП 2, см. табл. 41; рис. 45, I). У сосны крымской, напротив, с небольшими колебаниями он увеличивался и в 2010 г. достиг 90 см (ПП 3, см. рис. 45, II), что свидетельствует как о ее более высокой засухоустойчивости, так, возможно, и о долговечности на Урдинских песках.

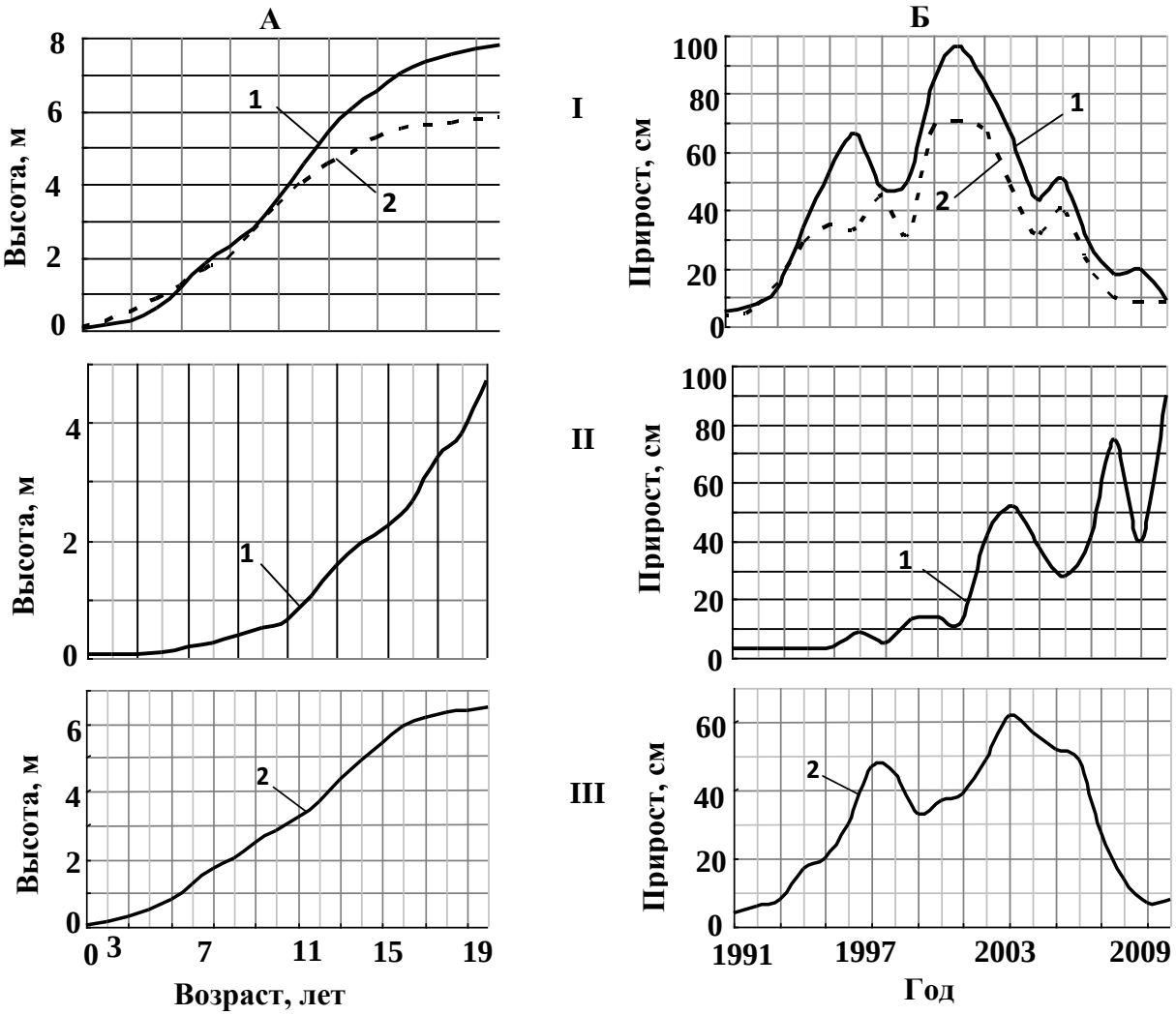


Рис. 45. Ход роста (А) и прирост (Б) в высоту сосны обыкновенной в культурах машинной (I) и ручной посадки (III) и сосны крымской машинной посадки (II) в понижениях бугристых песков с ГВ на глубине около 2,0 м (1) и менее 1,4 м (2) в ур. Кандагаш Урдинского песчаного массива

Загущенные (1,0 х 0,5-0,7 м) 20-летние культуры сосны обыкновенной ручной посадки на мокрых участках котловин выдувания имеют замедленное, порой карликовое развитие (ПП 7) (рис. 46). Во внутренней части колка высота деревьев – всего 0,7-3,0 м, диаметр у основания 1-4 см. Лишь на опушке их размеры сравнимы с деревьями в культурах машинной посадки. Кривая текущего прироста в высоту модельного дерева имеет две вер-

шины (см. рис. 45, III): первая (с пиком в 1997 г.) – следствие быстрого роста культур до смыкания крон и падения прироста после смыкания, вторая (с пиком в 2003 г.) вызвана усилением роста насаждения, по-видимому, в связи с начавшимся понижением ГВ (увеличением объема ризосферы).

При посадке сеянцами на однофазных отложениях песка с УГВ глубже 1,0-1,5 м более требовательные к плодородию лиственные породы хорошо приживаются, но плохо растут, периодически перевершиниваются, образуют карликовые формы и постепенно выпадают. Они цветут и плодоносят, имеют большое зооэкологическое значение и должны культивироваться, но на более плодородных и увлажненных участках.

Таким образом, наглядный результат работы в 1991-1994 гг. – новое поколение колковых насаждений сосны в ур. Кандагаш (рис. 47). Оно убедительно доказывает возможность крупномасштабного облесения песков полупустыни при соответствующей организации, финансовом и материальном обеспечении работ.

Рис. 46. Культуры сосны ручной посадки 1991 г. в близководном понижении бугристых песков. Ур. Кандагаш, май 2011 г.

Рис. 47. Культуры сосны обыкновенной ручной посадки в начале 20-х годов (задний план) и машинной 1992 г., Урдинский песчаный массив. Ур. Кандагаш, май 2011 г.

4. РУБКИ УХОДА И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ

Несмотря на большую практику и накопленные знания, темпы облесения песков степной зоны сосной сдерживает быстротечная или отсроченная гибель насаждений вследствие прямого или косвенного воздействия засух. Сильные и продолжительные засухи вызывают периодическое отмирание и ослабление насаждений на значительной площади, являются первопричиной вспышки активности корневых патологий и размножения опасных насекомых. Их совместное влияние на лесные культуры способно получать самостоятельное развитие (вторичные вредители могут переходить в режим питания первичных), трансформироваться в трудно управляемые инвазии и наносить большой урон жизнеспособным древостоям, попутно создавая повышенную пожарную опасность в лесах [211].

Как уже отмечалось, особенно уязвимы быстрорастущие полнотные молодняки на преобладающих площадях с глубоким залеганием ГВ, отличающиеся повышенной потребностью в водном питании при максимуме непродуктивного испарения осадков и относительно неглубоком укоренении. Важнейшим средством повышения их засухоустойчивости считается проведение рубок ухода, направленных на сокращение массы хвои накануне засушливых лет [13, 14, 28, 81, 122, 150, 260 и др.]. В постжердняковый период жизни запасы хвои в культурах сосны стабилизируются и не приводят к серьезным нарушениям их жизнеспособности в обычные засухи [62].

Однако в разных лесорастительных условиях эффективность рубок ухода оказалась неодинаковой.

В. В. Миронов [256], отмечая в целом их положительное влияние на состояние сомкнувшихся молодняков, обращает внимание на работы Митюлиной А. П. и др. [244, 255, 260] и обосновывает необходимость относительно интенсивного изреживания древостоев на более увлажненных и богатых почвах. Он также указывает на быстрое (как и в северных районах [398]) восстановление и даже превышение исходных запасов хвои в изреженных насаждениях.

А. А. Юрковский [411] и Г. Г. Чора [399] отмечают скоротеч-

ное (на 2-3-й год) исчезновение преимущества в запасах почвенной влаги в изреженных культурах над контролем. А в условиях сухих боров Нижнеднепровья И. А. Коробов [171] обнаружил, что в течение первых четырех лет после рубки ухода в верхнем 1,5-метровом слое влаги было больше на контрольном варианте опыта.

Н. С. Зюзь [150], анализируя работу В. В. Миронова [256] и других исследователей, заключает, что правильно говорить не о низкой, а кратковременной эффективности воздействия рубок ухода на водный режим сосновых культур и обосновывает целесообразность их проведения на Юго-Востоке в древостоях с избыточной массой хвои (6-8 т/га и более в сыром виде) перед наступлением засушливого года [149].

Первый прием рубки (прочистку) рекомендуется проводить до наступления кризиса в насаждениях за 1-2 года до полного смыкания крон или сразу после него: при ширине междурядий 1,5 м – в возрасте до 7-8 лет, 2,5-3,0 м – 10-12 лет [14, 27, 62, 122, 149, 275 и др.]. Последующие – на глубоководных местоположениях с супесчаными, легкосупесчаными и связнопесчаными почвами степной зоны – через 5-10 [320], 6-9 лет [26, 339]; на глубоко гумусированных супесях Нижнего Дона – 5-7 лет [122]; на сухих песках (A_0, A_1) пристепных боров Украины – 8-10 лет [411]; в ленточных борах Западной Сибири – не ранее, чем через 10 лет [116]; на слабогумусированных песках Нижнего Днепра – через 10-15 лет [192], а при УГВ 1,2 м повторные рубки здесь вообще не требуются [171].

Запаздывание с рубками ухода приводит если не к гибели, то к резкому ослаблению и снижению продуктивности густых культур, особенно на бедных сухих песках. Эти культуры при запасе хвои менее 10-12 т/га уже нельзя исправить прореживанием [62, 407].

В сформировавшихся насаждениях рубки ухода проводят по мере накопления отставших в росте и усохших деревьев [326], в сухой степи – при избыточных запасах хвои [29]. В этой подзоне интенсивность рубок ухода в молодняках сосны должна обеспечивать сокращение запасов хвои до безопасного в засухи уровня и сохранение лесной обстановки. По мнению Н. С. Зюзя [149], безопасной следует считать такую транспирирующую массу, при которой в острозасушливый год влагообеспеченность насаждения не опустится ниже 60-50% от нормальной в данных почвенно-климатических условиях.

На основании водно-балансовых расчетов, Н. М. Светлищев

[337] пришел к выводу, что в чистых насаждениях сосны на среднегумусированных почвах Етеревского песчаного массива (Среднее Придонье, осадков 430 мм/год) запас хвои следует поддерживать на уровне 13,0-13,5 т/га (при оптимуме 12,5-13,6). В посадках по схеме 1,5 х 0,6-0,7 м (густотой около 10 тыс./га) в возрасте 8 лет он предлагает вырубать до 12% стволов, в 16 лет – 30, в 30 – 14 и в 40 лет – до 13%.

Н. Ф. Кулик и др. [185] считают, что на юге Приволжской возвышенности в молодых культурах запасы сырой хвои не должны превышать 8,3-9,4 т/га. С 8-12-летнего возраста они могут быть увеличены на 15-20% за счет освоения корнями новых слоев почвогрунта и потребления буферных запасов влаги, но в целом в сухостепной зоне не должны превышать 9-12 т/га.

В культурах на низководных участках песчаных земель сухой степи ЕТР (осадков 320-370 мм) после рубки Н. Я. Бондаренко [27, 28] рекомендует оставлять 10-11 т/га хвои, снижая ее массу в засушливые годы до 8 т/га. На супесчаных почвах с корнедоступными водами – 12-15 т/га, оставляя на корню в 8-9 лет 5-6 тыс. деревьев, 15-17 лет – 4,0-4,5; 38-39 – 1,6-1,8 (удаляя еще 4-6 т/га сырой хвои) и в 61-70 лет – 1,2-1,5 тыс. деревьев.

Н. А. Воронков [62] считает, что на Юго-Востоке при норме осадков 300 мм/год запас хвои в культурах не должен превышать 10-11, а при 400 мм/год 12-13 т/га.

Л. А. Ящерицина [419] пришла к выводу о том, что на рыхло- и связнопесчаных отложениях Арчедино-Донской (осадков 380-400 мм/год) и Етеревской арен (430 мм/год) в культурах сосны I класса возраста следует поддерживать запас хвои на уровне 8-10 т/га, оставляя на корню не более 3,5 тыс. дер./га.

На низководных песках Юго-Востока Н. С. Зюзь [150] предлагает проводить 3-кратное изреживание молодняков с интенсивностью рубки 25-30% по числу стволов и оставлением к концу критического возраста (20-25 лет) 1,0-1,2 тыс. дер./га.

На основании наблюдений за опытными и производственными культурами все исследователи склоняются к необходимости интенсивного изреживания нормальных по густоте молодняков сосны.

Так, В. И. Рубцов [326] пришел к выводу, что в условиях ЦЧО рубки ухода должны отличаться высокой интенсивностью и частой повторяемостью в период кульминации прироста. Такой же вывод вытекает из результатов опыта проф. Б. И. Гаврилова

на Придонецких песках [50].

В культурах на супесях Нижнего Дона И. И. Даньшин [121] предлагает удалять 15-20% первоначального запаса древесины с оставлением 4,5-5,0 тыс. дер./га в возрасте 10-15 лет.

В сосняках на Нижнеднепровских песках в первый прием рубки Д. К. Бабенко, И. А. Коробов, С. Н. Руденко и др. [37, 367, 368] предлагают удалять до 50% деревьев, оставляя в сухих борах (A_0, A_1) 3,0, в свежих и влажных – 2,0-2,5 тыс. стволов/га.

M. C. Kiki [425] установил, что в Изюмском пристепном бору в условиях A_1-A_2 интенсивность прочистки может достигать 70% по числу деревьев, лишь бы их количество не опускалось ниже 2 тыс./га. Аргументы против чрезмерного изреживания приводит А. И. Ахромейко [13].

В редких молодняках рекомендуется снижать интенсивность изреживания древостоя до 25% по числу стволов [192] или ограничиваться удалением живых сучьев нижних мутовок [28, 62, 118]. В полосных насаждениях даже подчистка сучьев может приводить к отрицательному результату [418].

Из обзора литературы видно, что в оценках периодичности, интенсивности рубок ухода в молодняках сосны засушливой зоны имеются определенные разногласия. И это понятно, поскольку они могут быть обусловлены разным исходным качеством лесных культур (густотой, энергией лесообразования и т. п.), физико-географическими условиями и другими факторами. Так, Н. А. Воронков [63] считает, что при расчете нагрузки ассимиляционной массы в насаждениях кроме условий атмосферного увлажнения должны учитываться водно-физические свойства почв и предельные значения возможного потребления растениями почвенной влаги, а Н. С. Зюзь [150] – и мощность КС. Он также пришел к выводу о том, что с целью повышения засухоустойчивости молодняков сосны при недоступной ГВ изреживание необходимо проводить в соответствии с гидрологической обстановкой предшествовавших лет [149]. В засушливых районах они не должны планироваться как ежегодное мероприятие. Рубка, проведенная после засухи, не только не повышает засухоустойчивости, но может быть и вредна, поскольку ведет к опасному размыканию полога, бесполезным затратам труда и средств.

Во взглядах на принципы осуществления рубок в чистых насаждениях обнаруживается большее единодушие. Практически все

авторы [62, 115, 150, 273, 276, 326, 347 и др.] считают, что рубке подлежат в основном отставшие деревья IV-V классов роста, а по гидрологическим и другим соображениям также деревья – "жировики". Эколого-лесоводственное преимущество имеют равномерные селективные рубки, когда вырубают прежде всего то, что могло бы отпасть. В культурах с узкими (1,5 м) междурядьями допускается удалять и каждый четвертый или третий ряд с вырубкой отставших деревьев в оставляемых рядах (выборочно-линейные рубки) [62, 122, 277] или без нее (линейные рубки). В этом отношении заслуживают внимания лесокультурные и технологические разработки украинских лесоводов [333], направленные на повышение эффективности рубок ухода и производительности работ.

Во многих публикациях [46, 62, 72, 113, 173, 207, 277, 326] обращается внимание на то, что при лесоразведении в степях необходимо более активное, чем в лесной зоне, осуществление мер охраны лесов от пожаров и защиты их от вредителей и болезней.

Таким образом, накопленные знания свидетельствуют о том, что влияние рубок ухода на засухоустойчивость культур сосны и в целом на формирование жизнеспособных полнотных насаждений в большой степени обусловлено зональными и почвенно-грунтовыми условиями, а их режимы (повторяемость, интенсивность) необходимо дифференцировать в зависимости от особенностей этих условий, т. е. – лесопригодности земель. Так, с ростом засушливости климата, вследствие ослабления дифференциации и самоизреживания древостоя, засухоустойчивость молодняков сосны снижается и в сухой степи не компенсируется увеличением его густоты, уменьшением габитуса деревьев. В этих условиях на всех почвенных разностях надежно ее можно повышать только искусственно – периодически изреживая насаждения, поэтому они должны создаваться достаточно густыми. Частота, интенсивность (по массе хвои) прочисток, а следовательно, и исходная густота культур должны варьировать в зависимости от нормы атмосферного увлажнения и характера почвогрунта, т. е. быть адаптированными к конкретным почвенно-климатическим условиям.

Разработка количественной оценки лесопригодности автоморфных почвогрунтов (см. разд. 2.5) позволила сделать предварительные расчеты режимов рубок ухода применительно к условиям юга Русской равнины на примере широтного пояса, заключенного между городами Воронежем и Волгоградом, где вследст-

вие засух молодняки сосны наиболее часто расстраиваются или гибнут [211], но эти режимы нуждаются в широкой практической проверке и пока имеют лишь теоретическое значение.

Количественные показатели лесопригодности ($Л_1$ и $Л_2$), использованные в качестве переменных в математических моделях, отражают относительную потенциальную лесопроизводительность земель и стабильность атмосферного увлажнения ризосферы древостоя, обусловленные годовой нормой осадков и содержанием ФГ в КС, и получены с помощью функций (42) и (43).

Расчеты адаптированных режимов включают определение продолжительности периода большого роста насаждений (текущий прирост в высоту ≥ 40 см), кризисного периода в их жизни (начинается за 1-2 года до полного смыкания крон и перехода в зональный режим водного питания насаждений, заканчивается с окончанием периода кульминации их прироста в высоту), критической величины годовой суммы осадков (при которой влагообеспеченность соснового древостоя опускается ниже 50%) и периодичности засушливых лет (по данным многолетних наблюдений метеостанций), а на их основе определяется необходимое количество приемов, интенсивность рубки и относительная затратность лесоводственных мероприятий.

Продолжительность периода большого роста ($П_{б.р.}$, лет) определена по данным собственных исследований хода роста насаждений и литературным источникам. Возраст начала смыкания крон в междурядьях – по многочисленным публикациям и увязан с их шириной и гранулометрическим составом верхнего 2-метрового слоя почвогрунта. Продолжительность кризисного периода ($П_{к.п.}$) установлена по разности возраста (лет) окончания $П_{б.р.}$ (падения Z_h ниже 40 см) и возраста начала смыкания крон (прилож. 25). Их аппроксимируют функции

$$П_{б.р.} = (4{,}64 + 0{,}88Л_1)(3{,}856 + 0{,}357Л_2),\ \eta = 0{,}98, \qquad (62)$$

$$П_{к.п.} = (0{,}8Л_1 + 1{,}11)(0{,}25Л_2 + 1{,}91)(4{,}33 - 0{,}46Ш),\ \eta = 0{,}75, \qquad (63)$$

где $Ш$ – ширина междурядий, м.

Продолжительность первого периода прямо пропорциональна лесопригодности и на 45,1% определяется потенциальной производительностью местообитания (**$Л_1$**), на 10,1% – стабильностью влагонасыщения КС осадками ($Л_2$). Продолжительность второго – соответственно на 25,9 и на 12-13%, несколько уменьшаясь при расширении междурядий в культурах с 1,5 до 3,0 м.

Критическая сумма осадков ($\sum_{ОСкрит.}$, мм), опасная резким

нарушением лесообразования в молодняках, и число опасных засух (прилож. 26) рассчитаны по максимально возможным запасам хвои в молодняках, норме физиологической потребности их во влаге, полученным с помощью функций (30) и (34) с учетом принятого для сосны (50%-ного) уровня допустимого снижения влагообеспеченности. Динамику ее параметров описывает функция

$$\sum_{ОСкрит.} = (0{,}15ОС + 40{,}4)(0{,}023Гл + 2{,}66),\ \eta = 0{,}95. \quad (64)$$

Математический анализ расчетных данных показал, что критическая сумма годовых осадков увеличивается от песков к суглинкам на 20-30%, но опасность повторения глубоких почвенных засух в молодых культурах при этом повышается. Эта сумма увеличивается примерно на 30% и в направлении ослабления аридности климата, но сопровождается снижением опасности засух. Так, на широте г. Волгограда за 60-летний период их возможное количество возрастает с 7-10 в насаждениях на рыхлых песках, до 16-17 – на более тяжелых отложениях, кульминируя уже на связных песках. На широте г. Михайловки – соответственно с 5-7 до 13-15 с кульминацией в насаждениях на тяжелой супеси. На широте г. Воронежа опасные почвенные засухи в культурах сосны на рыхлых песках практически не возникают, на связных песках – легких суглинках они могут случаться 1-6 раз в течение 60 лет с кульминацией повторяемости в культурах на суглинках.

Основные показатели адаптированных режимов рубок оптимизации влагообеспеченности монокультур сосны в кризисный период приведены в прилож. 27.

Число опасных засушливых периодов ($N_{зас}$) подсчитано по количеству лет с критической и меньше суммой осадков за 60-летний период наблюдений (при этом засушливые годы, следующие друг за другом или через один год с нормальной или повышенной обеспеченностью осадками, объединялись в один засушливый период): для г. Волгограда за 1929-1990 гг., г. Михайловки (Волгоградской обл.) – 1935-1995 гг. и г. Воронежа 1912-1977 гг. (с учетом пробелов в наблюдениях) и в первом приближении может быть определено с помощью функции

$$N_{зас.} = (2{,}42 + 0{,}132Л_1)(11{,}518 - 18{,}439Л_2),\ \eta = 0{,}95. \quad (65)$$

Средний интервал между опасными засушливыми периодами A (лет) определен по отношению длины периода наблюдений к числу опасных засушливых периодов и подчиняется следующим функциям:

для насаждений, произрастающих на песчаных отложениях со средневзвешенным содержанием ФГ в верхнем 2-метровом слое до 7%

$$A = 1/(0{,}102\text{-}0{,}1629Л_2), \quad r = 0{,}98; \qquad (66)$$

на песках и супесях с содержанием глинистых частиц 7-15%

$$A = 1/(0{,}458\text{-}0{,}775Л_2), \quad r = 0{,}99; \qquad (67)$$

на супесях и суглинках с долей ФГ 15-30%

$$A = 1/(0{,}64\text{-}1{,}152Л_2), \quad r = 0{,}99. \qquad (68)$$

Необходимое количество приемов рубки ($N_р$) получено путем деления продолжительности кризисного периода на число засушливых периодов ($П_{к.п.}/N_{зас}$). Его с удовлетворительной точностью описывает функция

$$N_р = (0{,}32+0{,}27Л_1)(2{,}6\text{-}4{,}14Л_2)(5{,}23\text{-}5{,}55Ш), \ \eta = 0{,}94. \qquad (69)$$

Это количество увеличивается пропорционально нестабильности увлажнения КС культур осадками ($\eta^2 = 68{,}2$) с ростом засушливости территории и влагоемкости поверхностных отложений. От ширины междурядий (т. е. продолжительности смыкания крон) повторяемость рубок почти не зависит ($\eta^2 = 2{,}3\%$).

Интенсивность рубок ($И_р$) в т/га изымаемой сырой хвои определена по разнице значений возможных и допустимых ее запасов в насаждениях, полученных по (33) и (34), а путем деления массы изымаемой хвои за один прием рубки (т/га) на ее массу на среднем дереве – интенсивность рубки по числу вырубаемых деревьев ($И_{рд}$) в процентах от их числа в насаждении в начале кризисного периода.

Почвенно-климатическую динамику $И_р$ аппроксимируют функции

$$И_р \text{ (т/га)} = (9{,}136\text{-}1{,}284Л_1)(10{,}64\text{-}17{,}26Л_2), \ \eta = 0{,}97, \qquad (70)$$

$$И_{рд} \text{ (\%)} = (1{,}197+1{,}04Л_1)(2{,}7\text{-}4{,}3Л_2), \ \eta = 0{,}93. \qquad (71)$$

$И_р$ прямо пропорциональна нестабильности увлажнения осадками КС насаждений ($\eta = 0{,}94$) и производительности местообитания ($\eta = 0{,}67$), и повышается с ростом засушливости территории и утяжелением гранулометрического состава почвогрунта. Суммарную массу удаляемой хвои и общее количество средних деревьев за весь период проведения рубок в молодняках можно приближенно определить с помощью функций

$$\Sigma И_р \text{ (т/га)} = (0{,}584+0{,}197Л_1)(9{,}47\text{-}16{,}54Л_2)(10{,}11\text{-}1{,}07Ш), \ \eta = 0{,}85, \qquad (72)$$

$$\Sigma И_р \text{ (дер./\%)} = (7{,}49\text{-}0{,}003Л_1)(2{,}47\text{-}4{,}13Л_2)(10{,}25\text{-}0{,}51Ш), \ \eta = 0{,}93. \qquad (73)$$

Они также увеличиваются с ростом нестабильности увлажнения осадками КС ($\eta^2 = 67{,}7\%$) и потенциальной производи-

тельности насаждений (η^2 = 11,2%), а от ширины междурядий практически не зависят (η^2 = 0,87%),

Методику расчета коэффициента относительной затратности рубок $К_{зр}$ в культурах сосны (см. прилож. 27), использованную в данной работе, следует рассматривать как частный случай определения этого показателя, не претендующий на высокую точность и широкое использование. Тем не менее, она позволяет проследить закономерность зонально-эдафической и лесокультурной (биоинженерной) динамики расходов на лесоводственные мероприятия в молодняках сосны, снижающих рентабельность степного лесоразведения. Эта методика основана на том, что производительность сосновых древостоев имеет прямую устойчивую связь с их охвоенностью [8, 12]. $К_{зр}$ рассчитывается по отношению показателя нормы изъятия сырой хвои (т/га) в молодняках кризисного возраста за весь период рубок к запасу стволовой древесины в 50-летних насаждениях и имеет размерность тонны удаленной хвои на кубометр урожая стволовой древесины (т/м^3).

Для определения параметров $К_{зр}$ рассчитана относительная производительность древостоев сосны по ступеням эдафического ряда как ее отношение (в %) к запасу древесины в насаждениях на рыхлом песке, принятому за 100%. Она учтена как величина прямо пропорциональная нормальной охвоенности сосновых насаждений в этом же эдафическом ряду, полученной с помощью функции (32).

Производительность 50-летних насаждений на однофазных рыхлопесчаных отложениях для географических широт г. Волгограда и г. Михайловки взята из работы В. В. Миронова [256], г. Воронежа – из таблиц хода роста В. И. Рубцова [326] в условиях местопроизрастания $А_2$. Полученные расчетным ранжированием параметры производительности сосняков, произрастающих в условиях сухой и свежей простой и сложной субори ($В_{1\text{-}2}$ и $С_{1\text{-}2}$), очень близки к данным массовых обмеров в натуре [150, 256, 326].

Относительную величину затрат на лесоводственные мероприятия в молодняках сосны в разных условиях произрастания и при разной ширине междурядий (густоте посадки) описывает функция

$$К_{зр}\,(\text{т/м}^3) = (0{,}6\text{-}0{,}03Л_1)(1{,}16\text{-}2{,}07Л_2)(1{,}47\text{-}1{,}56Ш),\ \eta = 0{,}89. \quad (74)$$

В пределах степной зоны Волго-Донского водосборного бассейна она увеличивается как в направлении снижения нормы осадков и устойчивости атмосферного увлажнения территории

(η^2 = 74,8%), так и с ростом плодородия КС (η^2 = 24,7%). Расширение междурядий при посадке культур в диапазоне 1,5-3,0 м влияния на нее практически не оказывает (η^2 = 0,74%). С увеличением густоты посадки расходы на рубки ухода в молодняках сосны степной зоны растут незначительно и не могут служить определяющим аргументом в пользу ее снижения.

В целом, расчеты показывают, что на широте г. Волгограда (на южной границе сухой степи) в культурах сосны на рыхлых песках опасные почвенные засухи повторяются в среднем через 9-10 лет, связных песках-легких супесях – 6-4 года, а на более тяжелых отложениях – 4-3 года. В северо-западном направлении их повторяемость постепенно снижается и на широте г. Воронежа составляет соответственно 120-90, 60-30 и 20-10 лет. Потребность в рубках ухода по числу необходимых приемов сокращения запаса хвои в том же направлении уменьшается с 1-3 на песках, 4-5 супесях-легких суглинках до 1-3 на супесях-легких суглинках на широте г. Воронежа (южная лесостепь). Здесь культуры сосны, создаваемые на песках и легких супесях, очень редко страдают от воздействия засух и не нуждаются в повышении их влагообеспеченности рубками ухода.

Для успешного прохождения полнотных молодняков сосны через кризисный период жизни на широте г. Волгограда (южной границе искусственного ареала сосны) в процессе рубок ухода в них необходимо изымать от 3,0 до 10,0 т/га сырой хвои или 28-41% деревьев (в расчете на среднее дерево) от их числа в начале этого периода. На широте г. Воронежа это требуется делать только в культурах на наиболее влагоемких и богатых легких почвенных разностях и только в количестве 1,0-2,0 т/га или 4-6% деревьев. В первом биогеографическом поясе производительность насаждений (в 50 лет) на песках-легких суглинках составляет 70-120 м^3/га, во втором – до 300-540 м^3/га, а затратность лесоводственных мероприятий в молодняках – соответственно 0,06-0,40 (в тоннах сырой хвои на кубометр спелой стволовой древесины) и 0-0,1, т. е. снижается во много раз.

Таким образом, из приведенного материала следует, что от лесостепных к сухостепным районам (районам рискованного лесоразведения) актуальность создания относительно густых культур сосны повышается. Почвенно-климатический оптимум густоты их посадки, а также насаждений в возрасте начала и заверше-

ния рубок ухода должен определяться с учетом базовой приживаемости, динамики габитуса среднего дерева в молодняках и нуждается в проведении дополнительного исследования. В том же направлении увеличивается и затратность рубок уходов в молодняках, снижается производительность насаждений, рентабельность лесоразведения. Вместе с тем в процессе выращивания сосняков на песках степной зоны имеется возможность заготавливать большую массу технологической зелени, пригодной для переработки и получения кормовых добавок, продукции бытовой химии и парфюмерной промышленности [382]. Это должно находить отражение в расчетах затрат на выращивание лесных культур. Необходимо проводить их обоснованное дифференцирование по территории малолесных районов страны, а также в проектах размещения объектов химической промышленности. Расчеты и практический опыт показывают, что на песках степных областей Волго-Донского водосборного бассейна ежегодно можно создавать около 10 тыс. га сосновых культур, а в процессе рубок ухода только в молодняках получать не менее 5 млн т хвойной зелени на переработку. Ее утилизация предприятиями химической промышленности способна компенсировать затраты на эти мероприятия и приносить народнохозяйственную выгоду от промышленного производства.

5. ОХРАНА И ЗАЩИТА СОСНОВЫХ КУЛЬТУР СТЕПНОЙ ЗОНЫ

За весь период лесоразведения на песках степной зоны Русской равнины было выращено более 300 тыс. га культур сосны. На основной части площади (около 80%) насаждения созданы в послевоенное время рядовой посадкой сеянцев тракторными агрегатами с шириной междурядий 2,5-3,5 м и в конце XX столетия представлены массивами монокультур сосны обыкновенной в возрасте до 40-45 лет. Небольшую долю составляли посадки сосны австрийской и крымской.

В последние два десятилетия на юге Российской Федерации их площадь (было около 250 тыс. га) уменьшилась примерно на треть. Основная причина – массовые лесные пожары, которым предшествовало резкое сокращение объемов затратных лесохозяйственных мероприятий, быстрое развитие очагов болезней и вредителей лесных культур. Отдельные хозяйства степных областей потеряли свыше половины искусственных хвойных лесов и столкнулись с необходимостью усиления их охраны, защиты и восстановления.

Потребовалось проведение дополнительных научных исследований этих проблем и разработка зональных рекомендаций по профилактике и тушению лесных пожаров [10, 226, 211, 239].

5.1. Причины и особенности лесных пожаров

По отчетным данным хозяйств 95-100% пожаров в лесах случается по вине человека: вследствие неосторожного обращения с огнем, неисправности техники, выполнения строительных работ, военно-полевых учений и т.д. Но главную опасность создают сельскохозяйственные палы. При их подходе к лесу широким фронтом быстро возникают крупные и очень крупные лесные пожары.

Подавляющее большинство очагов горения возникает на разном удалении от опушек лесонасаждений – на открытых участках местности – с марта по октябрь. Их количество, а также количество и вредоносность лесных пожаров быстро увеличиваются с ростом

среднесуточных температур и сухости воздуха [225].

Пик числа пожаров приходится на самые жаркие и сухие месяцы года, но чаще всего он отмечается в июне – июле. В последующие месяцы их число быстро сокращается. Наиболее пожароопасный период – май – август, на который приходится более 90% случаев. Самые безопасные месяцы март и октябрь (около 3% случаев). Но только в марте лесные пожары и редки (менее 1% случаев), и легко поддаются тушению.

В культурах сосны степной зоны преобладают повальные (когда огонь почти сразу охватывает весь вертикальный профиль древостоя) и комбинированные пожары (когда низовой пожар чередуется с верховым и повальным). На долю низовых приходится около 1/4 случаев. Их соотношение по месяцам пожароопасного периода слабо варьирует и свидетельствует о повышенной горимости насаждений вследствие особенностей местных условий пирогенезиса (климатических, погодных, ландшафтных, лесохозяйственных и др.).

Сезонная динамика вредоносности лесных пожаров (по пройденной огнем площади насаждений) часто совпадает с динамикой их числа. Однако ее максимум приходится на летние месяцы, когда высокая пожарная опасность совпадает с пиком посещения лесных угодий людьми. Большой урон им наносится и в период весенних палов при большой массе мертвого травостоя. В среднем за год около 30% случаев приходится на крупные (25-100 га) и очень крупные пожары, вследствие которых образуется около 90% площади лесных гарей. Это свидетельствует как о сложности тушения пожаров в местных сосняках, так и низкой эффективности используемых приемов.

В апреле – сентябре преобладает сплошное выгорание насаждений (в среднем почти на 80% пройденной огнем площади). При этом повреждаются как корни, стволы, так и кроны деревьев, и они неминуемо погибают.

5.2. Погодные условия и пожары в сосновых культурах

Математический анализ данных по Волгоградской обл. за 1995-1999 гг. [225] не обнаружил связи между числом пожаров в культурах сосны и суммой температур воздуха выше 5°С, суммой осадков и средней относительной влажностью воздуха за апрель –

август. Однако число возникших пожаров в каждом из этих месяцев в отдельности имеет тесную связь (R = 99,2%) с их теплообеспеченностью и низкой относительной влажностью воздуха (R = 73,0%). Месячная сумма эффективных температур и влажность воздуха сильно (на 68 и 60%) влияют на него только в июне. В апреле, июле и августе это влияние слабое или отсутствует. Месячной суммой осадков число пожаров сильно обусловлено в мае – июне (на 88 и 72%). В апреле и августе – вдвое слабее, а в июле связь между ними не обнаруживается. Влажность воздуха существенно влияет на число лесных пожаров в апреле, мае и августе, слабо – в июле.

Напротив, между средней площадью пожара и осредненными метеорологическими показателями за апрель – август связь прямая и устойчивая, а с суммарной продолжительностью бездождного периода – почти линейная (R = 82,1%). Со среднемесячными параметрами погоды она связана слабо (на 12-18%).

Годовой прирост площади пожарищ сильно связан с теплообеспеченностью всего пожароопасного периода (R = 66,5%), суммой осадков (R = 0,64%) и числом бездождных дней (R = 54,2%) за этот период. Он также увеличивается пропорционально росту среднемесячной суммы эффективных температур (R = 75,4%) и снижению относительной влажности воздуха (R = 28,6%). Небольшая вариация в среднемесячном количестве засушливых (без осадков) дней (25-29) влияния на него не оказывает.

Таким образом, число и вредоносность пожаров в сосновых лесах степной зоны имеет сложный характер причинно-следственных связей. В потенциально благоприятных внутренних условиях для возникновения и развития лесных пожаров на облесенных сосной землях метеорологическая обстановка играет неоднозначную роль.

В целом можно сказать, что в сосновых лесах региона ежегодно складывается повышенная пожарная опасность. По годам она различается только количеством, протяженностью и временем возникновения особо напряженных периодов. И в этом ведущая роль принадлежит погоде.

Так, при наличии преимущественно мертвого напочвенного покрова в марте – апреле повышенная пожарная опасность возникает в периоды атмосферной засухи, сопровождаемой суховеями. Короткие дожди лишь прерывают их череду. После отрастания трав повышенные суммы атмосферных осадков пополняют запасы почвенной влаги, удлиняют их вегетацию, снижают уро-

вень пожарной опасности на открытых участках и в лесных рединах. В конце вегетации травостоя противопожарное значение дождей снижается и во второй половине июня – июле практически исчезает, а стимулирующее влияние на горение высоких температур воздуха и активности ветра повышается. Начиная с августа, по мере снижения среднесуточных температур, дожди снова усиливают свое ингибирующее влияние на пожарную опасность. Поздним летом и осенью высокая пожарная опасность возникает в продолжительные бездождные периоды, когда атмосферная засуха сочетается с почвенной. В эти периоды благоприятные для горения погодные условия совпадают с наличием большого запаса сухой мертвой фитомассы и пониженной оводненностью тканей живых растений, в т. ч. и сосновой хвои.

Для степных районов Русской равнины характерна повышенная продолжительность и засушливость летнего периода. Среднемесячная относительная влажность воздуха в этот период составляет 50-55% (в отдельные годы 30-35%), а днем может опускаться до 8-10%. Атмосферные засухи (относительная влажность воздуха меньше 30%) могут возникать уже в марте – апреле. В течение года таких дней 45-80, а с суховеями 25-50. Ветровой режим здесь также напряженный. Число безветренных дней за год всего 4-15, а со скоростью ветра более 15 м/с – 20-40. Средняя скорость потоков за теплый период 3,5-6,0 м/с.

Таким образом, на территории степной зоны высокий уровень опасности возникновения ландшафтных пожаров по погодным условиям может возникать ежегодно и в любой сезон пожароопасного периода. При этом в сосняках с апреля по октябрь сохраняется возможность формирования и распространения крупных пожаров, что делает актуальными меры своевременного обнаружения и локализации возгораний в течение всех этих месяцев.

5.3. Ландшафтные особенности искусственных лесов на песках

Дешифрирование крупномасштабных аэрофотоснимков земель лесного фонда, расположенных в долинах рек Среднего Придонья, свидетельствуют о крайней мелкоконтурности насаждений сосны в пределах искусственных лесных массивов. Средняя площадь отдельного участка составляет 0,5-1,5 га. Практически все они перемежаются открытыми пространствами (пустырями, поля-

нами, луговинами, разрывами и т. п.) с развитым травостоем. Лиственные насаждения, за исключением отдельных участков немногих арен, встречаются в виде небольших куртин, колков (березы, осины, тополя), групп кустарников естественного происхождения.

Сосной занято 30-90% площади надпойменной части земель лесного фонда. На участках арен с пересеченным рельефом число отдельных насаждений достигает 50-140/км^2. На мелкобугристых песках, увалистых и пологоволнистых равнинах культуры 60-80 гг. минувшего столетия созданы в виде групп кулис шириной 20-100 м через 10-20 м и длиной более 0,3-1,5 км, образующих относительно крупные лесные массивы. В культурах на кварцевых песках и бедных почвенных разностях за небольшим исключением разрывы заняты разреженным естественным травостоем с примесью мелких кустарников, а также с куртинами и рассеянными группами подроста сосны.

На колки лиственных пород (25-90/км^2), иногда с заболоченными участками и озерцами, приходится до 3-6%, иногда до 40% площади. Они растут в замкнутых понижениях с близкой ГВ. Пустыри и прогалины с песчано-степной и лугово-болотной растительностью (30-40/км^2) занимают 10-35% площади.

В массивах сосны последних 2-3 десятилетий XX в. 10-30% площади занимают редины с числом стволов менее 1 тыс./га, одиночно-групповым или куртинным (по понижениям) размещением деревьев и густым травостоем.

Опушку кулис, куртин и групп деревьев в сомкнувшихся культурах образуют живые низкоопущенные кроны. Одиночные деревья имеют сильно развитую симметричную крону, распростертую до поверхности почвы.

Мелкоконтурные насаждения имеют большую относительную протяженность опушек. В лесных массивах из таких насаждений она составляет 25-50 км/км^2, что в 6-13 раз превышает периметр квадрата такой же площади. При этом 3-25 км/км^2 совокупной длины опушек граничит с открытыми участками, 0,3-0,5 – древесными колками, 6-40 км/км^2 – разрывами и просеками.

Для сосновых лесов степных областей характерна также большая расчлененность дорожной сетью, тяготеющей к открытым пространствам. Без учета просек, каждый квартал площадью в 100 га имеет 4-7 сквозных дорог.

5.4. Формирование, лесоэкологическая и пирогенная роль опушек сосновых насаждений

Ненарушенная опушка в сформировавшихся полнотных насаждениях сосны с полевой стороны представляет собой глубоко шероховатую наклоненную поверхность, образованную ярусами сильно развитых живых сучьев периферийных деревьев. Густо охвоенные "лапы" верхушечных побегов на самых толстых и длинных нижних сучьях лежат или низко свисают над поверхностью почвы (рис. 48). Вверх по стволу сучья становятся тоньше и короче, а угол их наклона по отношению к нему постепенно уменьшается и становится острым. Строение кроны периферийных деревьев с противоположной стороны такое же, как и у деревьев внутри насаждения.

Рис. 48. Опушка 50-летнего насаждения сосны по границе с широким разрывом. Арчединский лесхоз Волгоградской обл. Ур. Грядина

Таким образом, опушка от внутренней части монокультур сосны отличается в основном большими размерами и асимметрией кроны периферийных деревьев за счет потребления ими дополнительных ресурсов влаги и света. Эти ресурсы несколько нивелируют разницу в лесорастительных условиях и строении опушек насаждений, произрастающих на разных типах песков.

Формирование опушки в культурах сосны совпадает с началом смыкания крон в междурядьях и опережающего роста периферийных деревьев. Чем уже междурядья, тем раньше проявляется опушечный эффект.

В насаждениях 15-25 лет полноценная опушка формируется при ширине разрыва 8-10 м, примерно вдвое превышающей дли-

ну нижних сучьев. В узких разрывах (особенно долготного направления) с возрастом культур крона крайних деревьев с полевой стороны изреживается и приподнимается.

Пожизненное дополнительное питание и освещение периферийных деревьев независимо от ориентации разрыва обеспечивается при его ширине более 30 м. При этом их крона с полевой стороны усиленно развивается до 40-50 лет. Затем она постепенно редеет, отмирает снизу и приподнимается над землей. Деградация опушки сопровождается проникновением под лесной полог сорных, степных трав и кладет начало отмиранию насаждений (рис. 49).

Рис. 49. Состояние опушки 17-летнего насаждения сосны спустя два года после поднятия кроны. Арчединский лесхоз Волгоградской обл. Ур. Грядина

Лесоэкологическое значение плотной опушки в культурах сосны степной зоны трудно переоценить. Она обеспечивает боковое притенение почвы и при высокой горизонтальной сомкнутости крон древостоя создает и сохраняет лесную среду в наиболее проблемном – периферийном поясе насаждений. Лежащие и ниспадающие на поверхность почвы "лапы" нижних сучьев под действием ветра, совершая сложные движения, уничтожают всходы трав, разгребают опад. В зимний период задерживая снег, расширяют площадь питания и повышают влагообеспеченность периферийных деревьев, а, следовательно, их резистентность и долговечность. На примыкающей к ним полосе лучше развит и намного дольше вегетирует травостой.

Для отдыхающих опушка молодого соснового леса труднопроходимый барьер. Для многих видов животных – надежное укрытие и круглогодичный источник богатого корма (рис. 50).

Вместе с тем среди лесоводов сложилось устойчивое мнение о

Рис. 50. Опушка 30-летнего массива культур сосны на дефлированной супесчаной почве по границе с обширной залежью. Обливское опытное хозяйство ВНИАЛМИ, Ростовская обл., 2009 г.

том, что низко опущенные сучья в сосняках способствуют переходу низовых в верховые пожары. Для повышения противопожарной безопасности предлагается их обрубать до высоты 1,5-2,0 м и более.

Наши наблюдения показали, что это мнение можно считать верным по отношению к деревьям внутри насаждения и на опушках усыхающих насаждений, на которых имеются преимущественно мертвые сучья. Удаление живых сучьев опушечных деревьев с полевой стороны – весьма затратное и опасное мероприятие (протяженность опушек составит десятки тысяч километров, масса мелкой древесины и хвойной зелени – сотни тысяч тонн, которую необходимо утилизировать с соблюдением правил пожарной и санитарной безопасности в лесах). Это и очень сильный удар по экологии искусственных лесных экосистем, часто существующих на грани своих возможностей.

Обследование свежих горельников не дало однозначного ответа на вопрос о пирогенном значении опушек. В хорошо сомкнутых молодняках и средневозрастных насаждениях, в которых при фронтальном подходе степных палов к опушке леса очень быстро формируются повальные пожары, переход огня в кроны происходит на расстоянии 5-15 м в тылу опушечных деревьев. Огонь в насаждение проникает в виде беглого низового горения свежего опада, и только минуя лежащие на земле и низко опущенные сучья, постепенно углубляется в подстилку. Зеленая хвоя на тонких побегах этих сучьев либо не сгорает, либо сгорает до высоты 0,3-0,5 м. Выше она сохраняется здоровой или до 1-2 м от земли постепенно желтеет и опадает. Участки опушки, где хвоя сгорела до высоты нескольких метров, встречаются спорадически небольшими отрезками (рис. 51). Имеются основания полагать, что это произошло вследствие горения подстилки при

обратном (из насаждения к опушке) движении фронта низового горения (при догорании подстилки).

Рис. 51. Состояние крон опушечных деревьев со стороны фронта горения (слева) и его тыла в сгоревших при повальном пожаре 27-30-летних культурах сосны. Вешенский лесхоз Ростовской обл., 1999 г.

С целью уточнения роли низко опущенной кроны сосны в переводе степного пала в верховое горение древостоя в конце июня 2002 г. в Арчединском лесхозе Волгоградской обл. совместно с представителями лаборатории охраны лесов от пожаров СПбНИИЛХ на площади 0,08 га был организован экспериментальный пожар.

Подобранный участок представлял собой восточную окраину массива 20-летних культур сосны с одиночным и куртинным размещением деревьев высотой от 3 до 8-9 м. Одиночные и опушечные деревья имели живую крону от поверхности почвы с запасом хвои 25-30 т/га и более в свежем виде. Поляны и прогалины были покрыты песчано-степным травостоем в стадии начала массового отмирания растений. Высота трав составляла 40-60 см, урожай – 1,0-1,2 т/га в расчете на сено.

Рельеф участка – слабонаклоненная на юго-восток равнина. Температура воздуха 34°С, скорость северо-западного ветра 7-8 м/с с порывами до 12-15 м/с. Расстояние от линии отжига травостоя (наветренной границы участка) до ближайших деревьев составляла 25-30 м.

Визуально и с помощью фотосъемки установлено следующее.

При особо благоприятных погодных условиях подсыхающий травостой горит очень интенсивно. Скорость продвижения фронта степного пожара превышает 2 км/час, высота кромки горения составляет 0,7-1,5 м. Погружение фронта горения под кроны одиночных и опушечных деревьев вызывает горение сырой хвои на нижних сучьях. С наветренной стороны пламя поднимается на 0,2-1,5 м, с заветренной стороны у одиночных деревьев

0,3-0,5 м, опушечных 0,5-1,5 м и выше. Высота подъема пламени в основном зависит от запаса мертвой органики на поверхности и в кроне. Увеличение охвоенности живых побегов кроны его подавляет. На максимальную высоту и очень быстро огонь поднимается по стволам, при этом сгорает отслоившаяся тонкая кора и тонкие сухие побеги. Беглое горение вместе с подъемом распространяется в стороны по мутовкам сучьев. При контакте с живыми охвоенными побегами огонь гаснет. Цепной реакции горения сырой хвои снизу вверх на периферии кроны не наблюдается, – при удалении фронта пожара горение живых крон одиночных и опушечных деревьев прекращается (рис. 52). Верховой пожар быстро возникает внутри сомкнутых куртин сосны вследствие горения лесной подстилки в приствольных зонах деревьев, сухих сучьев на стволах и распространяется в направлении ветра, но при этом воспламеняются и контактирующие с горящей кроной сучья деревьев с заветренной стороны, в т. ч. и опушечных.

Рис. 52. Горение одиночных деревьев и сомкнутых куртин сосны при жаркой ветряной погоде (а – состояние кроны сосны при горении травостоя, б – после прохода фронта горения). Арчединский лесхоз Волгоградской обл., июнь 2002 г.

Мнения наблюдателей о пирогенной роли опушек не совпали. В. Г. Гусев [119, с. 32] с существенной оговоркой считает, что низкоопущенные кроны деревьев способствуют развитию пожара, и рекомендует в древостоях высотой до 20 м их удалять и поднимать полог до высоты 2-3 м.

На наш взгляд, из наблюдений следует, что густоохвоенные живые сучья опушечных и одиночных деревьев в культурах сосны не стимулируют переход низового пожара в верховой и по лесоэкологическим соображениям должны сохраняться при выполне-

нии пожаропрофилактических мероприятий. Этот переход не может происходить по чисто физическим причинам. Вверх по стволу возраст сучьев и масса сухих побегов на них уменьшаются. Напротив, степень охвоенности живых побегов (масса зеленой хвои в единице объема кроны), доля молодой более влажной хвои и турбулентные потери тепла увеличиваются. Поэтому плотность теплового потока при горении кроны снизу вверх неизбежно снижается и не может поддерживать режим цепного горения. Об этом свидетельствует и математическое моделирование низового пожара, выполненное в СПбНИИЛХ. Согласно его результатам, даже при очень высокой пожарной опасности по условиям погоды предельная высота воспламенения полога в сосновых молодняках не превышает 2,5 м, в средневозрастных насаждениях 3,0 м [119]. Имеются и другие контр-обстоятельства, которые будут рассмотрены ниже.

На основании совокупности наблюдений можно утверждать также, что плотные опушки молодых полнотных насаждений сосны сдерживают проникновение в них фронта степных палов. Наиболее эффективной мерой профилактики перехода их в лесные пожары будет удаление подстилки и сухих сучьев на стволах деревьев или периодическое землевание поверхности неширокой полосой с тыльной стороны живой опушки.

5.5. Динамика лесообразования в монокультурах сосны

На степных песках завершение фазы индивидуального роста и полное смыкание монокультур сосны при шаге посадки 0,5-1,0 м, ширине междурядий 1,5 м и приживаемости 50-80% происходит в 6-8 лет и отдаляется примерно на 2 года на каждые 0,5 м расширения междурядий. Быстрее смыкаются насаждения на богатых и близководных экотопах, медленнее на однофазных кварцевых песках [46, 62, 150, 257 и др.].

В культурах рядовой посадки через 2,5-3,5 м при глубоком залегании ГВ образование лесной среды происходит в возрасте от 10-12 до 15-17 лет. Сомкнутость полога увеличивается с 0,55-0,65 в 11-13 лет до 0,9 в 18-22 года, а после 40-45 лет снова снижается до 0,7-0,6 и менее (табл. 42). В относительно густых молодняках (более 3,0 тыс. дер./га) максимум сомкнутости крон достигается быстрее. Редкие (менее 1,0 тыс. дер./га) – и к 20 годам не смыкаются. После кульминации сомкнутости быстрее разреживаются

Таблица 42

Таксационные показатели монокультур сосны на территории степной зоны Русской равнины

Возраст, лет	Число живых стволов, шт./га	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота/ Бонитет	Сомкнутость крон	Запас стволовой древесины, $м^3$/га	Средняя толщина подстилки, см		Кол-во отмерших мутовок сучьев	Высота ствола до живой кроны, м
							ряд	междурядье		
11	3820	3,4	4,0	-/II	0,50	12	1,2	0	2	0,3
11	2840	4,5	5,0	-/I	0,65	12	0,5	0	2	0,4
13	4066	5,4	7,4	-/I	0,80	42	4,5±0,35	0,5±0,06	2	0,5
18	2677	8,0	9,0	0,8/I	0,90	95	6,0	2,5	5-6	2,2
19	2094	7,0	11,0	1,0/II	0,70	88	1,5	0,7	6	1,7
22	3424	8,5	10,1	1,2/I,5	0,90	123	5,0±0,33	1,7±0,24	7	2,2
24	2822	8,4	10,3	1,0/II	0,80	101	3,4±0,37	1,1±0,17	10	3,6
26	1790	9,0	11,8	1,0/II	0,70	102	3,5	1,5	6	2,0
32	1391	11,0	14,5	0,5/II	0,60	135	5,0	2,5	15	7,5
34	2256	14,0	14,7	1,1/I	0,70	244	5,1±0,34	2,8±0,23	15	8,0
39	950	20,0	18,8	0,65/Ia	0,80	242	4,0	1,8	19	12,5
43	2723	17,0	16,0	1,5/I	0,80	456	7,0	6,0	21	10,0
50	1300	16,0	14,7	0,66/II	0,65	182	6,0	3,0	20	8,0
70	1160	20,0	21,0	0,9/II	0,60	366	5,0	2,5	39	14,0

насаждения на бедных почвенных разностях. При дополнительном грунтовом водном питании высокая сомкнутость полога сохраняется значительно дольше.

Густота большей части молодняков варьирует в пределах 2-4 тыс. дер./га, насаждений старшего возраста – 1-3 тыс. дер./га. Средняя высота насаждений в возрасте 11-40 лет на рыхлых песках составляет 3-9 м, связных песках – 4-15, на супесчаных разностях – 4,5-18,0 м. Средний диаметр увеличивается с 3-7 в начале фазы "чаща" до 14-18 см в 35-40 лет. Запасы стволовой древесины в культурах на автоморфных песках – соответственно с 10-15 до 100-250 $м^3$/га. Старовозрастные насаждения в лучших условиях достигают высоты 18-25 м, а запас древесины в них может превышать 300-400 $м^3$/га.

Отмирание сучьев в полнотных сосняках начинается в 8-10 лет и до 25-30 лет они почти целиком сохраняются на стволах, а затем снизу в массе опадают. Это происходит примерно одновременно с вывалом сухостоя отставших в росте деревьев (10-15% от числа стволов) и приводит к резкому увеличению запаса мортмассы на поверхности почвы (наземной) в жердняках и насаждениях первых лет постжерднякового возраста. В среднем отмершие сучья сохраняются на стволах около 20 лет.

Протяженность живой кроны до фазы жердняк составляет 3-5 м, позже – 6-7 м. Расстояние до нее от поверхности почвы – соответственно 0,3-1,5 м и 2,5-5,0 м. В насаждениях старше 40 лет живая крона расположена на высоте 7-12 м и более.

5.6. Динамика структуры и массы надземных органов и мертвой органики в монокультурах сосны

После смыкания монокультуры сосны образуют мертвопокровные фитоценозы. В возрасте 15-40 лет их надземная масса практически нацело состоит из древесных компонентов [10, 221]. И лишь в высоком возрасте после значительного разреживания полога в насаждения проникает степная растительность.

Запасы живой фитомассы увеличиваются с возрастом, улучшением лесорастительных условий и происходит это в основном за счет прироста стволовой древесины (табл. 43).

В нормально густых насаждениях (2-4 тыс./га) масса живой кроны достигает максимума (10-15 т/га) в возрасте около 20-25 лет. В дальнейшем до 40-45 лет и более она почти не изменяется

Таблица 43

Запасы (т/га в воздушно-сухом состоянии) основных компонентов фитомассы в монокультурах сосны степной зоны Русской равнины

Компонент фитомассы	Возраст насаждения, лет														
	8	11	11	13	18	19	22	24	26	32	34	39	43	50	70
Живая надземная, в т.ч.: стволы	3,3	6,5	9,5	20,9	47,5	44,0	61,6	50,7	51,0	67,5	121,8	121,0	228,0	91,0	183,0
сучья, в т.ч. побеги	2,6	4,9	7,5	10,4	12,0	5,7	14,0	15,7	10,3	6,2	9,6	6,0	31,6	7,0	9,1
d (мм) ≤ 7	0,8	1,7	2,6	6,3	5,2	2,0	7,6	5,8	3,2	3,3	5,3	2,0	10,5	2,2	2,7
7-15	1,6	2,9	4,4	3,2	4,5	2,1	5,5	3,3	2,6	1,8	3,7	1,8	8,1	2,4	3,2
15-30	0,2	0,3	0,5	0,9	2,3	1,6	0,9	6,5	4,5	1,1	0,6	1,9	13,0	2,1	2,8
> 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	0,3	0,4
хвоя	1,2	2,7	5,0	6,3	6,7	3,8	7,6	5,8	7,0	3,6	5,3	3,9	11,1	4,4	6,0
Итого	7,1	14,1	22,1	37,6	66,2	53,5	83,2	72,2	68,3	77,3	136,7	130,9	270,9	102,4	198,1
Мертвая надземная, в т.ч.: сухостой	-	-	-	-	1,0	1,3	0,4	0,7	-	2,5	1,3	6,4	0,5	-	4,0
сучья	0,2	-	1,0	1,9	5,2	11,5	4,4	5,6	3,0	6,1	12,6	8,2	8,2	5,2	1,7
Итого:	0,2	-	1,0	1,9	6,2	12,8	4,8	6,3	3,0	8,6	13,9	14,6	8,7	5,2	5,7
Мертвая наземная, в т.ч.: валежник	-	-	-	-	1,8	-	-	-	-	1,0	2,0	2,5	3,5	0,6	0,4
сучья d (мм) ≤ 20	-	-	-	0,4	0,5	-	1,0	4,5	0,4	2,7	7,5	1,0	6,0	0,5	0,7
шишки	-	-	-	0,8	2,5	3,4	1,0	4,0	1,9	5,6	2,1	0,2	8,0	0,7	1,0
хвоя + кора	3,7	3,0	1,6	11,5	4,0	5,1	8,5	3,5	1,0	4,3	5,7	6,9	7,0	5,2	8,7
травы	1,4	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
полуразложившийся опад	-	-	-	-	25,5	23,2	27,0	22,0	4,1	33,3	36,8	26,0	48,0	60,0	40,0
Итого	5,1	3,3	1,7	12,7	34,3	31,7	37,5	34,0	7,4	46,9	54,1	36,6	72,7	67,0	50,8
Всего	12,4	17,4	24,8	52,2	106,7	98,0	125,5	112,5	78,7	132,7	204,7	182,1	352,1	174,6	254,6

вследствие непрерывного с ростом деревьев отмирания сучьев снизу. У опушечных и одиночных деревьев масса кроны может увеличиваться до прекращения роста.

Наибольшую относительную массу кроны (сучьев и охвоенных побегов более 50%) имеют несомкнувшиеся культуры. В 15-40-летних сомкнутых насаждениях она уменьшается до 30-10% от массы дерева, а преобладающая часть сучьев имеет диаметр у основания до 30 мм. Доля мелких (диаметром $d \leq 7$ мм) побегов в них колеблется в пределах 30-60%.

В первые годы после образования сомкнутого полога и интенсивного сброса хвои ее запасы в молодняке стабилизируются на уровне 3,5-7,5 т/га в зависимости от типа лесорастительных условий. Соотношение фракций кроны: хвоя, побеги $d \leq 7$ мм, $7 < d \leq 15$ и сучья $15 < d \leq 30$ мм изменяется с возрастом и в среднем составляет в фазе "чаща" 1,0:1,6-1,9; 1,0:0,9-1,2; 1:9-10; жердняк – постжердняк 1,0:1,3; 1,0:1,4-2,0; 1:1-3.

В насаждениях, необеспеченных рубками ухода, надземная мортмасса (сухие сучья на живых деревьях и сухостой) непрерывно накапливается с 1-2 до 9-15 т/га. Ее наибольший запас приходится на 20-30 лет и затем уменьшается по мере очищения стволов от сучьев. Соотношение массы мертвых сучьев и сухостоя на протяжении первых 25-30 лет остается примерно одинаковым (1:1). Прочистки и прореживания в сосняках приводят к резкому сокращению их запаса.

У опушечных деревьев масса живой кроны в 6-17 раз больше, чем у деревьев внутри насаждения. Доля в ней побегов и сучьев толще 7 мм с возрастом увеличивается с 40-50 до 60-70%, хвои уменьшается с 30-40 до 20%. Относительная масса мертвых сучьев в кроне деревьев на опушке, как правило, меньше чем в насаждении (табл. 44).

К возрасту смыкания культур на поверхности почвы вдоль оси рядов формируется слой растительного опада в виде ленты шириной 0,9-1,1 м и толщиной 0,5-1,5 см. После смыкания и сброса избыточной массы хвои он покрывает и поверхность междурядий, увеличивая за короткий период запас наземной мортмассы с 1,5-3,0 до 10-15 т/га. Образуется однослойная лесная подстилка, состоящая в основном из хвои и тонкой коры. Спустя 2-3 года в нижней части подстилки формируется слой полуразложившегося опада. С возрастом культур за счет его накопления

мощность подстилки в рядах увеличивается до 6-9 см, в междурядьях – 4-6 см. Ее масса к 20 годам достигает 25-30, к 30 – 35-40, 40 – 45-50 т/га. Примерно до 20-летнего возраста насаждений в структуре свежего опада (3,5-8,5 т/га) преобладает хвоя и тонкая кора (60-100%), в последующие десятилетия – сучья диаметром менее 20 мм и шишки (70-75%).

Таблица 44

Запас (т/га в воздушно-сухом состоянии) фитомассы в опушечной зоне монокультур сосны на юге европейской территории России

Состав фитомассы	Возраст насаждения, лет				
	19	26	39	50	70
Живая надземная, в т.ч.: стволы	63,0	90,0	237,0	183,0	224,0
сучья, в т.ч. побеги	33,1	35,6	107,0	88,6	55,9
диаметром (мм) ≤ 7	6,8	10,2	14,0	10,9	6,1
7-15	5,9	8,0	15,9	17,1	7,5
15-30	9,1	11,4	17,1	21,2	11,7
> 30	8,7	6,0	60,0	39,4	30,6
хвоя	12,0	21,4	29,1	24,3	12,0
Итого	105,6	147,0	373,1	295,9	291,8
Мертвая надземная: сухостой	-	-	-	-	-
сучья	4,0	3,0	10,5	3,1	1,5
Итого	4,0	3,0	10,5	3,1	1,5
Мертвая наземная: валеж	-	-	-	0,1	-
Сучья, в т.ч. диаметром (мм)	-	0,4	1,8	0,3	0,6
≤ 5	-	0,2	0,9	-	-
6-10	-	0,1	0,2	0,8	-
> 10	-	0,1	0,7	0,1	0,6
кора	-	-	1,8	1,8	-
шишки	0,8	2,8	0,3	0,7	4,3
хвоя	3,4	1,9	10,0	3,3	6,8
травы	0,1	-	-	-	0,1
полуразложившаяся подстилка	6,4	4,7	30,0	49,0	26,0
Итого	10,7	9,8	43,8	55,2	37,8
Всего	120,3	159,8	427,4	354,2	331,1
Отношение мортмассы к массе живой кроны, %	34,5	22,5	39,9	51,6	58,0

В рядовых культурах мертвая наземная фитомасса распределена неравномерно. От 50 до 75% ее запаса сосредоточено в приствольной зоне, что резко повышает вредоносность низового пожара и вероятность перехода огня в кроны. У стволов опушечных деревьев (с полевой стороны) масса свежего опада больше, чем под деревьями внутри насаждения, а в его структуре преобладают хвоя и шишки.

Показателем уровня пожарной опасности в сосняках может служить и соотношение запаса мортмассы и массы живой кроны деревьев. Из данных табл. 43 и 44 следует, что внутри насаждений оно стремительно увеличивается в период после полного смыкания крон и в жердняках – постжердняках может достигать 300-400%. В насаждения старшего возраста, необеспеченных рубками ухода, запасы мортмассы могут в 5-6 раз и более превышать массу живых горючих материалов. В то время как на опушках 20-40-летних насаждений это соотношение не увеличивается свыше 40%, а позднее – 60%.

5.7. Развитие пожаров в монокультурах сосны

Строение сосновых насаждений и структура образуемых ими лесных массивов существенно отражается на условиях развития лесных пожаров.

Так, преимущественно низовые пожары формируются в насаждениях при сомкнутости полога менее 0,6 и в сомкнутых древостоях при массе опада до 5-7 т/га. Наиболее сложные условия для распространения огня складываются в несомкнувшихся культурах, обеспеченных своевременными агротехническими уходами. Полосы обработанной почвы даже при наличии в междурядьях узких травяных кулис ограничивают продвижение фронта горения несколькими десятками метров. При этом саженцы повреждаются и гибнут очень редко.

В молодых культурах с задерневшей почвой сгорает травостой, на 95-100% подстилка, мелкие сухие побеги на нижних мутовках сучьев. Пламя поднимается по стволам на 0,3-1,5 м и при редком стоянии приводит к гибели сосенок высотой до 2,0 м, в густых сомкнувшихся рядах – 3-6 м. Хвоя в кроне и на живых стелющихся сучьях, как правило, не сгорает. Вскоре после пожара она желтеет и осыпается, образуя новый слой опада. Степень повреждения несомкнувшихся культур и одиночных деревьев зависит от развития и состояния травостоя.

В рединах культур 20-40 лет низовое горение трав и дернины на полянах и прогалинах периодически сменяется подъемом огня в кроны деревьев сомкнувшихся куртин. Высота и интенсивность горения увеличиваются с мощностью слоя опада и повышением сомкнутости куртин, уменьшаются с ростом их охвоенности.

Верховые пожары возникают в насаждениях с высокой сомкнутостью полога и большой массой подстилки. При этом внутри насаждения до минерального слоя выгорает подстилка. Недогар (0,5-1,0 т/га) состоит из фрагментов шишек, коротких отрезков сучьев толще 25 мм и валежника – 50 мм. Практически полностью сгорают мертвые пни, сухие сучья на стволах, тонкий сухостой и зеленая хвоя (рис. 53). Толстомерный сухостой остается в виде "остолопов" высотой 1-4 м и упавших обугленных фрагментов стволов. В местах его контакта с живыми кронами вместе с хвоей сгорают и мелкие живые побеги, но в большинстве сгоревших средневозрастных насаждений они сохраняются на деревьях вместе с шишками различного возраста. Не сгорают и мелкие побеги на живых сучьях, расположенных в широких междурядьях на высоте 1,5-2,0 м над поверхностью почвы. Обугливание стволов распространяется до высоты 3-9 м и нередко достигает уровня живой кроны.

Рис. 53. Сгоревшее при повальном пожаре 40-летнее насаждение сосны на легкосупесчаной нарушенной почве. Михайловский лесхоз Волгоградской обл., сентябрь 1998 г.

Степная растительность на обширных полянах, пустырях, противопожарных разрывах, под пологом деревьев ускоряет распространение огня. При этом выгорает мертвый и живой травостой, дернина, воспламеняются кучки сухой тонкомерной древесины и сучьев. От трав остаются пни и кустовые розетки высотой 1-2 см. Степные разбитые дороги и минерализованные полосы на опушках с открытой стороны легко преодолеваются огнем.

Ряды старых кустов шелюги вблизи опушек сосняков усиливают горение и ускоряют переход огня в их кроны.

Культуры лиственных пород и древесные колки (березовые, осиновые, дубовые и даже ольховые) не сдерживают ландшафтные

пожары. В колках накапливается до 70-150 т/га и более мертвой органики, в сезоны и годы с низким стоянием ГВ они сами выступают очагами и проводниками устойчивого (многодневного) низового и беглого верхового горения и нуждаются в охране. В них сгорает слой подстилки, торфа, валежник, сухостой, кора на корневых лапах и в комлевой части деревьев, местами перегорают корни. Толщина слоя золы достигает 6-10 см. Древостой иногда быстро вываливается, но не исключается его порослевое возобновление.

Верховые пожары в сосняках легко преодолевают разрывы шириной 10-15 м, а горящие частицы при сильном ветре разлетаются на расстояние 300-400 м. Узкие разрывы имеют значение здесь только как технологические коридоры, служащие для прохода техники, выполнения профилактических мероприятий и работ по тушению огня.

Густой самосев сосны высотой 2,5-4,0 м (7-15 лет) в противопожарных разрывах и вдоль теневых опушек насаждений, вопреки господствующему мнению, не является проводником верховых пожаров. Для него характерно куртинное размещение, очень высокая плотность стояния тонкомерных деревьев, слабое развитие и раннее отмирание сучьев на стволах внутри куртин, распространение крон опушечных сосенок до поверхности почвы. В куртинах накапливается небольшая (до 4-7 т/га) масса подстилки. Повальное горение материнского древостоя (высотой 10-12 м) в разрывах шире 25 м переходит в низовой беглый пожар. Сгорают травы, дернина, в куртинах самосева сосны подстилка, подсыхает и позднее осыпается хвоя на сучьях 3-4-х нижних мутовок. Высота обугливания коры у самосева редко превышает 0,5-0,6 м. Отсутствие перехода огня вверх объясняется, по-видимому, как небольшим запасом мортмассы, так и низкой интенсивностью ее горения вследствие затрудненного подтока воздуха под полог густых куртин.

Чрезвычайно интенсивно горят стелющиеся кусты арчи (можжевельника казацкого), поэтому ее заросли среди насаждений сосны следует изолировать широкими полосами минерализованной почвы.

Надежной преградой на пути лесных пожаров в сосняках степной зоны являются большие водоемы, пашня, открытые (подвижные) и слабозаросшие пески, свежие гари и широкие степные участки.

5.8. Противопожарная устойчивость монокультур сосны

Полученные данные позволяют заключить, что в противопожарном отношении наиболее благополучны несомкнувшиеся культуры. Мертвую органику в них составляют в основном травы и усохшие вследствие задернения почвы сосенки. Своевременные уходы за почвой предупреждают отпад саженцев и скопление опада, делают эти насаждения практически негоримыми.

По мере роста культур, распространения сучьев в междурядья травы окончательно вытесняются. В период до смыкания крон и в первые 1-2 года после смыкания тонкий слой подстилки массой 3-4 т/га в сухом состоянии имеется преимущественно только в приствольной зоне, а масса сырой хвои в насаждении достигает своей кульминации (15-30 т/га). В таких насаждениях отношение мортмассы к массе живой кроны составляет 40-60%, и устойчивые низовые пожары в них не формируются (рис. 54).

Самое неблагоприятное распределение в пространстве (объеме насаждения) и большое соотношение (3-4 и более) между мортмассой и массой живой кроны имеют жердняки и насаждения первых десятилетий постжердняковогo возраста (рис. 55). Вследствие быстрого роста и дифференциации древостоя в них накапливается большой запас подстилки, валежника, сухостоя, мертвых сучьев в нижней части стволов (до высоты 1-5 м). В сухую ветреную погоду степные пожары, проникая в такие насаждения, быстро переходят в кроны деревьев и практически не поддаются тушению с помощью традиционных технических средств.

В конце среднего возраста и позднее накопление мортмассы в насаждениях происходит в основном за счет сухостоя, полуразложившейся подстилки, опадения сучьев, но сопровождается увеличением диаметра стволов, толщины коры в базальной части стволов, высоты расположения живой кроны. Сухостой в них имеет товарное значение, периодически вырубается и вытрелевывается. При этом частично вычесывается подстилка. Вероятность верховых пожаров в таких насаждениях снижается, но при большом запасе опада вследствие его интенсивного горения пламя по стволам поднимается на 5-7 м и древостой погибает (рис. 56), особенно на участках с высокобугристым и увалистым рельефом, где при горении подстилки на буграх огонь местами достигает кроны растущих в понижениях деревьев.

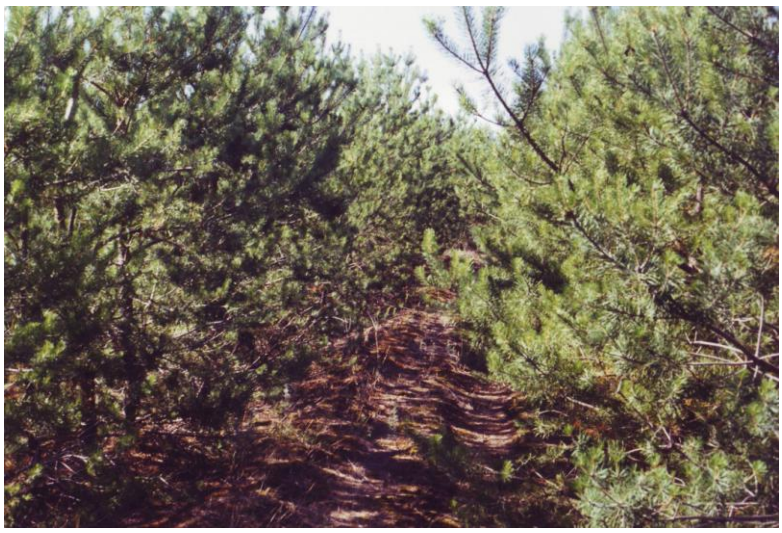


Рис. 54. Смыкающиеся культуры сосны на перевеянной связнопесчаной почве. Арчединский лесхоз Волгоградской обл.

Рис. 55. Строение 30-летнего древостоя в монокультурах сосны на перевеянной связнопесчаной почве. Фроловский лесхоз Волгоградской обл.

Рис. 56. Девяностолетнее насаждение сосны на увалистых песках, погибшее в результате интенсивного низового пожара в июле 1998 г. Даниловский лесхоз Волгоградской обл., сентябрь 1998 г.

Опушка насаждений, как правило, страдает меньше. Ее повышенная устойчивость обусловлена не только плохими условиями горения – слабым подтоком воздуха под низко опущенные сучья, неравномерным распределением слоя подстилки, повы-

шенной влажностью зеленой хвои, травы, но и самым небольшим соотношением мортмассы и живой фитомассы кроны опушечных деревьев. На протяжении жизни полнотных насаждений оно не превышает 40-60%, а в возрасте 20-40 лет – 20-35% (см. табл. 44).

Таким образом, жизнеспособные насаждения сосны на песках степной зоны можно подразделить по устойчивости к пожарам на 3 группы, нуждающиеся в индивидуальных режимах противопожарных мероприятий:

1. Несомкнувшиеся культуры, обеспеченные уходами за почвой, и смыкающиеся молодняки в первые годы после прекращения уходов за почвой в междурядьях;

2. Несомкнувшиеся культуры с сильно задерневшей почвой, сформировавшиеся полнотные молодняки и средневозрастные насаждения;

3. Приспевающие и старшего возраста жизнеспособные насаждения.

Следует отметить, что феноменом засушливой зоны является резкий переход сомкнувшихся культур из группы наиболее устойчивых в группу наименее устойчивых к пожарам насаждений. Он особенно выражен на территории сухой степи, где после смыкания буферные запасы почвенной влаги заканчиваются и культуры переходят в зональный режим водного питания (влагой осадков текущего периода). Дефицит влагообеспеченности древостоя резко увеличивается и происходит залповый сброс избыточной массы хвои. На поверхности почвы междурядий формируется сплошной слой опада, а его масса становится достаточной для устойчивого низового горения.

Другая особенность степной зоны заключается в том, что наиболее опасные в пожарном отношении 15-40-летние культуры сосны имеют большую неоднородность в росте, запасах горючих материалов, площади лесных выделов, потенциальной опасности появления возгораний, обусловленные повышенной пестротой зональных, эдафических, ландшафтных и хозяйственных условий. Это затрудняет их распределение по группам пожарной устойчивости на основании возраста или высоты древостоя. Имеется необходимость более дифференцированного подхода к ее оценке, планированию противопожарных мероприятий и затрат на их проведение. Для решения этой задачи определенную перспективу имеет использование интегральных количественных показателей климатических, ландшафтных и лесоводственных факторов пирогенезиса в сосняках [412].

Предложения по повышению эффективности профилактики и тушения лесных пожаров в культурах сосны степной зоны содержатся в опубликованных технических нормативах [10, 240], что освобождает от необходимости излагать их в этой работе.

5.9. Усыхание сосновых насаждений от корневой губки

В субгумидных и гумидных районах нашей и зарубежных стран, где культуры сосны получили широкое распространение много десятилетий назад, проблема усыхания насаждений, биология гриба корневая губка (*Heterobasidion anrosum*), методы и приемы борьбы с вызываемой им патологией глубоко изучены и освещены в специальной литературе [166, 279]. На территории засушливой зоны России, несмотря на наличие специфического очагового усыхания сосны, такие исследования не проводились. Тревога о наличии в регионе этого опаснейшего заболевания в научных кругах не прозвучала.

По данным мониторинга Федеральной службы лесного хозяйства России (1999 г.) в 1996 г. площадь очагов корневой губки в сосняках Ростовской и Волгоградской обл. была в целом небольшая (30 и 126 га), в то время как в Воронежской обл. она составляла около 10 тыс. га. Это явно не коррелировало с данными наших рекогносцировочных наблюдений, проведенных в начале 90-х годов минувшего века в ряде лесхозов степных областей.

С целью выяснения уровня опасности корневой патологии для сосняков засушливой зоны, а также ее роли в появлении вспышки скоротечного очагового усыхания культур (см. разд. 5.10), в 1995-1997 гг. было проведено экспедиционное обследование насаждений сосны в лесхозах Волгоградской (Калачевский, Подтелковский, Алексеевский, Новоаннинский, Михайловский, Даниловский, Котовский) и Ростовской (Обливский, Вешенский) обл. Почти во всех были обнаружены различной величины и встречаемости очаги корневой губки. Их детальное изучение было проведено в старовозрастных насаждениях (80-90 лет) Нижневолжской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ (г. Камышин) и Камышинского лесхоза. Предварительно на стереопарах аэрофотоснимков в масштабе 1:10000 было определено состояние насаждений, намечены маршруты инструментальных ходов, пересекающих несколько очагов усохших насаждений, перемежающихся с участками здоровых или распадающихся куль-

тур. Фотоматериалы залетов 1986 г. позволили установить изменение ситуации на момент проведения исследований.

На Нижневолжской станции инструментальный (теодолитный) ход протяженностью 542 м, заложенный в кварталах 18 и 13, пересек 5 очагов различной величины (по фотоснимкам 1986 г. от 700 до 6000 м^2). Ко времени обследования все очаги увеличились в размерах, некоторые сомкнулись (рис. 57).

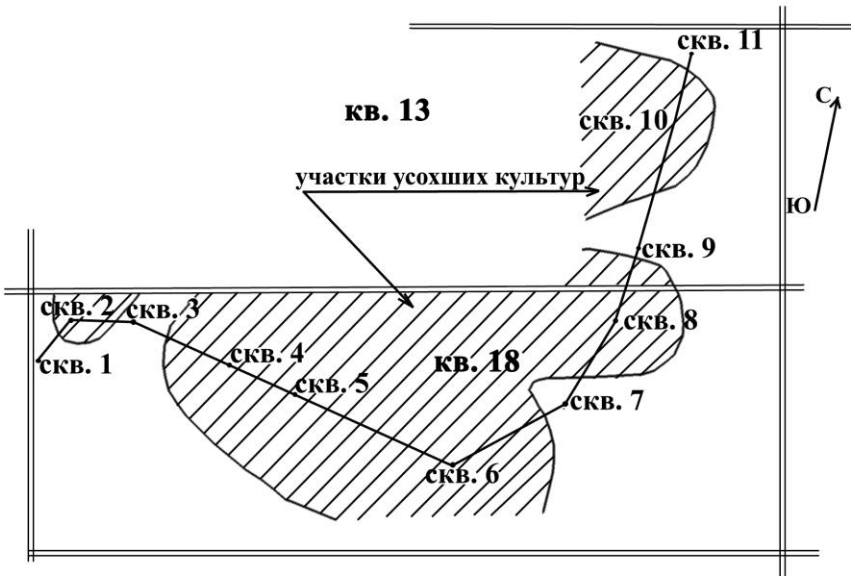


Рис. 57. Инструментальный ход через сосновое насаждение посадки 1907 г., погибающее вследствие поражения корневой губкой. Нижневолжская НИС (г. Камышин), 1996 г.

Обследованная территория имеет общий уклон на восток. Перепад высот по инструментальному ходу (высшая точка в начале хода, низшая – в конце) составляет 26 м.

На трассе инструментального хода и вне его заложено 11 буровых скважин глубиной 300 см для характеристики почвенно-грунтовых условий в здоровых, распадающихся насаждениях (редины) и в очагах погибшей сосны (прогалины) (табл. 45). По данным описания не прослеживается явной связи состояния насаждения со строением почвогрунта. В частности такой важный показатель лесорастительных условий как мощность эолового наноса песка не коррелирует с сохранностью сосняков. Известно, что наличие наноса мощностью до 50-70 см на развитой супесчаной почве улучшает ее лесопригодность в засушливой зоне. На обследованном же участке мощность эолового наноса под здоровыми насаждениями составляла 0-20 см (в среднем 12 см), в то время как в очагах погибших культур – 0-55 см (в среднем – 34 см). Мощность аккумулятивных горизонтов (А + В + ВС) совместно с эоловым наносом в сохранившихся насаждениях находится в пределах 80-100 см (в среднем 93 см), в очагах – 70-125 см (в среднем 107 см). В реданах –

мощность эолового наноса песка – от 0 до 60 см (в среднем 24 см), мощность Эол + А + В + ВС – от 25 до 150 см (в среднем 100 см). Следовательно, мощность слоя песка до 100-150 см на поверхности погребенной легкой почвы не оказывает заметного влияния на активность корневой патологии.

Таблица 45

Почвенно-грунтовые условия в пораженных корневой губкой насаждениях сосны. Нижневолжская станция ВНИАЛМИ (кв. 18 и 13)

Скважина	Расстояние по ходу, м	Место закладки скважины	Генетический горизонт, глубина (см), гранулометрический состав				
			Эол	А + В	ВС	С	Д
1	0	Здоровое насаждение	0	0-55 лс	55-100 сп	100-200 сп	> 200 сг – лс
2	30	Очаг	0-40 п	40-60 с	60-90 с	90-250 сп	> 250 сг – сп
3	62	Редина	0	0-15 тс	15-150 сп	>150 п	-
4	124	Очаг	0	0-25 лс	25-70 сп	70-170 сп	> 170
4а	Вне хода	Здоровое насаждение	0-20 п	0	20-100 сп	100-150 сп	> 150 лс
5	172	Редина	0	0	0-25 лсг	25-150 лс	> 150 сг
6	258	Очаг	0-20 п	20-80 с	80-130 с	> 130 сп	-
7	328	Редина	0-60 п	60-80 с	80-110 с	> 110 сп	-
8	386	Очаг	0-55 п	55-105 лсг	105-125 лсг	125-250 лсг	> 250 сп
9	424	Редина	0-35 п	35-80 тс	80-115 лсг	115-255 лсг	> 255 сп
10	504	Очаг	0-55 п	55-85 тс	85-120 лсг	120-175 лсг	> 175 лсг – сп
11	542	Здоровое насаждение	0-15 п	15-55 лс	55-80 лсг	> 80 лс – сп	-

Примечание. Здесь и в табл. 49: п – песок, сп – связный песок, с – супесь, лс – легкая супесь, тс – тяжелая супесь, сг – суглинок, лсг – легкий суглинок.

Вместе с тем было замечено, что в юго-западной, наиболее приподнятой, части соснового массива, в насаждениях сосны того же возраста на средне-высокобугристых песках, где почва полностью разрушена и перевеяна, распространение очагов усыхания почти не прослеживается.

Для характеристики насаждений, пересекаемых инструментальным ходом, были заложены ПП (табл. 46).

ПП 1 и 2 характеризуют достаточно сохранившуюся часть насаждения. Они заложены вблизи очагов погибшей сосны. Процесс распада уже затронул эти участка, в них имелось 120-160 усохших деревьев и свежих пней в расчете на 1 га. Остальные ПП заложены в распадающихся насаждениях с наличием усохших деревьев и свежих пней до 400-450/га.

Заметных различий по таксационным показателям между

погибающими и еще сохранявшимися насаждениями не прослеживалось. Можно констатировать, что последние не отличались лучшим ростом.

Таблица 46

Таксационная характеристика соснового насаждения, поврежденного корневой губкой. Нижневолжская станция ВНИАЛМИ, 1995 г.

Здоровые деревья, шт./га	Средние		Запас стволовой древесины, $м^3$/га	Бонитет	Полнота
	Д, см	Н, м			
560	25,9	17,4	256	IV	0,93
720	23,2	16,9	222	IV	0,81
183	24,0	19,0	88	III	0,25
367	22,4	17,8	121	IV	0,44
375	27,9	18,1	195	IV	0,71
211	34,5	20,0	166	III	0,53
376	24,1	18,2	154	IV	0,56

Динамика радиального прироста ствола сосны, усохшей в 1994 г. в возрасте 87 лет (рис. 58), также не дает основания считать, что он имеет заметные отклонения от нормального хода. До 16 лет дерево имело бурный рост (диаметр увеличивался на 6-8 мм/год), в последующие годы до 45-летнего возраста прирост по диаметру составлял в среднем 1,2-1,4 мм, а после 45 лет около 1 мм с падением в отдельные годы до 0,2-0,4 мм. Такие особенности роста следует считать обычными для насаждений степной зоны при атмосферном водном питании. Четкая реакция дерева на заболевание не прослеживается. Лишь прирост в течение последних 5 лет (в возрасте 80-84 лет) можно объяснить ослаблением дерева корневой губкой.

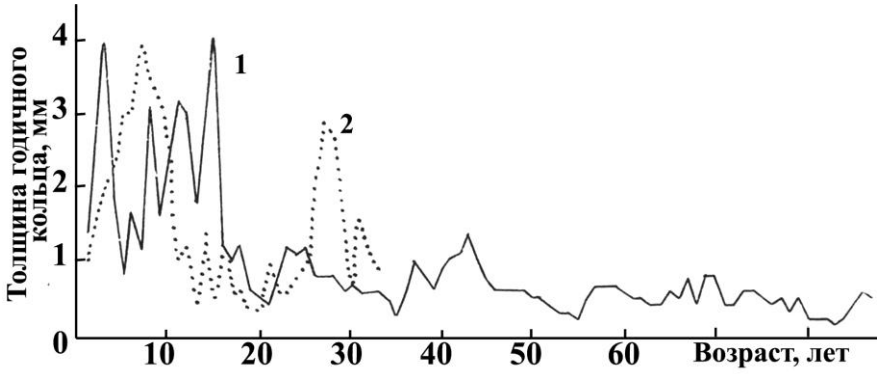


Рис. 58. Динамика радиального прироста ствола сосны посадки 1907 г., усохшей от корневой губки в 1994 г. (1) и ствола 35-летней самосевной сосны в очаге усыхания (2)

Материалы лесоустройства 1973 г., аэрофотоснимки 1986 г. и данные полевых наблюдений позволили проследить интенсивность очагового усыхания древостоя сосны за последние 22 года

(табл. 47). Так, до смыкания очагов (с 1973 по 1986 гг.) ежегодный прирост их площади составлял в среднем около 1,9%. После смыкания трех самых крупных очагов он уменьшился и в течение 10 лет сохранялся на уровне 1,3% в год. Ежегодное увеличение очагов по радиусу составило 1,0-1,5 м. Это подтверждалось и характером размещения пней срубленных деревьев разной степени разложения, а также усохших, усыхающих и внешне здоровых деревьев по его периферии. Очаг наступал не четким сплошным фронтом, а диффузным проникновением в насаждение. В течение 3-5 лет во внешнем кольце очага шириною до 6-8 м встречались деревья как разной стадии усыхания, так и внешне здоровые (рис. 59). Внутри очагов имелись разновозрастные куртины подроста сосны. Среди наиболее крупных экземпляров были и сильно наклоненные, практически упавшие деревья с зеленой кроной. Осмотр показал, что у них сгнил и сломался стержневой корень, а питание деревьев обеспечивали крупные горизонтальные тяжи.

Таблица 47

Динамика усыхания культур сосны 1907 г. в кв. 13 и 18 вследствие поражения корневой губкой. Нижневолжская станция ВНИАЛМИ

Единица измерения	Протяженность хода	Протяженность усохших насаждений по ходу		
		1973 г.	1986 г.	1995 г.
м	542	185	320	385
%	100	34	59	71

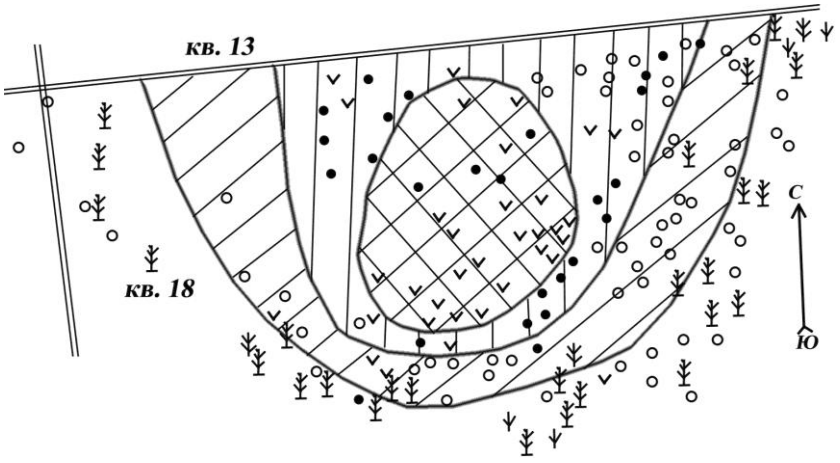


Рис. 59. Динамика роста очага корневой губки в 90-летнем насаждении сосны. Нижневолжская станция ВНИАЛМИ, кв. 18:

– здоровые, – усыхающие, – усохшие (1-2 года) деревья; – пни старше 10 лет, – пни 6-10 лет, – пни 2-5 лет; – очаг 12-15 лет назад, – очаг 6-8 лет назад, – очаг 3-5 лет назад

По наличию, величине и скорости роста очагов усыхания сосны в период лесоустройства 1973 г. (три участка общей площадью 0,5 га) можно утверждать, что они появились примерно в 1955-

I960 гг., когда культурам было 46-53 года. Этот факт и характер развития очагов в последующие годы позволяют говорить о том, что усыхание сосняков Нижневолжской станции не является следствием распада насаждений, достигших предельного возраста.

Урочище "Куланинская сосна" (кв. 18 Добринского лесничества Камышинского лесхоза) представляло собой массив площадью 137 га эллипсовидной формы, вытянутый с северо-запада на юго-восток. Половина его (70,3 га) было занято чистыми культурами сосны 80-летнего возраста относительно высокой производительности (табл. 48). Урочище располагалось на возвышенности по водоразделу между Волгой и Иловлей, окруженной овражно-балочными системами.

Таблица 48

Таксационная характеристика 80-летнего соснового насаждения. Ур. "Куланинская сосна", 1995 г.

Здоровое дерево, шт./ га	Средние		Запас стволовой древесины, $м^3$/га	Бонитет	Полнота
	Д, см	Н, м			
510	24,9	18,4	204	IV	0,75
413	29,7	19,0	273	III	0,77
428	28,2	18,2	231	IV	0,84

На аэрофотоснимках 1986 г. видно большое число округлых пятен – участков усохшего насаждения, приуроченных в основном к северо-восточной и юго-восточной частям массива. Здесь на площади 37 га было более 20 очагов площадью 0,1-0,5 га.

Обследование проведено в юго-восточной части массива. Инструментальным ходом протяженностью 633 м было пересечено три очага усыхания, зафиксированных на аэрофотоснимках 1986 г. Ко времени обследования два из них сомкнулись (рис. 60). Насаждение сосны практически распалось – 45% его площади было занято прогалинами, которые продолжали увеличиваться.

Сохранившаяся часть насаждения была расчленена на отдельные рощицы и гривки часто в виде редин. В них имелся самосев, подрост сосны (обычно куртинами), а также подлесок из разреженного яруса лиственных пород деревьев и кустарников (береза, клен остролистный, ясень обыкновенный и зеленый, яблоня лесная, робиния, дуб, вяз обыкновенный, смородина золотая, шиповник). Неплотный живой напочвенный покров состоял из полыни австрийской, кипрея, типчака, тысячелистника и других трав (см. прилож 1).

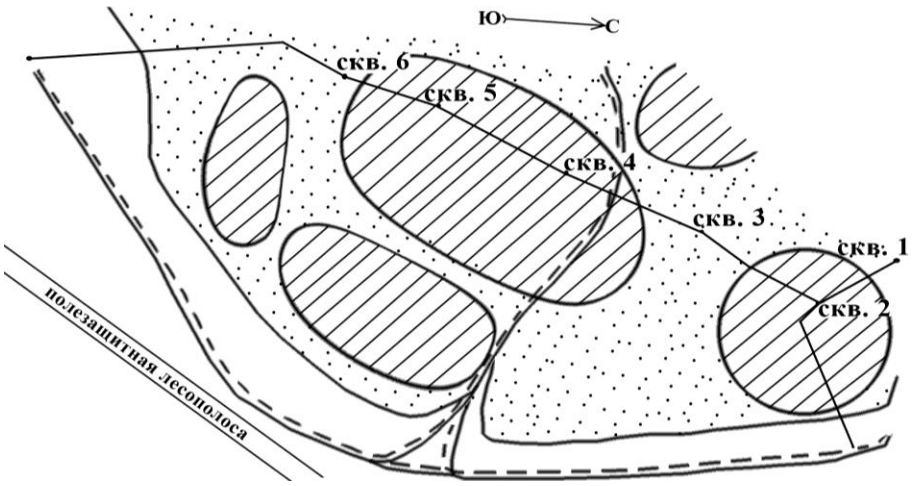


Рис. 60. Схема расположения очагов корневой губки в 80-летнем насаждении сосны в юго-восточной части ур. "Куланинская сосна". Камышинский лесхоз, Добринское лесничество, кв. 18 (– очаги, – дороги, – инструментальный ход и буровые скважины)

В очагах усохших культур почва была остепнена, в покрове господствовали типчак, мятлик, кипрей, осот розовый, молокан, астрагал, кермек, ястребинки и др. Имелись куртины подроста сосны и лиственных пород деревьев и кустарников, а также пни сосны различного возраста, по периферии – одиночные усохшие и усыхающие деревья. Куртины подроста сосны, как правило, были поражены корневой губкой.

Обилие и разнообразие лиственных пород, травянистого покрова являлось следствием довольно благоприятных почвенно-грунтовых условий, представленных супесчаной и легкосуглинистой темно-каштановой почвой на слоистых песчано-суглинистых грунтах. Разнообразие растительности повышала неравномерная эродированность почвенного покрова.

Бурение почвогрунта на глубину 300 см по ходу экологического профиля (табл. 49), как и в насаждениях Нижневолжской станции, не обнаружило четкой приуроченности очагов усыхания сосны к определенной структуре покровных отложений, хотя тенденция повышения устойчивости насаждений к корневой патологии на более легких и глубже погребенных почвенных разностях заметна.

Очаги усыхания сосны по типу корневой губки в насаждениях старше 40 лет в 1996-1997 гг. были распространены в Михайловском и Даниловском лесхозах на Медведицких песках. В старовозрастных сосняках Штабного лесничества Даниловского лесхоза площадь прогалин, вызванных очаговым усыханием деревьев, составляла 20-30% площади насаждений.

Таблица 49

Почвенно-грунтовые условия и состояние насаждений в урочище "Куланинская сосна". Камышинский р-н, Волгоградская обл.

Скважина	Расстояние по ходу, м	Место закладки скважины	Генетические горизонты, глубина (см), гранулометрический состав				
			Эол.	А + В	ВС	С	Д
1	0	Здоровое насаждение	0-60 п	60-90 тс	90-170 тс	> 170 с	-
2	79	Очаг	0	0-35 лсг	35-60 лсг	> 60 сг	-
3	127	Здоровое насаждение	0-105 п	105-120 с	120-150 сг	150-245 лсг	> 245 сп
4	213	Очаг	0-25 п	25-60 лсг	60-145 лсг	> 145 п	
5	297	Очаг	0-30 п	30-50 лс	50-90 лс	90-120 с	> 120 сп – лсг
6	357	Здоровое насаждение	0-10 сп	10-40 лсг.	40-120 лс	> 120 п	-

Характерные для корневой губки очаги встречались также в сосняках на песках Северского Донца. По данным Ростовского управления лесами, в Митякинском лесхозе ему были подвержены насаждения на площади 267 га.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают широкое распространение в сосновых насаждениях на юге ЕТР очагового усыхания культур сосны в результате поражения корневой губкой. Ущерб только от этой грибной патологии измеряется потерей десятков тысяч кубометров ценной стволовой древесины. Помимо этого, усыхание ведет к образованию очагов стволовых вредителей (короеды, лубоеды, усачи, златки), весьма опасных в сосняках степной зоны. Гибель насаждений вызывает также распад мест обитания ценных диких животных, рекреации, воспроизводства кислорода и оздоровления окружающей среды.

Возбудитель болезни гриб *Heterobasidion annosum* (корневая губка) был диагностирован в образцах древесины корней погибших деревьев в микробиологической лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия Россельхозакадемии фитопатологом И. Ф. Горбуновой.

5.10. Повреждение культур сосны стволовыми вредителями

Из практики лесоразведения известно, что выращивание насаждений сосны обыкновенной на степных песках сопровождается более частыми и крупными вспышками размножения и повре-

ждения их хвоегрызущими, стволовыми и другими вредителями, чем на территории естественного ареала этой породы [46, 173 и др.]. Это объясняется как благоприятным для развития насекомых климатом, так и потенциально пониженной резистентностью сосны в засушливых условиях, а также, по-видимому, отсутствием полноценного природного (биоценотического) комплекса сдерживания инвазий.

Так, в районе среднего Дона (в долине р. Медведицы) в 80-е годы XX столетия возникло, а в 90-е получило стремительное распространение ранее здесь неизвестное, как бы внезапно возникающее неоднократно за вегетацию скоротечное очаговое (куртинное) усыхание средневозрастных полнотных насаждений сосны без явных признаков связи с почвенно-климатическими факторами (рис. 61).

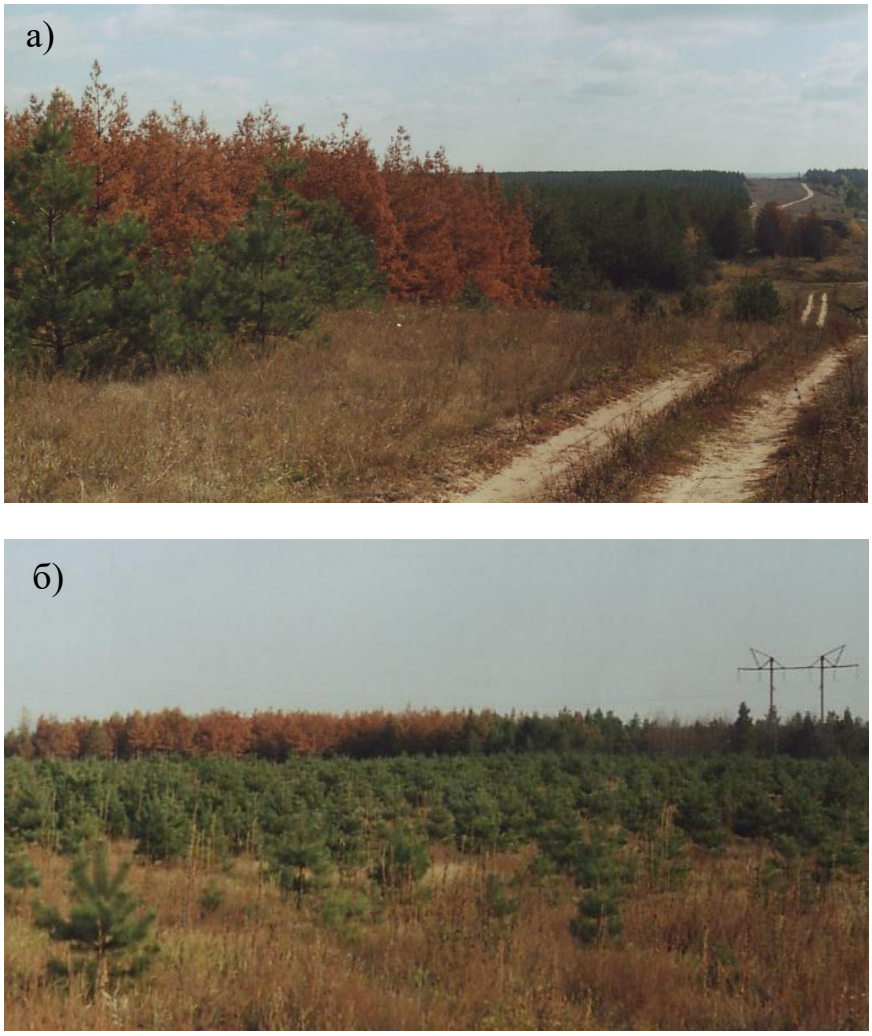


Рис. 61. Очаги усыхания 18-летних культур сосны на каштановой супесчаной почве Медведицкой гряды (а) и 30-летних – на связнопесчаной почве долины р. Медведицы (б) вследствие повреждения короедами. Даниловский лесхоз Волгоградская обл., 1996 г.

В 1995-1998 гг. было установлено [211], что до начала 90-х годов оно происходило на ограниченной (25-30 тыс. га) территории с центром вблизи станицы Островская (Даниловский р-н,

Волгоградская обл.). Затем стало "растекаться" вниз и вверх по течению реки, перешло в островные массивы культур на склонах ее коренных берегов, водораздельных плато окружающих возвышенностей и перекинулось в сосняки степного Заволжья. Особенно активно усыхание распространялось по придорожным ЛП и кулисным насаждениям. К концу 1995 г. площадь района увеличилась в 5-6, в 1997 г. еще в 8-10 раз и превысила 2 млн га. Его протяженность с юго-запада на северо-восток составила 200 км. В 1995-1997 гг. площадь очагов, запасы сухостоя интенсивно нарастали и ситуация поочередно выходила из-под контроля лесхозов. Только за 1996 г. погибло свыше 500 га культур, т. е. примерно столько же, сколько за весь предшествовавший 10-12-летний период. Лишь многочисленные крупные пожары 1998 г. нарушили эту закономерность.

В 90-е годы усыхание затронуло уже насаждения всех возрастов – от несомкнувшихся 7-10-летних культур с задернелой почвой, куртин самосева 5-16 лет до самых старых (70-90 лет) древостоев, переживших не одну острую засуху, на территориях с различным рельефом, контрастными почвенно-грунтовыми условиями, в т. ч. и с корнедоступной ГВ. Отсутствовали группы устойчивых деревьев, быстрее отмирали высокополнотные (0,8-1,2) насаждения Ia-II бонитета на глубокогумусированных связнопесчаных и супесчаных отложениях, одних из самых благоприятных для роста сосны на широте р. Медведицы [41, 89].

Очаговое усыхание возникло и приобрело затяжной характер в период явно нараставшей гумидности климата (табл. 50). Так, на Средней Медведице за 50 лет (с 1946 по 1995 г.) среднегодовая сумма осадков (по десятилетиям) увеличилась на 40%. Число засух уменьшилось с семи (за 1946-1960 гг.) до четырех (за 1981-1995 гг.). Наиболее сильные наблюдались в 1984, 1991 и 1994 гг. (осадков выпало соответственно на 40, 28 и 31% меньше нормы), но они не вызвали гибели молодняков. Сомкнутые насаждения после закономерного снижения текущего прироста в высоту в следующие за засухами годы быстро восстанавливали его (рис. 62) и продолжали нормально развиваться.

В октябре 1995 г. в 28-30-летних культурах в кв. 75 Островского лесничества Даниловского лесхоза на связнопесчано-супесчаных слоистых почвогрунтах гривистой поймы р. Медведицы и в массиве (площадью около 1 тыс. га) 18-22-летних культур на

Таблица 50

Динамика атмосферного увлажнения на Средней Медведице (по данным ГМС г. Михайловки) за период с 1936 по 1995 г.

Год	Сумма осадков, мм/год			Коэффициент вариации
	средняя	минимальная	максимальная	
1936-1945	382	239	622	28,2
1946-1955	356	223	535	27,5
1956-1965	437	270	567	20,6
1966-1975	449	257	579	22,0
1976-1985	464	259	619	21,8
1986-1995	500	296	620	23,4
1936-1995	431	223	622	24,8

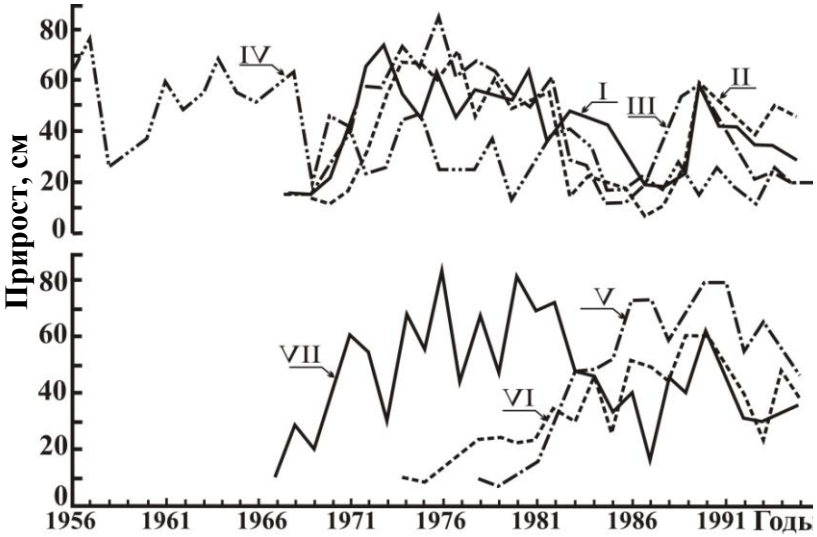


Рис. 62. Текущий прирост в высоту модельных деревьев в усыхающих от повреждений короедами культурах сосны, произрастающих в долине р. Медведицы (I-IV, VII) и на водораздельном плато (V, VI); I, III, VI – усохли в 1995 г., IV – в 1996 г. при корнедоступной ГВ; II, V, VII – живые

Доно-Медведицкой гряде (в 7-8 км к востоку от кв. 75), созданном в процессе облесения эродированных каштановых супесчаных почв, была обнаружена чрезвычайно высокая плотность короедов (*Ips sexdentatus Boern*. и *I. acuminatus Gyll*.). Ни внешний вид 3-5 лет назад, ни таксационные показатели этих насаждений (табл. 51) не предвещали их скорой гибели. Но уже к концу 1995 г. в кв. 75 на 90 из 150 га деревья были вырублены сплошь и на значительной площади вместе с кронами в виде завалов оставлены на месте как показатель полной дезориентации лесхоза в причинах гибели сосны. Состояние несрубленной части насаждений также было критическим и не имело связи с рельефом местности и характером почвогрунта (табл. 52). Деревья отмирали даже в межгривье на участках с плодородным, выщелоченным слоистым аллювием при дополнительном увлажнении перераспределенными осадками, возможностью формирования верховодки и исключительно хорошем росте накануне.

В массиве культур на возвышенности усыхание сосны началось на 5-7 лет, а в критическое состояние (под сухостоем 70-30% площади) насаждения пришли на 1-3 года позднее.

Таблица 51

Таксационная характеристика насаждений сосны с очаговым усыханием. Островское лесничество Даниловского лесхоза, октябрь 1995 г.

Возраст, лет	Состояние	Число деревьев, шт./ га			Дср, см	Нср, м	Класс бонитета	Полнота	Запас древесины, $м^3$/га
		здоровые	усохшие	всего					
28	Усохшие: май – июнь 1995 г.	115	2805	2920	12,9	12,0	I	1,2	236
	август – сентябрь 1995 г.	209	2441	2650	12,5	11,2	II	1,1	190
28	Здоровые	1665	215	1880	15,9	12,0	I	1,2	232
18	То же	2596	198	2794	10,7	6,9	II	1,1	105
22	Усохшие, июнь 1995 г.	40	4460	4500	9,5	9,0	I	1,2	159

Таблица 52

Динамика очагового усыхания 28-30-летних насаждений сосны в кв. 75 Островского лесничества. Даниловский лесхоз, октябрь 1995 г.

Состояние	Протяженность экологических профилей		Высота над урезом воды, м		Амплитуда в рельефе	
	м	%	мин.	макс.	м	% от макс.
Усохшие:						
более 5 лет назад	300	17,7	9,0	10,7	1,7	26
2-5 лет назад	443	26,1	5,4	10,7	5,3	80
1994 г.	262	15,4	6,8	11,3	4,5	68
1995 г.	328	19,3	4,7	10,6	4,9	72
Здоровые	367	21,5	4,7	8,8	4,1	62

В окрестностях станицы Островской и по всему району усыхания для искусственных сосняков были характерны следующие особенности:

насаждения вплоть до появления куртин внезапно погибших деревьев хорошо растут, имеют высокую сомкнутость полога;

в четко очерченных куртинах диаметром от 5-7 до 50 м и более (нередко с "ковром" из упавших густоохвоенных побегов, источенных ходами насекомых) чаще отмечается поражение всех деревьев исключительно вершинным короедом;

в насаждениях старше 20 лет встречаются и куртины деревьев, пораженных только шестизубчатым короедом (их границы до пожелтения хвои визуально плохо различаются);

нередки совместные очаги этих короедов, а в насаждениях старше 50 лет они иногда формируются и с участием златки (*Phaenops cyanea* Fr.);

гибель заселенных короедами деревьев скоротечная: при нападении шестизубчатого короеда грубая кора на стволах начинает отпадать раньше, чем пожелтеет крона;

в летних очагах вершинного короеда крона отмирает еще при живых тканях нижней части ствола;

выделяются куртины деревьев разных периодов усыхания: раннелетнего (май – июнь), летнего (июль – август) и осеннего (сентябрь – октябрь);

новые очаги короедов появляются как вблизи старых (примыкая к ним, образуют галереи последовательно усохших деревьев), так и на разном удалении от них (на хорошо прогреваемых участках леса);

в насаждениях встречаются куртины стоящих или упавших деревьев (лишенных хвои, мелких побегов, коры), погибших более 2-5 лет назад, сучья и стволы которых испещрены ходами личинок короедов.

В целом в районе усыхания сосны, где около 90 % составляли насаждения в возрасте до 40 лет, преимущественное распространение получили очаги размножения вершинного короеда. При их автономном развитии массив одновозрастных насаждений погибал за 10-12 лет. Интенсивность этого процесса (% от площади) подчиняется функции

$$y = e^{1{,}965 + 0{,}259X} \quad (r = 0{,}95;\ m = \pm 1), \qquad (72)$$

где X – порядковый номер года от начала вспышки.

При распространившемся миграционном зарождении очагов насаждения отмирали в 2-3 раза быстрее. Плотность заселения насекомыми быстро усыхающих насаждений достигала нескольких десятков млн имаго/га.

Все изложенное является неоспоримым свидетельством возникновения в конце XX столетия на территории степной зоны Волго-Донского междуречья обширного очага массового размножения короедов сосны, где при высокой плотности имаго перешли на питание в режиме первичных вредителей. Без их оперативного истребления инвазия угрожала нанести трудновосполнимый урон искусственным хвойным лесам. До резкого снижения численности насекомых профилактические меры борьбы с ней оказались бы неэффективными. Только крупные пожары,

ежегодно возникавшие в культурах сосны на протяжении последних 20-25 лет, сдерживали и в итоге остановили распространение короедов по всему этому региону и за его пределы.

Описанное явление в культурах сосны на юге европейской России почти повторяет события 30-х годов в кедровниках Дальнего Востока [186], сродни усыханию культур в Бузулукском бору при массовом размножении подкорного клопа (*Aradus cinnamomeus* Panz.), их расстройству на Нижнем Днепре под влиянием побего-вьюнов из рода *Evetria* и других насекомых. Оно имеет много общего с повреждением сосны на Ишимской равнине лубоедом *Dendroctonus micans* Kug. [195]; охраняемых еловых лесов в Словацкой Республике, Польше, а также в последние годы в Подмосковье короедом *Ips typografus* L. [424, 438]. Первопричина всех этих явлений – благоприятные условия для массового размножения вредителей на достаточно большой площади, возникающие из-за ослабления насаждений засухами и техногенным загрязнением; пожаров, ветровалов, несвоевременной рубки и т. п. – т. е. потенциальная или приобретенная биоценотическая неполноценность лесных экосистем. Но опасное развитие они получили только при недостаточном оздоровлении древостоев хозяйственными мерами.

Очевидно, что короедное усыхание сосны на юге европейской России, а также заметный рост вредоносности соснового шелкопряда *Dendrolimus pini* L., сосновой совки *Panolis flammea* Schiff., ускорение развития очагов гнилей (*Heterobasidion anrosum, Armillaria mellea* Karst.), увеличение числа лесных пожаров – есть результат лесохозяйственных упущений. Они еще раз указывают на возможность в степной зоне гибели искусственных лесов при ослаблении хозяйственного контроля, недооценке необходимости их надежной охраны и защиты в течение всей жизни.

6. ЛЕСИСТОСТЬ АРЕН И ГИДРОЛОГИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

Принято считать, что песчаные массивы речных долин, аккумулируя влагу атмосферных осадков, питают меженный русловой сток, и таким образом играют важную водорегулирующую роль. Однако по территории засушливой зоны она существенно меняется и до сих пор не имеет однозначной количественной оценки. Это объясняется неоднородностью климатических, погодных условий, геологическим, геоморфологическим разнообразием арен, динамичностью состояния их почвенно-растительного покрова, а также различиями в методике расчетов.

Основными статьями водного баланса арен считаются вертикальные атмосферные осадки (приход), физическое испарение, транспирация и грунтовый сток влаги за пределы ризосферы растений (расход). Имея в целом относительно низкую водоудерживающую способность отложений и плотность растительного покрова, песчаные массивы пропускают через зону аэрации значительную часть атмосферной влаги и вызывают периодический подъем УГВ на занятой ими территории, излишки которой под действием гравитации стекают в гидрографическую сеть. Очевидно, что величина грунтового стока при прочих равных условиях зависит от величины осадков, а она испытывает большие колебания по годам, которые увеличиваются с нарастанием засушливости климата (см. разд. 2.5). Поэтому следует признать, что правы те исследователи, которые считают, что гидроаккумулирующая функция песчаных массивов проявляется в основном во влажные годы [330] и приводит к накапливанию большого количества грунтовой влаги тогда, когда продуктивная составляющая атмосферных осадков существенно превышает влагоемкость периодически иссушаемого КС растительного покрова. В засушливые годы накопленная в песках грунтовая влага расходуется на горизонтальный отток и транспирацию фреатофитов, а ее пополнение может и не происходить на протяжении целого ряда лет.

Это подтверждают и расчетные данные влагонасыщения 2-мет-

рового слоя почвогрунта под низкопродуктивными (запас сырой хвои 7,5 т/га) насаждениями сосны (см. прилож. 8). Согласно им отток влаги из ризосферы древостоя, сложенной рыхлыми и связными песками, может происходить только в районах с нормой осадков 300-500 мм/год, легкими супесями около 500, средними супесями – 600 мм/год и более в аномально влажные годы. В засушливые годы в поясе степей с осадками 300-500 мм/год оттока влаги за пределы 2-метрового слоя не происходит. В средние по увлажнению годы при норме осадков 400-500 мм/год только из рыхлых песков в глубокие слои стекает 10-20 мм влаги.

Таким образом, закономерно снижение гидрологической роли арен в направлении усиления засушливости климата, повышения влагоемкости и корнепроницаемости поверхностных отложений, а также при увеличении плотности растительного покрова (по мере зарастания песков). В пределах одного климатического района различные типы песков имеют разное гидрологическое значение. Можно утверждать, что на территории засушливой зоны водный режим участков заросших трудно корнепроницаемых кварцевых песков и наиболее влагоемких почвогрунтов слабо реагирует на изменение характера растительного покрова, например, на их облесение. По-видимому, небольшая мощность биологически активного слоя на преобладающих типах песков засушливой зоны является одной из причин, по которой многие исследователи [135, 253, 262, 310, 314, 315, 330, 377 и др.] не находят заметной разницы в водопотреблении степной, полевой и лесной растительности. Вместе с тем предрасположенность однофазных песчаных отложений к гравитационному (само-) иссушению (см. разд. 2.7.1) несколько корректирует распространенное мнение об отрицательном влиянии увеличения мощности зоны аэрации арен на их гидрологическое значение, особенно в наиболее распространенном ее диапазоне – 3-10 м.

Изложенное выше позволяет говорить и о том, что оценка водного баланса арен на основании средней многолетней нормы осадков может приводить к большой погрешности. Так, на территории, занятой массивами древних легких почв и связных полиминеральных песков с развитым растительным покровом, осенний дефицит влагонасыщения КС (2-3 м) составляет не менее 180-250 мм и в степных, полупустынных районах существенно превышает среднюю сумму эффективных осадков холодного периода (100-150 мм). Сквозное промачивание при значительной мощности отложений

может происходить здесь только в годы с повышенной суммой осадков и относительно теплой погодой в период после окончания вегетации растений и до начала их активного роста следующей весной. С учетом потери влаги на физическое испарение за этот период в размере примерно 20%, она составит более 230-310 мм. Частота повторения таких лет невелика и сильно меняется по периодам наблюдений. Например, на широте г. Михайловки Волгоградской обл. (на границе засушливой и сухой степи) за период наблюдений с 1935 по 1995 гг. (61 год) за октябрь – март количество осадков более 230 мм выпало в 31%, а более 310 мм в 5% случаев. На широте Волгограда (на границе сухой степи и полупустыни) за период с 1861 по 1995 гг. (без пробелов в наблюдениях, за 110 лет) – 24% и 6% случаев. Средний интервал между ними составляет соответственно 3 и 20, 4 и 16 лет. Если объем проникшей в ГВ атмосферной влаги разделить на этот интервал, то среднегодовая дотация дренажному стоку составит незначительную величину и можно считать, что на этих типах песков осадки практически целиком расходуются на суммарное испарение, а при облесении водный режим зоны аэрации арен не ухудшается.

По-видимому, повышение лесистости несущественно изменяется и водный режим заросших мелкобугристых песков, возникших вследствие развеивания почв на древнеаллювиальных кварцевых отложениях. При относительно глубоком залегании ГВ производительность как травянистой, так и древесной растительности здесь ограничивает минеральная бедность и небольшая (1,5-2,0 м) мощность КС (см. разд. 2.3, 2.8, 2.9).

Репрезентативность традиционной оценки водного баланса несколько повышается по отношению к наиболее низковлагоемким и слабозаросшим пескам, где вероятность устранения осеннего дефицита влажности отложений позднеосенне-зимними осадками относительно высока.

Самым активным аккумулятором атмосферной влаги являются открытые пески (в сухой степи они пропускают в ГВ около 70% атмосферных осадков), но при умеренной хозяйственной нагрузке их доля в покрове арен не превышает 1-5%. Наибольшую роль в гидрологическом режиме арен играют глубоко расчлененные (грядово-бугристые, высокобугристые и др.) низковлагоемкие пески со сложной мозаикой глубины залегания ГВ, потенциально слабо развитым, но разнообразным растительным покро-

вом. Они занимают 20-30% их площади и являются перспективным объектом ландшафтного облесения и многоцелевого использования (см. гл. 7 и 8). Материалы натурных исследований в Среднем Придонье, проведенных в первой половине 90-х годов минувшего столетия и дешифрирование аэрофотоснимков (М 1:42000) позволили установить структуру экосистем и с применением известных придержек [180] рассчитать их водный баланс на примере Волгоградской обл. (табл. 53).

Таблица 53

Экспликация и водный баланс высокобугристых песков Волгоградской обл., не используемых в сельском и лесном хозяйстве

Экосистема	Площадь, тыс. га	Транспирация		Физическое испарение		Отток в ГВ		Потребление из ГВ	
		мм	млн $м^3$	мм	млн $м^3$	мм	млн $м^3$	мм	млн. $м^3$
Естественно-лесные	20,0	300	60,0	142	28,6	Нет	Нет	63	12,6
Песчано-степные	135,0	169	229,0	150	201,1	60	81,2	Нет	Нет
Лугово-болотные	3,0	330	9,9	160	4,8	Нет	Нет	110	3,3
Открытые пески	17,0	Нет	Нет	190	32,3	190	32,3	Нет	Нет
Всего	175,0		298,9		266,8		113,5		15,9

Примечание. Приход – осадки 380 мм (665 млн $м^3$), баланс +67,7 мм (97,6 млн $м^3$).

Из приведенных данных видно, что высокобугристые пески ежегодно накапливают около 100 млн $м^3$ воды, которая поступает в основном в речной сток. Это составляет менее 70 мм, или около 15% среднегодовой нормы осадков. Если даже допустить, что другие – менее активные в гидрологическом отношении – типы песков Волгоградской обл. (552000 – 175000 = 377000 га) в совокупности дают такую же величину годовой прибавки грунтовой влаги, то дренажный сток с ее арен составит порядка 200 млн $м^3$. А это означает, что питание речного стока из песчаных массивов не так уж велико.

Так, средний расход воды в р. Дон у х. Хаванского (выше устья р. Медведицы) составляет 630 $м^3$/с или 54,4 млн $м^3$ в сутки. Следовательно, накопленная в течение года в высокобугристых песках области вода может обеспечить 1,8% среднесуточного стока Дона или 0,49% среднегодового. Даже в межень, когда сток Дона сокращается до 150 $м^3$/с, высокобугристые пески могут увеличивать его (их дебит 3,1 $м^3$/с) только на 2,1%.

В связи с перспективой расширения комплексного подхода и развития нетрадиционных форм освоения южных арен, предусматривающего оптимизацию их лесистости на уровне 20-40%

[176], возникает необходимость приблизительной оценки возможного сокращения речного стока на их территории с использованием наиболее известной методики.

Сделаем это также на примере динамики водного баланса арен под влиянием дополнительного облесения мало затронутых хозяйственной деятельностью, но пригодных для этой цели, высокобугристых песков региона (табл. 54).

Таблица 54

Водный баланс зоны аэрации бугристо-котловинных песков засушливых районов Юго-Востока

Элемент водного баланса (мм)	Географическая зона		
	степная	сухостепная	полупустынная
Осадки	420	350	260*
Физическое испарение	–162	–140	–106
Транспирация**	–95	–80	–60
Отток в ГВ	–163	–130	–94

**Для нарынов Урдинского песчаного массива, **определена по [390].*

Данные таблицы подтверждают большую влагоаккумулирующую роль этих песков. Гравитационный сток влаги в ГВ в среднем составляет здесь около 50% годовой суммы осадков, т. е. от 1200-1300 (полупустыня) до 2100-2200 (степь) $м^3$/га в год. При естественном состоянии растительного покрова эта влага в объеме 30-50 мм и более расходуется на той же территории фреатофитами и гидрофитами, а также на физическое испарение с поверхности влажных и мокрых депрессий. Основная же ее часть (900-1700 $м^3$/га) поступает в речной сток, солончаковые депрессии и не участвует в биологическом круговороте. Эта влага и влага, расходуемая малоценными фитоценозами, является основным резервом для повышения лесистости арен. В расчете на водопотребление насаждениями сосен обыкновенной и крымской (табл. 55) его достаточно для увеличения лесопокрытой площади до уровня 30-35% (полупустыня), 40-45% (сухая степь), 60-65% (степь). Это в 2-10 раз выше естественной и оптимальной лесистости лесоохотничьих угодий, ориентированных на разведение перспективных видов промысловых копытных.

Расчеты объема утилизации грунтовой влаги при облесении высокобугристых песков засушливой зоны (в пределах рассматриваемой территории они занимают около 400 тыс. га) до оптимального хозяйственного уровня (табл. 56), показывают, что пи-

тание ими стока крупных речных систем уменьшится на небольшую величину. Так, при формировании лесоохотничьих угодий на таких песках в долинах рек Среднего и Нижнего Придонья объем дренажной влаги, поступающей в гидрографическую сеть, сократится примерно на 160 млн $м^3$/год. Это составит около 0,65% годового стока Дона за 1978-1986 гг. у станицы Раздорской (24503 млн $м^3$/год), или около 1% меженного стока.

Таблица 55

Расчетная лесистость бугристо-котловинных песков по критерию бездефицитного водного баланса территории

Элемент расчета	Географическая зона		
	степная	сухостепная	полупустынная
Гравитационный сток осадков (мм)	163	130	94
Водопотребление насаждениями сосны (мм/год) при массе сырой хвои 16-18 т/га	330	335	340
Возможная лесистость, определенная по объему гравитационного стока влаги, %	49	39	28
Водопотребление замещенными сосной фитоценозами (мм/год)	47	31	17
Дополнительное увеличение лесистости, %	14	9	5
Возможная лесистость при бездефицитном водном балансе территории, %	63	48	33

Таблица 56

Динамика объема грунтового стока влаги из-под высокобугристых песков при повышении их лесистости до уровня оптимальных лесоохотничьих угодий

Показатель	Географическая зона		
	степная	сухостепная	полупустынная
Площадь массивов, тыс. га	50	250	100
Естественная лесистость, %	15	10	5
Грунтовый сток влаги, млн $м^3$/га	82	325	94
Оптимальная лесистость (80% хвойные насаждения), %	40	30	25
Дополнительное водопотребление древесными насаждениями, млн $м^3$/год	30	132	56
Грунтовый сток влаги, млн $м^3$/га	52	193	38

Вместе с тем не вызывает сомнения их определяющая роль в накоплении запасов высококачественной ГВ, обеспечении функционирования родников, ручьев, русл мелких речек и озер, расположенных в пределах арен и имеющих большое хозяйственное и природоохранное значение.

В степной зоне в накоплении грунтовой влаги существенное

значение имеют и массивы сильно дефлированных древних почв [180, 181]. К настоящему времени они на 30-40% площади заняты сосновыми насаждениями с запасом сырой хвои 8-14 т/га. При такой нагрузке их водный баланс не меняется в негативном направлении. Поэтому неслучайно, что более чем за столетний период облесения Придонских и Нижнеднепровских арен не известны достоверные случаи снижения водности не только Дона и Днепра, но и их мелких и средних притоков по причине увеличения лесистости речных долин.

Отметим также, что облесение арен сопровождается сокращением поверхностного и увеличением доли грунтового стока в водном балансе территории [64, 264 и др.], а также объема атмосферной влаги, вовлекаемой в биологический круговорот, сокращением непродуктивного испарения.

Таким образом, при организации рационального природопользования на песках засушливой зоны во всем диапазоне его хозяйственных форм лесная мелиорация земель не лимитируется ухудшением гидрологического режима речных систем. Уровень оптимальной лесистости арен должен обеспечивать безопасность землепользования, высокую хозяйственную, социальную и природоохранную эффективность формируемых угодий.

.

7. ЛАНДШАФТНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АРЕН

7.1. Освоение песков

Географические, культурно-хозяйственные особенности территории, фитоэкологическая неоднородность арен засушливого пояса б. СССР, а также периодические вспышки дефляции почвенного покрова и образование массивов подвижных песков привели к возникновению комплексного подхода к их освоению и использованию [68, 109, 133], продемонстрированного на примере ряда научно-производственных объектов на Нижнеднепровских, Придонских и Терско-Кумских песках. Из 6231 тыс. га песчаных земель на Юге и Юго-Востоке страны потенциально могло быть занято защитно-хозяйственными, поле-, садозащитными и прочими лесонасаждениями 10,6-12,5%, полевыми угодьями – 16-17, садами и виноградниками – 3,2-3,3, пастбищами и сенокосами – 62-63% их площади. Около 4-6% (265-340 тыс. га) было отнесено к неиспользуемым землям: разбитые пески, непригодные для лесного и сельского хозяйств, массивы глубоко расчлененных грядово-бугристо-барханных песков, песчаных гор, заболоченные участки, озера и т. п. [46, 157], но весьма ценным в природосберегающем, познавательном и эстетическом отношении. То есть при традиционно комплексном освоении около 80% площади арен – это низкопродуктивные сельскохозяйственные земли. Остальная часть – лесные, лугово-болотные и другие угодья, в подавляющей части не имеющие экономического значения.

Многолетняя практика показала, что при узкоотраслевом освоении природно-ресурсный потенциал геоморфологически сложных арен реализуется не более чем на 30-40%. Агропастбищное использование без осуществления комплекса противодефляционных мероприятий сопровождается разрушением и обеднением почвенного покрова, экологических ниш флоры и фауны, снижением хозяйственной ценности угодий. С развитием рынка сельскохозяйственной продукции, сокращением поголовья скота в лесостепной и степной зоне оно потеряло привлекательность. В пус-

тынях Прикаспия остается актуальным пастбищное использование песков, но с повторением опасных вспышек опустынивания, ухудшением качества угодий снижается доходность животноводства, усиливается экологическая и социальная роль оазисов бугристых песков с пресной ГВ на корнедоступной глубине.

Сплошное защитно-хозяйственное облесение песчаных земель оправдало себя лишь в лесостепи. В степных регионах оно повышает устойчивость к деградации, но снижает биоразнообразие и экологическую емкость ландшафта, не приносит или сильно отсрочивает получение коммерческого эффекта. Вместе с тем налицо быстрый рост природоохранного и рекреационного значения арен.

Уже в начале 90-х гг. минувшего столетия стала очевидной необходимость расширения комплекса хозяйственных форм освоения песков, повышения их адаптивности к специфическим условиям и природно-ресурсному потенциалу арен, совершенствования стратегии и принципов лесоразведения, а также одновременного повышения их коммерческого, социального и природоохранного значения путем формирования целевых угодий.

В советский и постсоветский периоды одна из основных причин деградации песчаных земель – несоответствие форм хозяйствования их природно-ресурсному потенциалу. Нередко это обусловлено стремлением расширить площадь под традиционное сельскохозяйственное производство без противодефляционного обустройства территории, отсутствием стимулов и опыта адаптивного природопользования, а также неправильным выбором основного направления освоения и недостаточной отраслевой дифференциацией ландшафтов арен.

Вместе с тем уже ряд десятилетий в мире отмечается неуклонный рост спроса населения на услуги отдыха и туризма [15]. Наиболее популярными являются пассивная рекреация (лечебный отдых на природе), экологический, познавательный и охотничий туризм. В странах аридного пояса они стали приносить большой доход и местами вытесняют даже традиционное пастбищное животноводство [9, 49]. В связи с этим и ландшафтной спецификой арен на юге Русской равнины, при обустройстве и эксплуатации песчаных земель, наряду с традиционными – лесохозяйственной, лесоаграрной, лесопастбищной и пастбищной отраслями, перспективу развития имеет также лесоохотничье и рекреационное природопользование в сочетании с природоохранными мерами. Возникла необходимость в ме-

тодике, позволяющей в оперативном режиме получать объективную оценку оптимальной отраслевой перспективы и хозяйственной структуры арен степной и полупустынной зон, обеспечивающей безопасную и наиболее полную утилизацию богатого климатического и других природных ресурсов, повышение их экономического и средозащитного значения.

7.2. Основные положения методики

Для разработки методики ландшафтно-хозяйственной классификации песчаных земель использована система оценочных баллов [8] в виде неравномерных алгебраических шкал, построенных индивидуально для каждой из названных отраслей. Шкалы предусматривают оценку 16 важнейших эколого-хозяйственных факторов (ЭХФ), выбранных с учетом ландшафтных принципов организации аграрного производства и ранжированных по степени их значимости.

Для организации названных видов землепользования (ЗП) важнейшим критерием выступает благополучие санитарного состояния оцениваемой территории, устанавливаемого по существующим нормативам ПДК (ПДВ, ПДС, ПДУ) загрязнителей.

Масштабы и эффективность того или иного вида ЗП обуславливает площадь земельного массива. Наибольшую ценность имеют объекты, пригодные для размещения крупных производственных единиц (лесничеств, лесоохотничьих или крупных аграрных предприятий). Арены, их обособленные части меньшей площади следует оценивать по возможности создания на них элементарных производственных единиц (производственных участков, фермерских хозяйств и т. п.).

В другом подходе нуждается организация лесоаграрной и рекреационной отрасли. Успешное развитие земледелия, садоводства, виноградарства определяет не столько площадь массива, сколько наличие пахотопригодных земель, которое на песках ограничивается площадью массивов древних полнопрофильных или слабоэродированных почв, отсутствием надежной противодефляционной основы угодий. Рекреационное ЗП предусматривает наличие водоемов, других ценных природных объектов.

Для каждого вида ЗП имеются также свои главные, вспомогательные и сопутствующие факторы. Размеры их балльной оценки подчинены внутренней логике отраслевых шкал: уменьшаются соответственно рангу группы индикаторов и падению

индивидуального значения фактора в реализации цели.

Главные ЭХФ раскрывают степень готовности, потенциальную пригодность и производительность ландшафтов. В ряде случаев ими является лесистость, лесопригодность, продуктивность фитоценозов. Вспомогательные – дополнительные ресурсные возможности территории (урочища) как объекта хозяйствования или арендных отношений. Для ряда отраслей это может быть наличие водопоев, производительных лугов, зарыбленных водоемов, пахотопригодных земель и других объектов развития дополнительных производств и промыслов.

Сопутствующие ЭХФ раскрывают отдельные менее значимые внутренние и внешние условия развития отрасли (в ряде случаев это закустаренность территории, удаленность ее от населенных пунктов, сельскохозяйственных объектов, контакт с поймами рек).

Каждый ЭХФ в реестре шкал вносит или не вносит свой вклад в балльную оценку объекта. Отрицательными (уменьшающими сумму оценки) факторами принято считать неблагополучие эрозионного состояния и большую закустаренность земель. Они, как правило, резко осложняют организацию всех рассматриваемых видов ЗП, требуют дополнительных затрат на раскорчевку или закрепление песков. Только при рекреационном ЗП высокая закустаренность территории – фактор индифферентный. Положительную оценку дают также за наличие не более чем на 10% ее площади обарханенных или извечно развеваемых участков, интересных в эстетическом, лечебном или познавательном отношениях.

Одни и те же индикаторы для разных видов ЗП могут иметь адекватное, прямо или обратно пропорциональное значение (например, высокая лесистость для лесохозяйственного и пастбищного ЗП; сложный рельеф для лесоохотничьего и лесоаграрного ЗП).

Максимально возможные суммы оценочных баллов (табл. 57) строго не коррелируют по отраслям. Но в целом они отражают насыщенность факториальной иерархии отраслевых шкал, уровень контактности отраслей с природно-ресурсным потенциалом арен. Более полное представление о перспективе (адаптивности) того или иного ЗП на песках дает доля участия в суммарной оценке 3-5 важнейших ЭХФ. Чем она выше, тем строже требования к условиям среды, тем меньше возможности для ее организации. То есть априори предпочтительное развитие на песках имеют многопрофильные хозяйства.

Таблица 57

Максимальные оценочные баллы эколого-хозяйственных факторов

Фактор	Отрасль					
	лесохозяйственная	лесоохотничья	лесоаграрная	лесопастбищная	рекреационная	пастбищная
Площадь	100	80	60	50	30	60
Лесистость + лесопригодность	95	65	35	40	45	10
Наличие водопоев	20	25	5	30	5	30
Наличие водоемов	20	40	10	10	50	10
Наличие пахотных земель	5	10	90	20	0	20
Рельеф	40	20	80	15	25	20
Контакт с поймами рек	10	20	0	5	10	5
Эрозионное состояние территорий	0	0	0	0	5	0
Наличие лугов	15	25	20	40	10	40
Продуктивность степного травостоя	7	20	5	30	3	55
Производительность лесных насаждений	70	30	10	20	30	10
Состав лесов	50	40	5	20	30	10
Наличие кустарников вне лесов	10	30	10	20	15	15
Наличие ценных природных объектов	15	30	0	0	50	0
Удаленность от полей с.-х. культур	5	10	0	15	0	15
Удаленность от населенных пунктов	5	15	20	10	30	10
Итого	467	460	350	325	338	310
Доля, %: 3-х главных ЭХФ	57	40	66	46	43	50
5-ти главных ЭХФ	76	55,5	81,5	58,5	60,5	66

Разделение арен юга Русской равнины на пригодные под лесохозяйственное и лесоохотничье ЗП носит условный характер и призвано оценить индивидуальные возможности развития этих отраслей в зависимости от природных условий территории. Низкая окупаемость природоохранного лесоразведения делает неизбежным совместное ведение этих отраслей, которое сдерживается пока лишь организационно-правовыми издержками переходной экономики.

7.3. Критерии оценки эколого-хозяйственных факторов и определение хозяйственной пригодности территории

В шкалах дифференцированной балльной оценки ЭХФ (прилож. 28) лесистость и лесопригодность рассматриваются совместно. Первая характеризует степень готовности территории под ту или иную отрасль и оценивается основным баллом. Максимальная оценка по этому фактору соответствует оптимальной лесистости земельного объекта для рассматриваемой отрасли.

Последующее наращивание лесных ресурсов не повышает или снижает его ценность. Для лесоохотничьего ЗП оптимум зооэкологической емкости угодий создается при лесистости 20-40% [176]. При лесоаграрном и пастбищном использовании ее критерием выступает надежная противодефляционная защищенность полей сево- и пастбищеоборота (5-10%) при соблюдении удобства выполнения хозяйственных операций. Исключение составляет лесохозяйственная отрасль, для которой увеличение лесистости объекта равносильно увеличению его ценности.

Лесопригодность раскрывает потенциальные возможности лесной мелиораций территории. Она имеет относительное значение и оценивается дополнительным баллом. Наличие лесопригодных земель даже при оптимальной лесистости, как правило, расширяет возможности ведения лесохозяйственного, лесоохотничьего и рекреационного ЗП.

Почти для всех отраслей важнейшим индикатором пригодности оцениваемой территории является ее площадь. Критериями оптимальности этого показателя выступают сложившиеся зональные нормативы общественного землепользования, а также последние разработки по фермерским хозяйствам. Так, например, в степных районах России наиболее успешно функционируют лесохозяйственные предприятия, имеющие площадь земель лесного фонда не менее 20 тыс. га, участковые лесничества – 5-7 тыс. га; 20-30 тыс. га сельхозугодий необходимы для рентабельного производства растениеводческо-животноводческой продукции крупными многопрофильными хозяйствами на песчаных землях. В зоне сухих степей и полупустынь оптимальная площадь овцеводческих предприятий составляет 50-100 тыс. га. Критериальная база определения оптимальной площади лесоохотничьего землепользования для аридной зоны еще не разработана. Известно, что она складывается из оценок зональной специфики (особенно кормовой продуктивности) угодий, видовой направленности хозяйства (размеров ареала элементарных популяций базовых видов животных), наличия, качества приписных угодий и так далее. В целом, по опыту лесоохотничьих хозяйств Северного Кавказа, Южной Сибири и других районов, оптимальная площадь угодий для этого вида ЗП должна быть не меньшей, чем для лесного хозяйства соответствующего производственно-территориального ранга [163].

В мясомолочном животноводстве Западного Казахстана эко-

номически обоснованной считается эксплуатация участков лесопастбищных угодий на бугристых песках площадью в 1-4 тыс. га (как источник подножного корма в осенне-зимний и ранневесенний периоды) при суммарной их величине в крупном хозяйстве 10-20 тыс. га и среднем удалении друг от друга в 5-15 км [387].

Для создания стационарных зон рекреации и туризма подходят наиболее облесенные, биогеоценотически разнообразные (экологически сбалансированные) песчаные массивы по берегам рек и водохранилищ площадью не менее 3 тыс. га. Мелкие живописные участки песчаных земель больше ценны как объекты организованного осмотра и отдыха по трассе экскурсионно-туристических маршрутов.

Наличие водопоев на песках имеет большое значение для всех видов лесо- и сельскохозяйственного ЗП, ориентированных на разведение диких и домашних животных. С учетом большой сезонной динамики уровня воды в открытых водоемах региона наиболее высокую оценку получают земельные объекты с постоянно доступными источниками воды, равномерным размещением их по территории на расстоянии друг от друга не более 3-5 км, либо с крупными водоемами, примыкающими к его периферии на большом протяжении.

Наличие на песчаном массиве или в непосредственной близости от него средних и крупных водоемов, пригодных для обитания популярных видов водоплавающей дичи, рыбной ловли и купания резко повышает ценность угодья для организации лесоохотничьего и рекреационного ЗП. А при прочих благоприятных условиях создает дополнительные возможности для развития лесной и сельскохозяйственных отраслей: в засушливых районах они позволяют иметь орошаемые питомники, семенные плантации, кормозерновые севообороты, сады, виноградники, а также развивать подсобные промыслы.

К пахотопригодным землям в степной зоне относят участки арен с черноземовидными супесчаными почвами, в полупустыне и пустыне – супесчаные пустынно-степные почвы в границах функционирующих оросительных систем или при очевидной возможности их орошения. Они составляют наиболее производительную часть ландшафтов песчаных массивов. Возделываемая на них растениеводческая продукция отличается повышенным качеством.

При наличии таких земель на 10% и более площади песчаного массива, пригодного под ту или иную производственно-

территориальную единицу, открываются возможности для его лесоаграрного освоения, а при их доле равной 20% и более делает эту отрасль наиболее целесообразной. Только при высокой лесопригодности этих земель и острой потребности в лесных ресурсах предпочтение может быть отдано лесохозяйственному ЗП.

Даже небольшое участие пахотопригодных земель в структуре песчаных массивов повышает их ценность для разведения как диких, так и домашних животных, дает дополнительные баллы при их оценке.

Преобладающий рельеф песчаной территории отражает состояние почвенно-растительного покрова и определяет основные условия хозяйствования, а поэтому весьма неоднозначен для различных отраслей. В целом сложный рельеф резко ограничивает возможности лесохозяйственного и лесоаграрного освоения земель. Вследствие плохой обзорности массивы грядово-бугристых песков с глубокими межбугровыми понижениями и древесно-кустарниковой растительностью непригодны под выпас мелкого скота (овец, коз), но имеют благоприятные условия для обитания дичи и отдыха. Наибольшую экологическую емкость и эстетическую привлекательность имеют ложбинно-грядово-бугристые пески, где древние ложбины стока с озерками, ручьями, тугаеобразными зарослями деревьев и кустарников, богатым лугово-степным разнотравьем чередуются с возвышенными грядами бугристо-котловинных песков, покрытых комплексом разнообразных растений.

Возможности разведения дичи и содержания поголовья скота на песчаных землях существенно возрастают при наличии свободного контакта животных с поймами крупных и средних рек – когда угодья расположены непосредственно на границе пойменных ландшафтов (на 1-2-й речных террасах) или на удалении до 3 км от них, при условии беспрепятственного подхода животных. Доступ их в пойму затруднен при расстоянии до нее 4-5 км, а также при пересечении пути ирригационными сооружениями, железными и автомобильными дорогами, массивами полей севооборотов. При удалении места основного обитания (содержания) животных на расстояние 6-10 км, а также при наличии на пути их перемещения труднопроходимых препятствий доступ считается ограниченным, а при расстоянии до поймы свыше 10 км невозможным (за исключением пернатой дичи).

Песчаные массивы, примыкающие к речным системам, имеют также повышенную ценность для удовлетворения потреб-

ности людей в уединении и отдыхе.

Уничтожение растительного покрова на песках неизбежно сопровождается дефляционным разрушением почвенного покрова, искажением рельефа, образованием его подвижных форм. Хозяйственное освоение таких земель становится невозможным без предварительного пескозакрепления. Снижается их ценность. Поэтому превышение доли развеваемых участков (язв и очагов дефляции) над условным фоновым уровнем (до 10% площади угодья) оценивают отрицательными баллами. Разница в их величине по отраслям при одинаковом значении этого ЭХФ в какой-то мере отражает его влияние на условия организации соответствующего ЗП. Подверженность дефляции меньше сказывается на лесохозяйственном освоении земель (благодаря пескоукрепительному эффекту насаждений), больше – лесоаграрном.

Существенное значение имеет наличие лугов и пастбищ, урожайность степного травостоя, состав, структура и производительность лесных насаждений. Их балльные эквиваленты дифференцируют и по отраслям, и в рамках отраслей в соответствии с предложенными индивидуальными шкалами. Эти ЭХФ характеризуют как производительные возможности, так и степень готовности территории для функционирования той или иной отрасли, а также состав и объем необходимых мелиораций.

Наличие ценных природных объектов резко повышает пригодность песчаных земель для рекреационного ЗП, а также улучшает условия развития лесоохотничьей и лесохозяйственной отраслей.

К наиболее часто встречающимся объектам относят массивы заросших грядово-бугристых песков с естественными колками деревьев и кустарников, родники, мелкие ручьи и озера, фрагменты коренных песчаных ландшафтов с типчаково-ковыльной растительностью, эфемерами и эфемероидами (особенно тюльпанами), редкие очаги дефляции, распространенные виды животных.

К редким объектам относят глубокие руслообразные понижения с действующими водотоками и бореальной растительностью, участки вечно развеваемых грядовых песков с редко встречающейся флорой, бугристые пески с искусственными колками сосны, ольхи, робинии и других пород, крупные лесные массивы, большие живописные озера, старицы и т. д.

Уникальные объекты – природные образования, встречающиеся только в данной местности и на ограниченной территории (песчаные горы, редкой высоты грядовые пески, целебные источ-

ники), а также эндемики флоры и фауны.

Удаленность земельного объекта от сельскохозяйственных полей, ферм, населенных пунктов оценивают с позиций опасности повреждения посевов дикими животными и, наоборот, причинения повышенного беспокойства фауне.

Большое значение имеет также возможность обеспечения домашних и диких животных дополнительными кормами, связь с ремонтной базой, перерабатывающей промышленностью, инфраструктурой сервиса и т. д.

7.4. Технология использования методики

Объектами экспертной оценки могут быть крупные песчаные массивы, их части различной величины, землепользования отдельных хозяйств, расположенные в пределах рассматриваемого региона.

Источниками информации для их характеристики служат различные атласы, тематические карты, космические и аэрофотоснимки, материалы земле- и лесоустройства, специальная литература по песчаным землям.

На каждый объект заводят типовую карточку (аналогичную прилож. 28) и по мере получения информации проставляют балльные оценки ЭХФ в колонках всех отраслевых шкал. После их заполнения по каждой из шкал производят подсчет суммы баллов с последующим выражением ее в процентах от максимально возможной суммы по тем же отраслевым шкалам, что и для объектов-эталонов (см. прилож. 28). Преимущественный отраслевой профиль объекта определяют с помощью этого выражения по зональной шкале пригодности (табл. 58) и окончательно сертифицируют с учетом социально-экономических приоритетов административной территории.

Таблица 58

Шкала пригодности земельных объектов для ведения заданной отрасли хозяйства (% от максимальной суммы баллов в зональном разрезе)

Степень пригодности	Климатическая зона		
	степь	сухая степь	полупустыня
Лучшая	> 80	> 75	> 70
Хорошая	60-80	56-75	51-70
Удовлетворительная	41-60	36-55	31-50
Малопригодная	20-40	20-35	20-30
Непригодная	< 20	< 20	< 20

При близком значении полученных показателей пригодности земельного объекта для различных отраслей предпочтение отдают той, производственная инфраструктура которой уже сложилась на его территории, либо более экологически безопасной отрасли.

Результаты практического применения методики на примере 17 объектов (табл. 59) подтверждают приоритетность использования песчаных земель для организации экологичных видов ЗП: рекреационного, лесоохотничьего, лесохозяйственного (пригодны соответственно 88, 71 и 41% объектов), а также для традиционного – пастбищного освоения (53%). Особенно высок рекреационный потенциал южных арен. Его утилизация возможна как в рамках специализи-

Таблица 59

Перспектива хозяйственного освоения песчаных земель Юга-Востока

Объект	Пригодность по отраслям хозяйства (% от максимальной суммы баллов)					
	лесохозяйственная	лесоохотничья	лесоаграрная	лесопастбищная	рекреационная	пастбищная
Степная зона						
Вешенский лесхоз	87,8	68,5	непр.	непр.	74,6	непр.
Михайловский лесхоз	77,7	60,9	непр.	61,5	66,6	непр.
Сухостепная зона						
Обливское ОПХ	66,4	не исп.	63,7	не исп.	73,4	непр.
Паницко-Витловский песчаный массив	непр.	51,5	непр.	41,5	56,5	32,2
Арчединский лесхоз	78,8	61,3	непр.	64,6	65,6	непр.
Массив у х. Козиновский	непр.	47,8	непр.	непр.	40,5	47,7
Совхоз "Зимнянский"	непр.	60,7	40,9	непр.	51,8	71,0
Арчедино-Донской массив	68,5	77,2	непр.	67,7	60,1	непр.
Доно-Цимлянский массив	66,0	81,5	непр.	53,8	68,3	непр.
Голубинский массив	непр.	43,0	непр.	непр.	45,3	непр.
Ачикулакская НИЛОС	45,6	56,5	36,8	60,0	49,1	непр.
Массив "Червленые буруны"	непр.	51,7	непр.	непр.	53,2	46,1
Овцесовхоз № 8, Ставропольский край	непр.	непр.	непр.	непр.	41,7	71,9
Полупустынная зона						
Совхоз "Енотаевский"	непр.	непр.	непр.	непр.	23,1	38,9
Совхоз "Тавн-Гаушский"	непр.	непр.	непр.	непр.	18,9	40,3
Совхоз "Аксарайский"	непр.	непр.	непр.	непр.	14,2	32,3
Урдинский песчаный массив	непр.	68,0	непр.	непр.	50,0	56,5
Пригодность: по количеству объектов	7,0	12,0	3,0	6,0	15,0	9,0
% от их числа	41,0	71,0	18,0	35,0	88,0	53,0

Примечание. непр. – непригоден; не исп. – не используется.

рованных предприятий, так и при ведении лесоохотничьей и лесохозяйственной деятельности. Комплексное ведение хозяйства целесообразнее, поскольку оно позволит полнее использовать ресурсную базу земель, потребует меньших стартовых затрат на их инженерно-сервисное обустройство.

Наиболее ограниченную перспективу развития на песках имеет лесоаграрное землепользование (растениеводство под защитой лесонасаждений). Лесоохотничья отрасль, напротив, обладает большими возможностями становления в регионе. Она, как правило, получает преимущество на сложных природных комплексах арен: высокобугристых, бугристо-грядовых, ложбинно-грядовых песках с относительно высокой лесистостью и мелколокальной лесопригодностью. Такие комплексы особенно распространены в сухой степи и полупустыне. Превращение их в лесоохотничьи угодья не требует больших объемов коренной мелиорации ландшафтов, открывает возможность экологически безопасного вовлечения бросовых земель в хозяйственный оборот и должно стать одной из наиболее экономически целесообразных форм освоения песков.

Возможность выбора направлений ЗП на песках уменьшается по мере оскудения природно-ресурсного потенциала земель в среднем с 3,5 на объектах в степи до 1,7 в полупустыне. В том же направлении увеличивается преимущество традиционного ЗП. Значительной сохраняется лишь рекреационная ценность арен, однако ее использование в пустынных районах Русской равнины в ближайшей перспективе остается проблематичным.

Наиболее управляемым ЭХФ на песках засушливых областей является лесистость территории. При ее дальнейшем повышении расширяется возможность лесохозяйственного и лесопастбищного освоения арен (число пригодных объектов возрастет соответственно до 65 и 41%).

Приведенная методика акцентирует природоохранно-рекреационное значение песчаных земель. Ее применение поспособствует наиболее полному хозяйственному освоению и эффективному использованию природно-ресурсного потенциала арен засушливого пояса.

7.5. Перспектива развития популяций охотопромысловых животных

Как явствует из предыдущих разделов, на территории засушливой зоны одним из основных естественных типов террито-

рий – резерватов дикой фауны являются малоиспользуемые арены. Их охотохозяйственное значение многократно повышается при дополнительном облесении и трансформации приаренных земель в полевые и лесные угодья с различными растительными группировками (древесными, кустарниковыми, травянистыми), полнотными насаждениями разного состава и возраста, другими важными компонентами ландшафта (озерами, болотами, лугами, солонцами и т. п.), а также примыкания к песчаным массивам свободных территорий с минимальным внеотраслевым антропогенным воздействием, повышенной экологической емкостью (малоиспользуемых приаренных земель, пойм рек).

Оптимальная структура охотничьих угодий, плотность фаунистического комплекса, режимы их формирования на песчаных землях региона нуждаются в дополнительном исследовании. Но имеющаяся научная информация [21, 67, 138, 139, 174, 386 и др.], местный опыт интродукции фауны и спортивного охотопользования позволяют говорить о том, что на облесенных до уровня 15% и более песках степной, сухостепной и полупустынной зон могут успешно обитать такие животные как лось, благородный олень, косуля, кабан, зайцы русак и толай, фазан, серая куропатка и др. (прилож. 29), многие хищники, а также большая группа видов водоплавающей дичи. Основу питания копытных и грызунов составляют распространенные или способные занять большие площади на песках лесообразующие породы: сосна, осина, ива, тополь, береза, а также многие плодово-ягодные деревья и кустарники – груша, яблоня, рябина, черемуха, облепиха, чингиль и другие в сочетании с лугово-болотными и степными травами (прилож. 30). Искусственные насаждения древесных пород, природные растительные группировки, расчлененный рельеф песков создают надежное укрытие и благоприятную среду обитания для перечисленных и целого ряда сопутствующих видов, в т. ч. таких аборигенов как рыжая лисица, барсук, байбак, стрепет и др. (см. прилож. 1).

Осуществление комплекса согласованных лесохозяйственных и биотехнических мероприятий, ликвидирующих кормовой дисбаланс по отдельным сезонам года, позволит содержать на облесенных песках большое поголовье копытных, грызунов и птиц. Резко повысятся охотохозяйственное значение и рекреационный потенциал арен и примыкающих к ним земель, возникнут условия для их безопасного и экономически эффективного использования.

8. КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ НА ПЕСКАХ ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ

В силу разных причин в последние 50-60 лет основным объектом степного лесоразведения на территории б. СССР стали песчаные массивы речных террас, пойм, древних дельт и возвышенностей. В 80-е годы XX столетия только в европейской части страны на них создавалось до 15 тыс. га лесных культур в год, а из сформировавшихся насаждений за весь период лесоразведения длительное время сохранялось свыше 350 тыс. га [150]. После резкого спада в последние годы в степных областях вновь отмечается заметное оживление этих работ, однако их результативность, народнохозяйственная и природоохранная эффективность остаются невысокими. Проекты по созданию лесных культур попрежнему предусматривают крупномассивное облесение нарушенных земель [205], недостаточно учитывают фитоэкологические особенности арен, не нацелены на формирование наиболее устойчивых, продуктивных и экономически привлекательных угодий, применение прогрессивных технологических решений [205, 230, 320].

Таблица 60

Наиболее крупные песчаные массивы на территории степной зоны европейской России

Массив	Площадь, тыс. га
Хреновской	40,8
Самаро-Боровский (Бузулукский бор)	100,0
Прихоперский	63,0
Березняговский	20,0
Казано-Вешенский	118,0
Медведицкий	4,9
Етеревский	15,0
Арчедино-Донской	222,0
Голубинский	12,7
Доно-Цимлянский	150,0
Чирский	52,0
Ерусланский	24,5
Приволжский	50,0
Терский*	70,0
Бажиганский*	51,0

**На границе "степь – полупустыня".*

В степной зоне европейской России имеется более 1,5 млн га таких земель. Наиболее крупные песчаные массивы (табл. 60) расположены в Среднем и Нижнем Придонье, на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье и на его северо-восточной границе с нормой атмосферных осадков 350-450 мм/год, испаряемости 650-800 мм/год. Многолетнее агропастбищное использование привело к глубо-

кой трансформации их почвенно-растительного покрова, в 2-3 раза сократилась доля угодий с древними почвами, расширилась площадь перевеянных бугристых песков, снизились плодородие и биопродуктивность, усилилась водоаккумулирующая функция песчаных земель.

Как уже отмечалось, с формированием рынка сельскохозяйственной продукции агропастбищное использование песков потеряло привлекательность и сопровождается выводом их из хозяйственного оборота. При сплошном облесении нарушенных земель снижается биоразнообразие и кормовая продуктивность ландшафтов. Крупные массивы сосновых культур с возраста смыкания крон и до 40-50 лет образуют мертвопокровные ценозы, малоценные в зооэкологическом отношении, повышают пожарную опасность территории. Кроме того, в сухой степи периодическое воздействие дефицита почвенной влаги приводит к ослаблению древостоев, развитию очагов корневых патологий и вспышкам размножения опасных вредителей, снижению товарной ценности древесины и лесохозяйственной эффективности мероприятий. Вместе с тем, по мере высвобождения песков из сельскохозяйственного использования происходит восстановление растительного покрова и фаунистического комплекса. В последнее время заметна тенденция усиления функции арен как резерватов дичи и охотничьих угодий. Расширяются возможности их многоцелевого облесения и организации коммерческих форм природопользования. Однако, помимо правовой неурегулированности, заметным барьером на этом пути является низкая результативность лесокультурных работ. В дореформенное время она не превышала 40%, а в последние десятилетия в связи с распадом питомнической базы и выходом из строя технических средств, стала еще ниже [203, 212].

Многовековой отечественный опыт свидетельствует о том, что основным критерием эффективности хозяйственного освоения песков следует считать безопасность и доходность природопользования. Они достигаются расширением разнообразия и повышением адаптивности хозяйственных форм с помощью целевого лесомелиоративного обустройства земель. При этом важным является определение оптимальной лесистости угодий, принципов размещения, срока примыкания и технологии создания насаждений [209, 212, 218].

В основе определения оптимальной лесистости земель дол-

жен лежать отраслевой подход. Он заключается в предварительной оценке их наибольшей пригодности по важнейшим эколого-хозяйственным показателям: площади участка, его исходной лесистости и потенциальной лесопригодности, рельефу, наличию пахотопригодных земель и т. п. (см. гл. 7). На песках степной зоны большую перспективу имеет организация рекреационного, лесоохотничьего, лесохозяйственного, а также лесопастбищного природопользования. Оптимальная лесистость для них составляет соответственно 40-60%, 20-40, более 80 и около 15%.

Важнейшие критерии (принципы) облесения песков – сохранение или повышение биологического разнообразия, противодефляционной устойчивости и экологической емкости ландшафта, безопасная трансформация гидрологии арен и пожарной устойчивости территории, целевая эффективность защитных лесных насаждений. При формировании лесных, лесоохотничьих и рекреационных угодий следует применять преимущественно мелкомассивное и куртинно-колковое облесение земель, лесоаграрных и лесопастбищных – кулисное и полосное лесоразведение. На равнинных песках насаждения создают массивами площадью от 1-10 до 200-300 га, в понижениях средне- и высокобугристых песков – колками и куртинами 0,1-1,0 га. С целью предупреждения чрезмерного роста пожарной опасности, повышения биоразнообразия и продуктивности ландшафта относительно крупные массивы лесных культур в направлении преобладающих суховеев размещают не ближе 300-400 м на участках с наиболее дефлированными и бедными почвенными разностями. На кварцевых песках создают культуры сосны обыкновенной, на полиминеральных – сосны крымской. В опушки сосновых насаждений, ремизы и кормовые плантации вводят дикоплодные виды деревьев и кустарников. Наиболее продуктивные песчано-луговые, лугово-болотные и другие экосистемы исключают из лесокультурного фонда. Режим облесения арен ориентируют на получение насаждений разных классов возраста.

Участки наиболее расчлененных, труднодоступных низковлагоемких песков отводят под гидрологические и биологические резерваты.

Способы обработки почвы и создания культур должны соответствовать типу и состоянию почвенно-растительного покрова песков и решать две конкурентные задачи: очищать почву от

сорняков, накапливать буферные запасы почвенной влаги и при этом сохранять противодефляционную устойчивость территории. При облесении слабозаросших песков следует применять навесные лесопосадочные машины типа МПП-1, совмещающие нарезку борозд с посадкой сеянцев. При этом ширина полосы удаления дернины не должна быть менее 0,9-1,0 м. Под лесные культуры на средне- и сильно заросших песках с участием многолетников почву предварительно обрабатывают кулисами и полосами (шириной 9-50 м) по системе молодой залежи, раннего или черного пара. Культуры сосны создают посадкой 1-2-летних сеянцев с обязательным применением мер предупреждения травмирования и подсушивания корневой системы. Оптимальная ширина междурядий 2,5-3,0 м, шаг посадки 0,5-0,8 м, густота 6-10 тыс. шт./га. Густоту посадки сосны следует увеличивать от богатых к бедным почвенным разностям [214, 209, 320].

Критерием эффективности рубок ухода в молодняках сосны является повышение их влагообеспеченности. Первую прочистку проводят за 1-2 года до полного смыкания культур. Затем ее повторяют перед наступлением засушливых лет при условии накопления в насаждении избыточной массы хвои (свыше 8-13 т/га в свежем виде). Повторяемость и интенсивность рубки увеличивают по мере снижения увлажненности территории и роста плодородия песков [149, 214].

Охрану от пожаров и защиту массивов сосновых культур проводят в соответствии с местной спецификой лесообразования и зональными нормативами противопожарных и санитарных мероприятий [10, 240].

9. ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕФЛЯЦИИ

В период последней (70-80 гг. XX в.) вспышки опустынивания пастбищных угодий Северо-Западного Прикаспия, вызванной комплексом негативных воздействий на их экосистемы (круглогодичным ненормированным выпасом скота, распашкой легких почв крупными массивами под выращивание кормовых культур, ростом непрофильной нагрузки: геологоразведка, транспорт, ирригация и т. п.), из-за легкого гранулометрического состава покровных отложений особенно большой урон нанесла лавинообразная дефляция незащищенной почвы. Она привела к отвеиванию мелкозема и снижению плодородия педосферы, продуктивности и устойчивости производных экосистем, усложнению рельефа, повреждению объектов социальной и хозяйственной инфраструктуры, загрязнению воздушного бассейна и, как следствие, оттоку населения из наиболее пострадавших районов. В Астраханской обл., Калмыкии и Дагестане образовалось множество очагов подвижных песков общей площадью более 0,7 млн га. В ядре опустынивания – на Черных землях Калмыкии – прирост сильно дефлированных земель в 1977-1987 гг. достигал 4-8%. На большой территории истощился регенеративный потенциал травостоя. Обеспеченность скота подножным кормом снизилась в 2-5 раз, резко уменьшилось его поголовье. Животноводство приобрело оазисный характер [311, 291].

Наиболее сложным объектом фитомелиорации оказались быстро расширяющиеся очаги и массивы (слившиеся очаги) дефляции легких зональных почв площадью в десятки, сотни и тысячи гектаров. Известные приемы восстановления растительного покрова на их территории не дали ожидаемого результата. Возникла необходимость в оперативном изучении фитоэкологической обстановки в молодых динамичных образованиях, разработке новых подходов и технологий выполнения мелиоративных работ [200, 204].

Отечественный опыт выполнения пескозакрепительных работ свидетельствует о том, что их следует вести дифференцированно в зависимости от мощности, влажности, засоленности песка, разме-

ров очагов дефляции, сосредотачивая посевы и посадки в понижениях между барханами, цепями барханов на относительно защищенных участках с обнаженными или прикрытыми песком неперевеянными отложениями. При небольшой мощности эолового слоя, незначительной глубине промачивания и рассоления подстилающих пород преимущество должно отдаваться использованию песколюбивых трав [4, 114, 134, 297, 306, 340, 341, 394 и др.].

9.1. Восстановление пастбищ в современных очагах дефляции легких почв

Исследования выполнялись на Черных землях Калмыкии в период кульминации вспышки дефляционного опустынивания кормовых угодий региона – 80-х гг. минувшего столетия.

9.1.1. Морфоэкология современных очагов дефляции

Современные крупные дефляционные образования (рис. 63) сконцентрированы вблизи бывших животноводческих ферм, вытянуты в широтном направлении и в плане имеют флагообразные

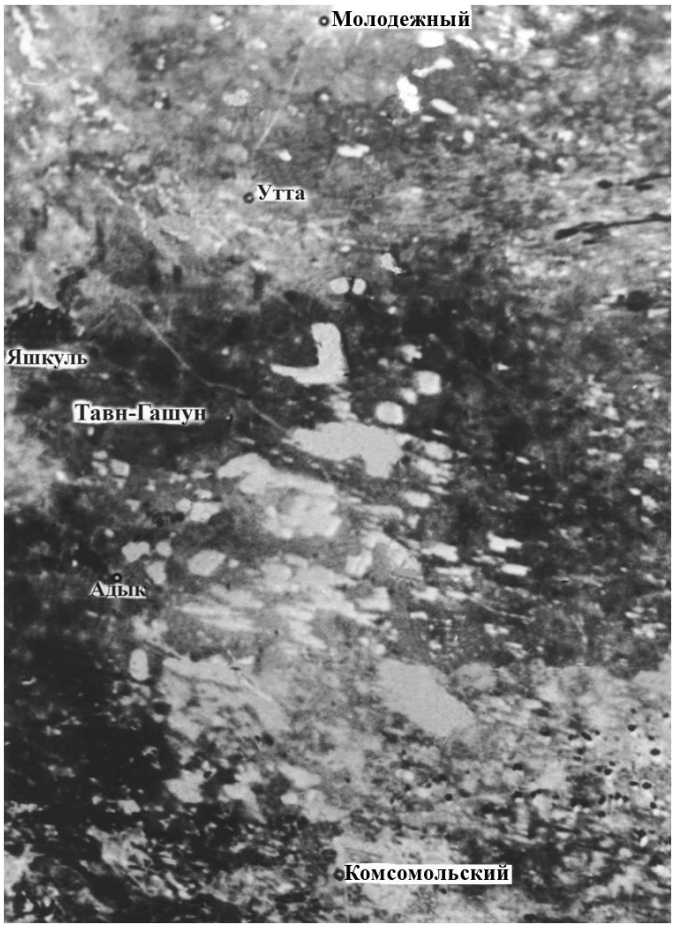


Рис. 63. Современные очаги дефляции на пастбищах Черных земель Калмыкии (космический снимок), июль 1984 г. [177]

контуры, расширяющиеся к западу. Их восточная граница почти соответствует восточной границе пашни, западная вышла далеко за пределы площади распашки, имеет глубоко рассеченный извилистый рисунок. В вертикальном разрезе это неглубокие (0,6-0,1 м) клинообразные дефляционные котловины (ДК), обращенные на запад и окаймленные шлейфами песка (рис. 64). Как и в небольших очагах дефляции [303], в крупных выделяются 3 эколого-морфологических области: деструктивная (ДО) – область разрушения и выноса почвы, расположена с востока и занимает в среднем 15-20% площади котловины; деструктивно-аккумулятивная или барханная (ДАО) – область разрушения почвы, переотложения и выноса продуктов дефляции, расположена западнее ДО и занимает остальную часть ДК; аккумулятивная (АО) – область отложения песка в виде шлейфов на поверхности слабоэродированной или полнопрофильной почвы вокруг ДК, в основном с ее западной стороны.

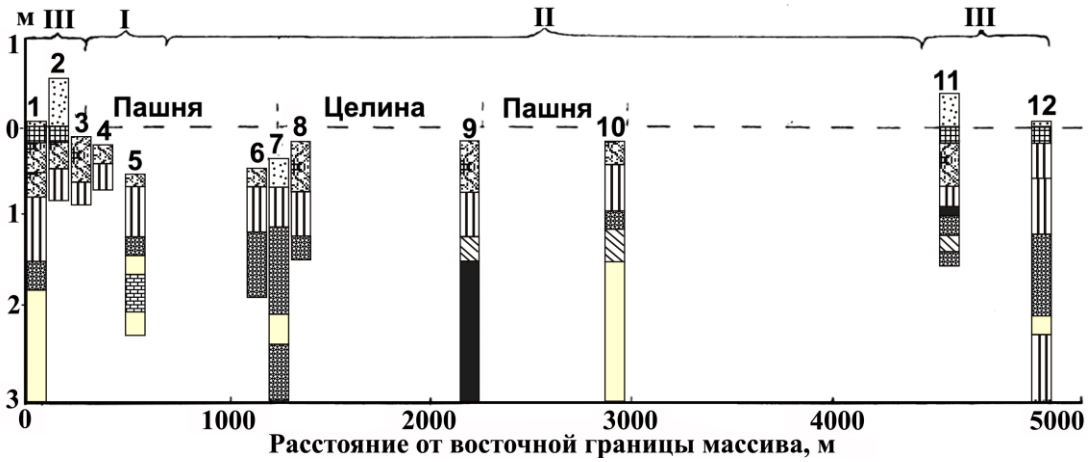


Рис. 64. Схематический профиль через массив опустынивания легких почв, возникший вследствие их распашки, совхоз Тавн-Гашунский (ур. "Сапог"), 1981 г. (– эоловый песок, песок, гор. А, – супесь, гор. В, – легкий суглинок, гор. Вк, – супесь, гор. ВС и С, – песок, – тяжелый суглинок, – глина, – средний суглинок, – – – приведенная поверхность почвы до начала эрозии, 1-12 – номера скважин); эколого-морфологические области: I – деструктивная, II – деструктивно-аккумулятивная, III – аккумулятивная

Обширная ДО – наиболее глубокая (до 0,5 м) часть ДК протяженностью в направлении восток – запад 0,5-1,0, север-юг 1,5-10,0 км лишена эоловых форм рельефа и растительности. Дефлируемая поверхность сложена остатками почвенного горизонта В (реже ВС) различной твердости (15-40 кг/см^2), выровнена, но имеет развитой микрорельеф (рис. 65). Иногда встречаются группы плоских микроповышений высотой 10-20 см и диаметром 1-3 м, со-

стоящие из грунта более тяжелого гранулометрического состава (по-видимому, останцы пятен солонцов), и такого же размера блюдцеобразные понижения. Эта эколого-морфологическая область, как правило, совершенно лишена растительности и эоловых форм рельефа (рис. 66).

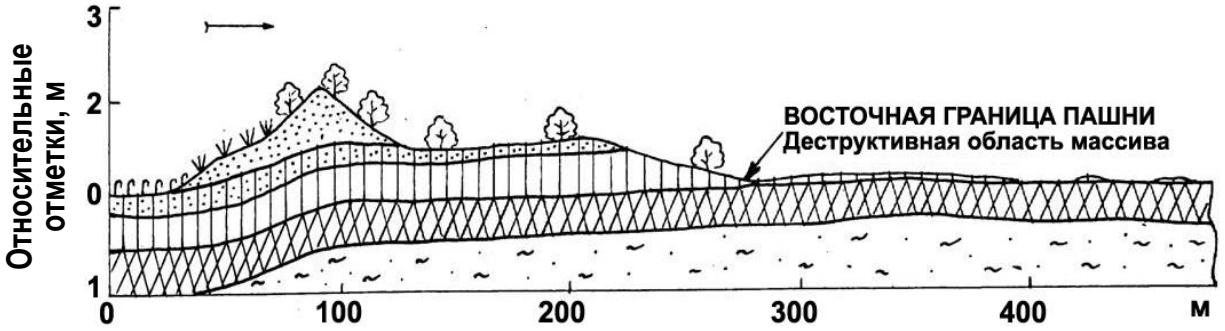


Рис. 65. Профиль инструментальной нивелировки через восточную часть массива дефлированной пашни. Почва пустынно-степная супесчаная. Совхоз им. Ю. А. Гагарина (ур. "Городовики"), 1981 г. (– эоловый песок, – супесь, гор. А, – супесь, гор. В, – суглинок, гор. Вк, – песок, – целина, – эбелек, – дурнишник, – направление преобладающих эрозионных ветров)

ДАО – крупные мелкобарханные поля с дискретным распределением эоловой массы (см. рис. 66). Песок лежит на иллювиально-карбонатном горизонте почвы и сосредоточен в редких (по 1-4/100 п. м), низких (0,3-1,5 м) цепях барханов (ЦБ), ориентированных с ССВ на ЮЮЗ под углом 10-30° к меридиану. Средний объем подвижного песка небольшой (1-2 тыс. м^3/га) и варьирует в зависимости от рельефа поверхности ДК от 100 м^3/га до 3-4 тыс. м^3/га. Вместе с объемом барханов в широких пределах (от 10 до 90%) изменяется доля покрытой ими площади. При этом ее зависимость ($У$, %) от объема песка в ЦБ (x, м^3) в теплый период года описывается уравнением

$$У = 108{,}3x/(2155{,}8 + x). \qquad (73)$$

В среднем барханы занимают 34-52% площади ДАО, чередуясь с выровненными обнажениями дефлируемой почвы в виде сквозных и замкнутых коридоров шириной 5-100 м. В холодный период при влажном состоянии песка и неустойчивом направлении ветра площадь обнажений сокращается на 10-20%.

Кривая зависимости высоты ЦБ ($У$, м) от длины их поперечной проекции (x, м) подчиняется уравнению

$$У = x/(6{,}93 + 1{,}71x), \qquad (74)$$

и свидетельствует о слабой расчлененности рельефа "базиса дефляции". Вместе с небольшим объемом песка (1-5 м^3/п. м) это определяет повышенную подвижность ЦБ и скорость разрушения почвы.

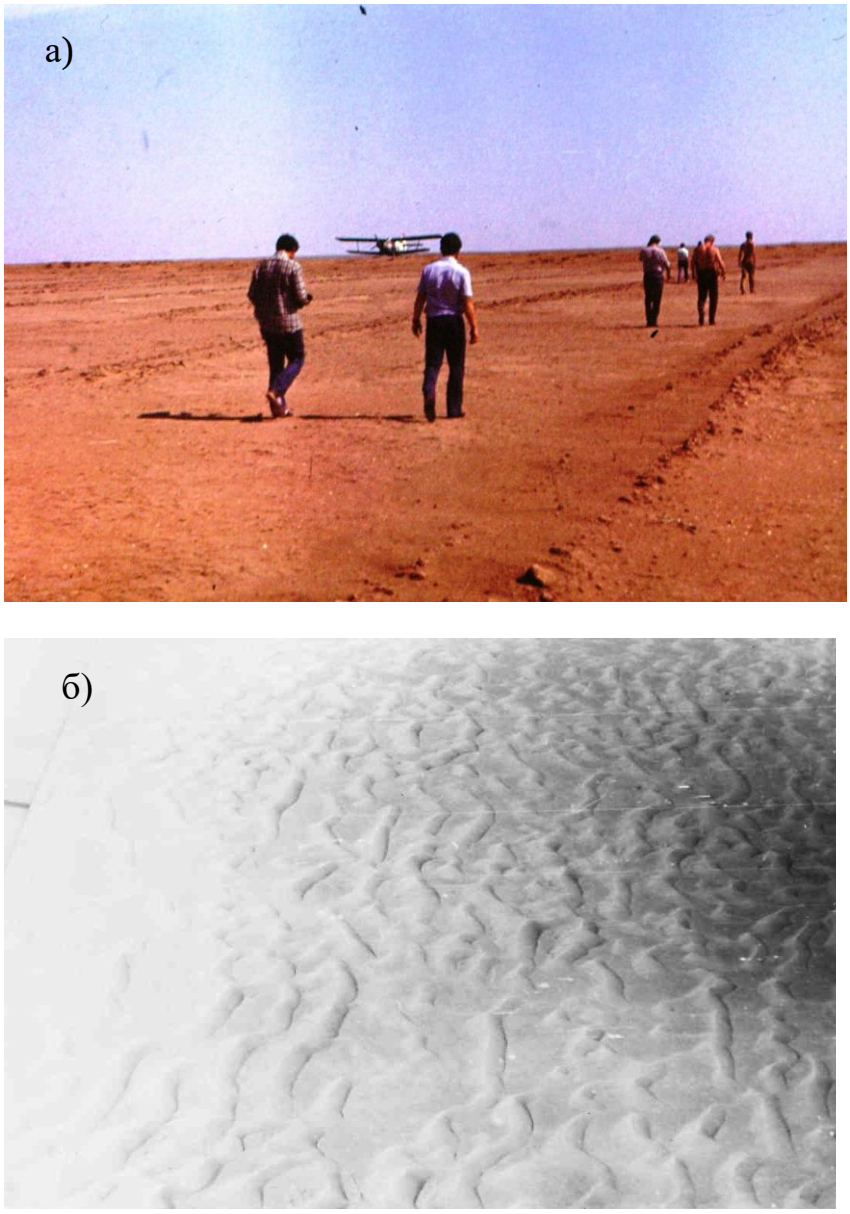


Рис 66. Деструктивная (а) (фото В. И. Петрова) и деструктивно-аккумулятивная (б) области современного очага дефляции на пастбищах с легкими зональными почвами Черноземельской низменности Прикаспия, сентябрь 1983 г.

Песчаный шлейф АО быстро (на 100-200 м/год) перемещается на запад и расширяется с флангов. На границе с ДК его мощность достигает 30-50 см, а в направлении движения (на запад на протяжении 200-700 м) она постепенно уменьшается и сходит на нет. Наиболее мощная часть шлейфа и прилегающая часть ДАО иногда покрыты дурнишником колючим, авангардная зона – эбелеком.

9.1.2. Водно-солевой режим зоны аэрации отложений

Водно-солевые характеристики неперевеянных отложений, слагающих дно ДК, мозаично неоднородны. Разница в возрасте дефляционной трансформации, микрорельефе, гранулометрическом составе слагающих пород обусловливают неодинаковую глубину их промачивания атмосферными осадками. В ДК формируется

особый – локально-промывной тип водного режима. За 10-20 лет преобладающие супесчано-суглинистые грунты (прилож. 31, 32) увлажняются и освобождаются от токсичных доз водно-растворимых солей: на возвышенных и ровных участках до глубины 0,6-1,5 м, в потускулах – на всю толщу зоны аэрации (5-12 м). Они аккумулируют 100-150 мм/м доступной влаги (рис. 67, прилож. 33, 34, табл. 61) и становятся пригодными для жизни ряда мезоксерофитов из кустарников и трав. В потускулах с водосборной поверхностью более 100 м^2 могут расти и засухоустойчивые породы деревьев.

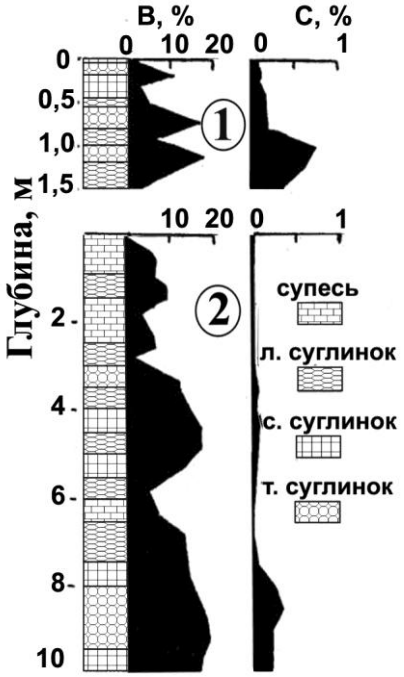


Рис. 67. Содержание продуктивной влаги (В) и водорастворимых солей (С) в неперевеянном почвогрунте крупной дефляционной котловины на Черных землях. Ур. "Городовики" (1 – на ровном местоположении, 2 – в потускуле)

Твердые осадки, как правило, мало задерживаются в ДО. Они сдуваются ветром в степь или барханную область и практически не участвуют в увлажнении почвы. Поэтому в холодные зимы ее водный режим ухудшается. В теплый период степень и глубина физического иссушения почвогрунта также сильно варьируют по площади и годам, создавая различные условия для адаптации культурных фитоценозов. Так, в ДО крупного массива дефляции (ур. "Городовики") в 1982 и 1983 гг. физическое иссушение почвогрунта до ВЗ не распространялось глубже 30 см. В очень ветряном 1984 г. уже к началу июня верхний слой мощностью 50 см потерял здесь более 75% (33 мм) продуктивной влаги, а к началу сентября почвогрунт оказался иссушен до глубины 110 см (см. табл. 61).

В целом в дефляционных котловинах водно-физические свойства верхнего 1,5-2,0-метрового слоя отложений (прилож. 35) не препятствуют развитию корневых систем растений. Вышедший на поверхность иллювиальный горизонт разрушенной почвы (0,3-0,6 м) содержит 7-14% $CaCO_3$, 0,03-0,07% $CaSO_4$ (прилож. 36). При высыхании он твердеет и сдерживает развитие эрозии вглубь и выдувание укоренившихся всходов и саженцев. Ниже расположены разные по мощности и гранулометрическому составу слоистые отложения (см. рис. 67).

Песок барханов ДАО содержит 7-9% глины (см. прилож. 32),

освобожден от легко растворимых солей (см. прилож. 33), но перевеваясь, он быстро иссушается и без предварительного закрепления и увлажнения не пригоден для жизни растений.

Таблица 61

Запасы продуктивной влаги (мм) в почвогрунте ДО крупного массива дефляции. Ур. "Городовики"

Глубина образца, см	Дата								
	1982 г.	1983 г.				1984 г.			
	XII	III	VI	VIII	X	I	III	VI	VII
0-5	3,0	0,9	0	0	0	4,6	0,5	0	0
5-30	24,0	66,9	47,3	19,3	9,0	27,7	30,5	0	0
30-50	19,1	22,4	37,5	10,1	17,6	10,4	12,3	9,5	3,0
0-50	46,1	90,2	84,8	29,4	26,6	42,6	43,3	9,5	3,0
50-70	-	19,0	34,2	12,6	21,3	2,5	4,5	9,8	0
70-90	-	18,9	21,9	44,4	15,0	18,3	6,3	4,8	0
90-110	-	11,1	20,7	26,1	15,6	19,2	12,3	30,3	0
110-130	-	39,6	12,9	50,4	55,8	36,9	13,8	31,2	7,8
130-150	-	0,3	28,5	12,9	36,3	15,0	9,9	39,0	19,2
0-150	-	179,1	203,0	175,3	170,6	134,6	90,1	124,6	33,0

Примечание. "-" – данные не определены.

При свободном перемещении влажность песка быстро и многократно изменяется. В конце октября – ноябре происходит увлажнение толщи и выполаживание рельефа барханов. Увеличивается покрытие песком поверхности дна ДК, улучшаются условия аккумуляции влаги зимних осадков. Обычно снег сдувается с приподнятых участков барханов и скапливается вблизи их заветренного склона, где он переслаивается песком. При оттаивании здесь происходит наиболее глубокое промачивание отложений. Однако зимой нередки случаи перевеивания всей песчаной толщи и уже в марте на разной глубине в барханах могут вскрываться сухие слои.

Наиболее интенсивно барханы иссушаются во второй половине марта – апреле с наступлением периода сильных ветров. В засушливые годы песок теряет доступную влагу уже к началу июня (табл. 62). Во влажные может сохранять ее до конца июня – начала июля. С середины лета до конца октября сухой песок собран в компактные относительно высокие и подвижные барханные цепи.

Летние осадки увлажняют подвижный песок лишь на короткое время. Дожди, как правило, выпадают при сильных порывистых ветрах и неравномерно промачивают толщу барханов. При свежем ветре и высокой температуре воздуха слабо увлажненные участки вскоре начинают развеиваться. Выдувается сухой песок

внутренней части барханов. Слой промоченного песка проседает и разламывается на отдельные призмы. Под непрерывным бомбардированием сухим песком призмы быстро разрушаются и теряют влагу. Во второй половине лета лишь в глубоких карманообразных понижениях в подстилающей поверхности обнаруживаются островки песка, снаружи похожего на неперевеянные отложения, с высоким содержанием влаги (табл. 63).

Таблица 62

Динамика запасов продуктивной влаги (мм) в мелкобарханных песках ДАО массивов дефляции

Слой грунта, см	Дата				
	XII 1980 г.	III	VI	VIII	X
Ур. "Родина", 1981 г.					
0-5	3,2	3,0	0	0	0
10-30	19,6	8,4	15,4	0	0
30-50	19,5	2,1	12,3	0	0
50-70	23,4	1,2	14,4	0	0
70-90	29,1	9,6	13,5	0	0
0-90	94,8	24,3	54,6	0	0
Ур. "Городовики", 1983 г.					
0-5	-	0	0	0	0
5-30	-	13,5	0	0	0
30-50	-	25,5	0	0	0
0-50	-	39,0	0	0	0

Таблица 63

Основные свойства отложений песка в понижениях поверхности ДК. Ур. "Родина", август 1981 г.

Глубина взятия образца, см	Содержание ФГ, %	Валовое содержание водно-растворимых солей, %	Влажность, %	Твердость, кг/см^2
0-5	4,9	0,360	0,8	2,3
10	4,7	0,034	3,8	1,9
20	-	0,031	4,5	1,9
30	-	0,320	4,6	1,9
40	5,0	0,029	5,1	-
50	5,1	0,034	5,2	-
60	5,3	0,033	5,2	-
80	5,3	0,029	5,8	-
100*	40,0	0,090	16,0	-
120*	40,0	0,218	19,6	-

**Подстилающая порода, "-" – не определены.*

Под песчаными шлейфами западной части АО (рис. 68) в период развития очагов свойства зональной почвы практически не

Рис. 68. Аккумулятивная область современного очага дефляции на пастбищах Черноземельской низменности Прикаспия

изменяются, а после его окончания поверхность быстро покрывается сорными травами.

Таким образом, водно-солевые свойства почвогрунта в современных очагах дефляции легких почв Прикаспия не исключают возможности формирования продуктивного растительного покрова. Основным препятствием на этом пути является высокая интенсивность дефляции – выдувание, засыпание и засекание молодых растений песком.

9.1.3. Эоловые процессы в крупных очагах дефляции

В деструктивной области перенос песка осуществляется преимущественно ветрами западных (из барханной области) и восточных румбов в виде поземки. Первые составляют 32-38%, вторые – 49-56% от общего количества ветреных дней в году [350]. По сезонам интенсивность потоков заметно меняется. Зимой активность дефляции снижена из-за высокой влажности песка и его смерзания при отрицательных температурах. Переброска западными ветрами происходит в оттепели и сопровождается аккумуляцией песка в понижениях микрорельефа. Восточными ветрами, несмотря на их значительное преобладание в этот период по числу (57-63% случаев) и энергии, сыпучий материал не весь возвращается в барханную область. Это обусловлено быстрой сменой теплой влажной погоды на сухую морозную при смене западных восточными ветрами. К началу сильных мартовских ветров восточных румбов в виде шлейфов и песчаных валов в ДО скапливается до 300-500 $м^3$/га эолового материала.

В зимы с особенно сильными и продолжительными восточными потоками (прилож. 47) песок в ДО не аккумулируется, а ненасыщенный песком воздух оказывает сильное разрушительное воздействие на поверхность почвы. Так, в 1984 г. с 24 января по 4 марта почва на опытном участке была выдута в среднем на глубину 1,9 см. Анализ агрегатного состава (табл. 64) отложений

в ветровой тени (за различными препятствиями) показал, что свыше 50% оторванных комочков имеют диаметр более 1,0 мм.

Таблица 64

Агрегатный состав эоловых отложений в деструктивной области после интенсивных восточных ветров в январе – марте. Ур. "Городовики", 1984 г.

Диаметр частиц, мм	> 10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1,0-0,5	0,50-0,25	< 0,25
Доля образца, %	0,2	0,6	1,4	7,1	17,0	24,1	16,8	6,4	26,4

В теплый период по мере иссушения песка интенсивность дефляционных процессов быстро возрастает. Уже в марте поверхность деструктивной области полностью очищается от наноса и до следующей зимы его сколько-нибудь значительные скопления не формируются.

Для летнего периода характерна наиболее частая смена направлений и скорости ветра. В июле повторяемость восточных потоков уменьшается до 35-44%, западных – увеличивается до 40-48%, а их скорость изменяется от 1,0 до 24,0 м/с. При западных ветрах эрозионной скорости насыщенный ветропесчаный поток, переваливая через гребень пограничной с ДО барханной цепи, резко снижает скорость и разгружается. За пределами ветровой тени склона осыпания барханной цепи его скорость быстро восстанавливается, вовлекая в движение песчаный материал, выброшенный сюда вихрями. Дальнейшее обогащение твердой фазой приземного слоя воздуха протекает медленно (область лишена песка). Формируется устойчивый дефицит насыщения потока и над ровной твердой поверхностью почвы он постепенно разгоняется. Предельная скорость разгона потока (песчаной поземки) зависит от скорости ветра, шероховатости подстилающей поверхности и протяженности ДО.

При слабых западных ветрах с короткими порывами песок перемещается на расстояние от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Под действием следующих порывов он постепенно передвигается до восточной границы области, где формируется пологий склон аккумулятивного вала. При сильных ветрах песчаная поземка проносится на многие сотни метров через всю территорию области и резко тормозится лишь растительностью аккумулятивного вала и прилегающей степи, где и происходит отложение песка.

Восточные ветры, следующие за западными ветрами, быстро сдувают небольшие аккумуляции песка с поверхности ДО. Нарастает дефицит насыщения приземного потока и его скорость.

Так, при наличии небольшой массы песка скорость ветропесчаного потока над поверхностью ДО достигает почти максимальных значений уже на расстоянии 150-200 м, а его плотность – только на расстоянии 400-500 м (рис. 69).

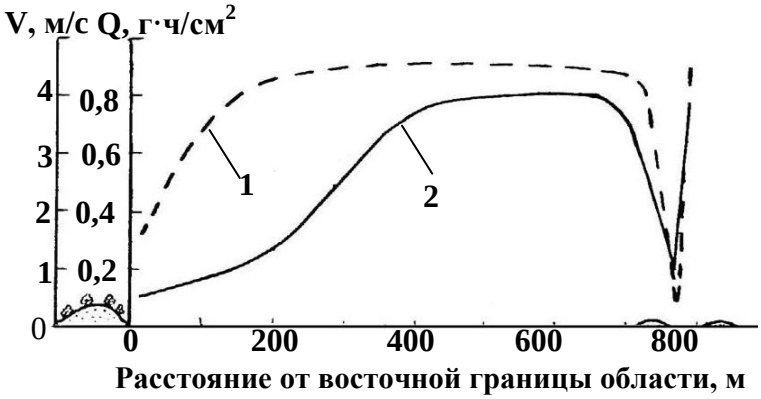


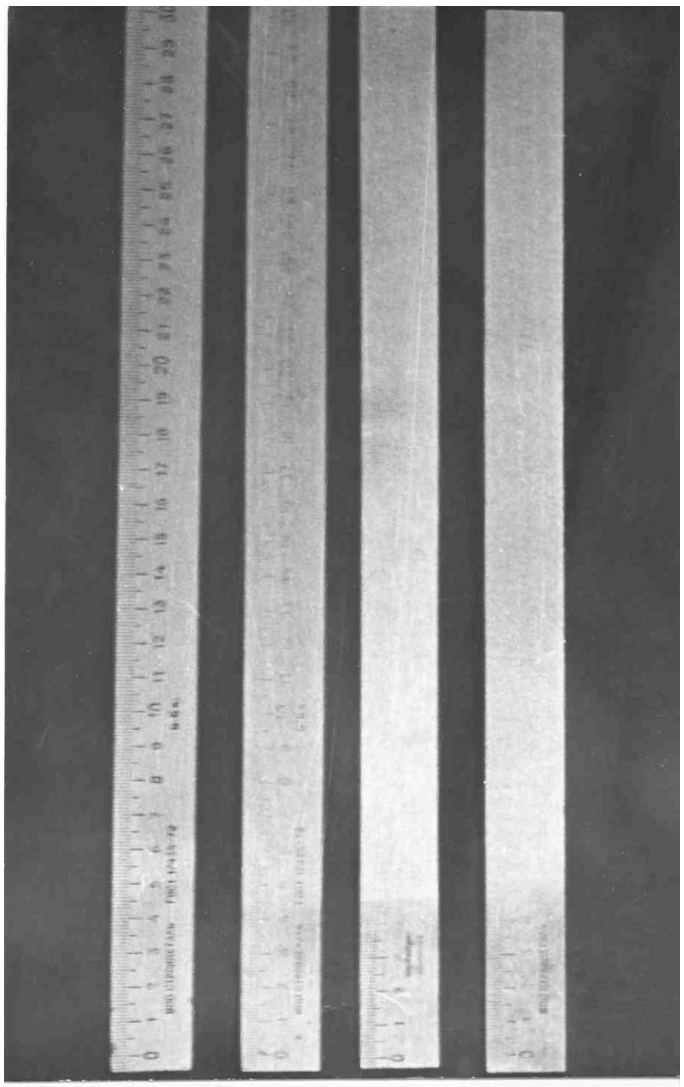
Рис. 69. Скорость *V* ветропесчаного потока (1) и масса *Q* переносимого песка (2) по ДО очага дефляции на высоте 10 см от поверхности при восточном ветре 6 м/с на высоте 2 м. Ур. "Сапог", август 1983 г.

Нарастание скорости потока происходит значительно быстрее его твердой фазы и летящие песчинки приобретают большую кинетическую энергию. Очевидно, что по мере освобождения поверхности от песка и при больших скоростях ветра ускорение потока будет происходить еще стремительнее.

При сильных восточных ветрах ветропесчаный поток формируется уже над восточным шлейфом и валом песка. Частично разгрузившись на некотором удалении от вала, он получает ускорение и проносится над поверхностью деструктивной области до пограничной барханной цепи. При этом дефицит его насыщения зависит от степени развития растительности на шлейфе и вале и нарастает к лету. При отсутствии вегетирующих растений в марте – апреле может происходить значительное разрушение этих эоловых образований.

Таким образом, особенностью эолового процесса в обширной деструктивной области крупных очагов и массивов дефляции легких почв является перенос песка в ненасыщенном ветропесчаном потоке с высокой относительной скоростью. При этом кинетическая энергия летящих песчинок резко возрастает в направлении потока, а их ударное воздействие исключает нормальное развитие растений. Этим и объясняется их отсутствие в ДО, несмотря на периодический налет семян.

Летящим песком интенсивно повреждается и мертвая древесина. Так, выставленные в конце января 1984 г. деревянные линейки (шкалой деления на восток) к концу августа значительно потеряли в толщине. По мере удаления от восточной границы ДО (при-



1 2 3 4

Рис. 70. Изменение состояния шкалы деления на деревянных линейках с 24.01. по 24.08.1984 г. под воздействием ветропесчаного потока: 1 – контроль, 2 – выставлена на расстоянии 100 м, 3 – 200 м, 4 – 300 м от восточной границы ДО на запад. Начальное заглубление линеек в почву – 5 см. Ур. "Городовики"

мерно до 300 м) состояние шкалы деления ухудшалось до ее полного исчезновения (рис. 70).

Вместе с тем песчаный нанос в ДО улучшает водный режим неперевеянных отложений, и одной из задач мелиоративных работ является накапливание его на поверхности эродируемой почвы.

Измерения аккумулятивного вала в крайних рядах посадки джузгуна 1976 г., обращенных к барханному полю, в ур. "Родина" в конце мая 1981 г. показали, что за 4 года они задержали 3750 м^3 песка в расчете на 100 п. м длины (рис. 71). Таким образом, объем его поступления на восток через фронт переноса такой же длины составлял около 1000 м^3/год. Это свидетельствует о значительных возможностях физической мелиорации почвогрунта в ДО.

Наибольшую опасность при выращивании культур в ДАО представляет перемещение барханных цепей в теплый период года, вызывающее быстрое полное засыпание сухим песком или выдувание растений. В молодых очагах дефляции легких почв, в силу их морфологических особенностей, оно происходит весьма интенсивно и нередко превышает 1,0 м в сутки (табл. 65). Даже при частой смене скорости и направления ветра и перестройке гребня поступательное движение барханов может не прекращаться, составляя в среднем 0,5 м/сутки.

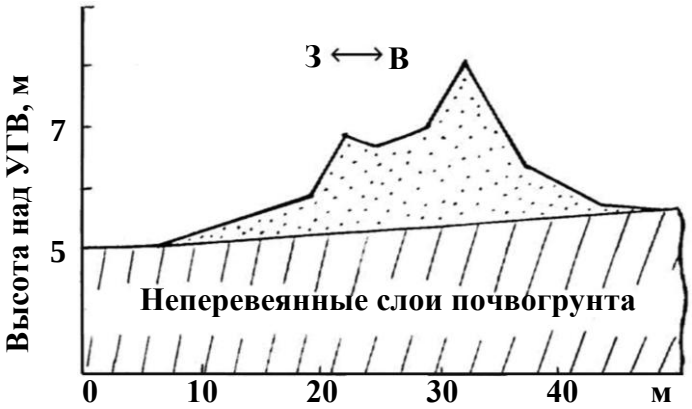


Рис. 71. Поперечный профиль аккумулятивного песчаного вала в западных опушечных рядах джузгуна посадки 1976 г. Ур. "Родина", май 1981 г.

Таблица 65

Перемещение барханных цепей под влиянием восточных ветров с переменной скоростью (от 3-5 до 10-12 м/с) и неустойчивым направлением. Ур. "Родина", октябрь 1981 г.

Номер отрезков цепей	Высота гребня, см	Длина наветренного склона, м	Продвижение цепей между датами наблюдения, см							За 6 дней, м
			2.X		3.X		5.X	7.X		
			9 ч. 30 мин	15 ч. 30 мин	9 ч. 10 мин	17 ч. 00 мин	10 ч. 00 мин	9 ч. 15 мин	16 ч. 15 мин	
1	0,50	7,5	0	53	28	20	40	100	9	2,50
2	1,50	6,0	0	47	36	21	41	100	12	2,57
3	1,20	-	0	57	68	29	71	150	12	3,87
4	1,30	7,0	0	40	27	34	38	60	18	2,07
5	1,15	8,0	0	58	34	14	41	90	11	2,48
6	1,10	-	0	75	47	19	76	135	13	3,65

Инструментальной съемкой рельефа между фиксированными точками обширного мелкобарханного поля в ур. "Городовики" установлено, что при запасе подвижного песка около 1000 м^3/га среднее суммарное перемещение барханных цепей по ДАО за теплый период (1984 г.) составило 76 м, устойчивое смещение на запад – 24 м. Тем не менее, 25,8% ее площади не занимали мигрирующие барханы и рельеф на этой части территории практически не колебался (это срединные участки широких пространств между ЦБ, которые составили около 36% от площади обнажений эродируемой породы в марте). Средняя высота цепей увеличилась с 68 см в марте до 108 см в сентябре 1984 г. В марте 1985 г. она снова уменьшилась до 65 см. За счет перемещения и изменения высоты барханов вертикальная амплитуда эолового рельефа достигала 1,5-2,0 м.

Проективное покрытие песком подстилающей поверхности с марта по июнь 1984 г. уменьшилось с 31,6 до 14,8%, а затем снова увеличилось. В октябре оно составило 25,3%, в марте 1985 г. – 41,4%. С ноября 1984 г. по март 1985 г. увлажненные осадками

барханные цепи переместились всего на 15-20 м и это произошло в основном за счет их выполаживания и расширения основания (рис. 72).

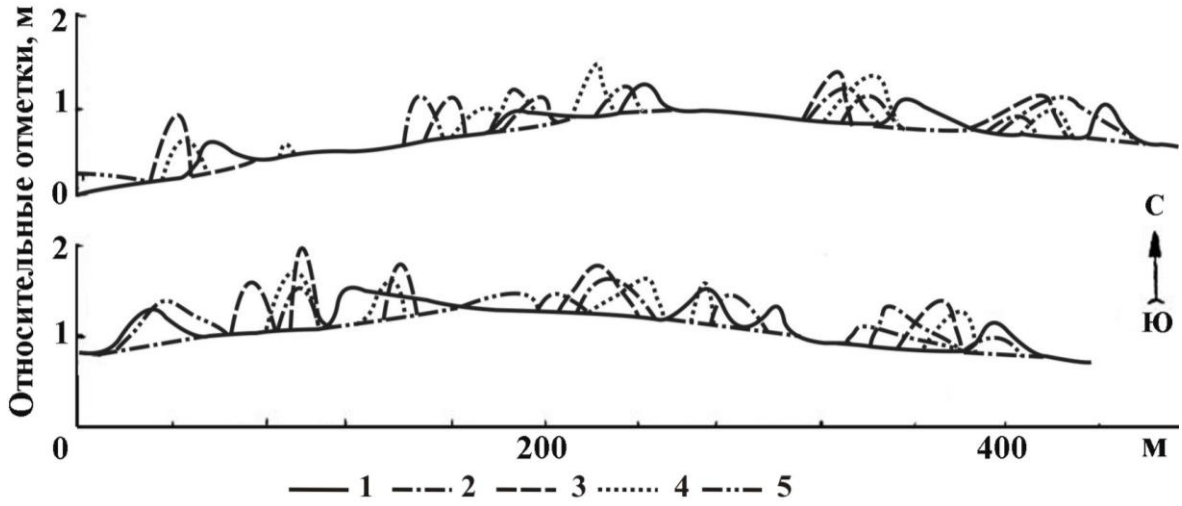


Рис. 72. Профили инструментальной нивелировки через массив мелкобарханных песков: 1 – 14 марта, 2 – 1 июня, 3 – 13 сентября, 4 – 23 октября 1984 г., 5 – 31 марта 1985 г. Ур. "Городовики"

Как и в ДО, в широких межбарханных пространствах песок переносится преимущественно в ненасыщенном ветропесчаном потоке с большой скоростью. Он также разрушает почву и засекает растения. Увеличение скорости потока на всем протяжении от заветренного склона до следующей цепи барханов происходит даже в период перестройки их гребней. Так, при скорости ветра 7,6 м/с на высоте 2 м в 10 см над ровной поверхностью дефлируемой почвы на расстоянии 71 м от заветренного склона бархана высотой 1,5 м она увеличилась на 0,6 м/с (рис. 73).

Некоторое избыточное насыщение потока твердой фазой сопровождается временным незначительным снижением его скорости и разгрузкой, после чего следует дальнейший разгон. При порывах и сильном ветре наблюдается активный обмен порциями песка между ЦБ и вынос его за пределы области, что создает картину непрерывной в пространстве песчаной поземки. Это препятствует естественному зарастанию обширных площадей мелкобарханных песков, делает малоэффективными традиционные способы их закрепления.

Таким образом, деструктивные и деструктивно-аккумулятивные области молодых крупных ДК на легких зональных почвах имеют неодинаковые фитоэкологические условия и нуждаются в разных приемах выполнения фитомелиоративных работ. Общим и необходимым условием успешного восстановления

растительного покрова на их территории является использование мезоксерофитных солеустойчивых растений, уменьшение вредного воздействия движущегося песка в период их адаптации.

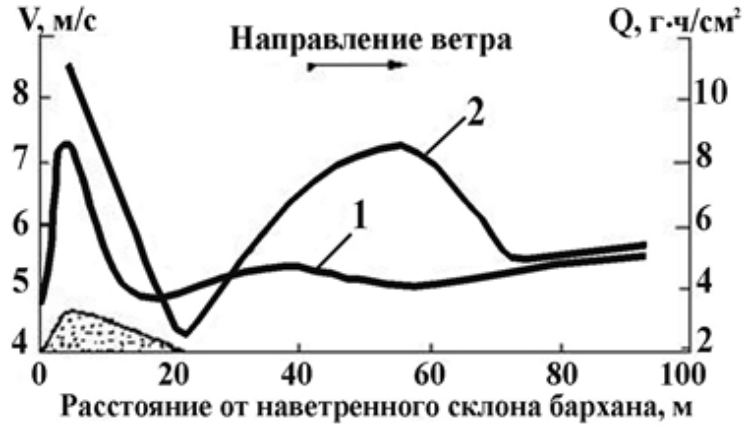


Рис. 73. Изменение скорости (*V*) ветропесчаного потока (1) и массы (*Q*) переносимого песка (2) на высоте 10 см над поверхностью бархана и обнажения эродируемой почвы между барханами при восточном ветре 7,6 м/с на высоте 2 м. Сентябрь 1984 г.

Аккумулятивную область не следует рассматривать как отдельный мелиоративный фонд земель. Формирование здесь продуктивных кустарниковых ценозов проблематично из-за неблагоприятных свойств почвы. Кроме этого, песчаные шлейфы быстро зарастают степными травами после осуществления фитомелиоративных работ и зарастания ДК. При наличии источника семян на песчаных отложениях их периферии активно поселяются и формируют продуктивные сообщества житняки, пыреи и другие многолетние злаки (рис. 74).

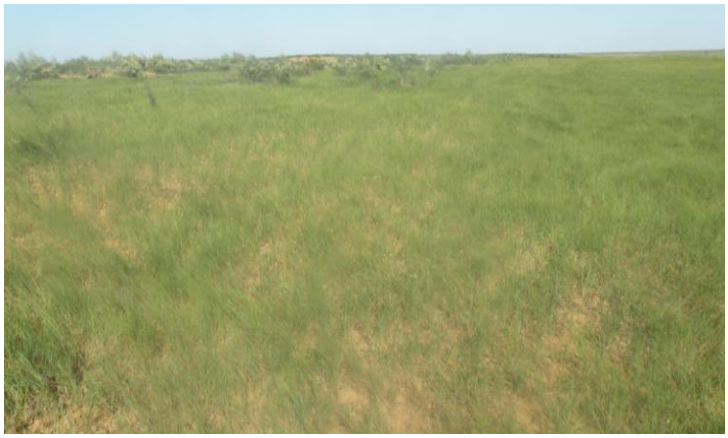


Рис. 74. Акумулятивная область очага дефляции, заросшая многолетним злаком после освоения мелкобарханного песка ДАО в 2014 г. посадкой джузгуна безлистного. Очаг дефляции вблизи ур. "6 км". Июнь, 2017 г.

9.1.4. Освоение деструктивной эколого-морфологической области

Известные способы фитомелиорации ДО очагов дефляции основаны на локальном рыхлении почвы с целью улучшения ее водно-физических свойств в зоне посадки или посева культивируемых растений. Целесообразность этого приема была обосно-

вана при облесении вышедших на дневную поверхность засоленных горизонтов или тяжелых по гранулометрическому составу верхнехвалынских отложений [175, 303].

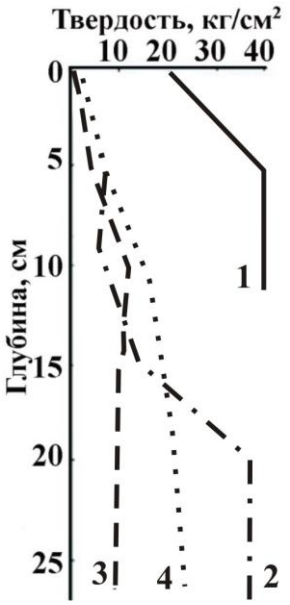
В ДО молодых крупных очагов, где поверхность сложена остаточными горизонтами легкой почвы, доступными для корней растений, рыхление играет подчиненную роль. Наиболее целесообразным приемом физической мелиорации является накопление песка на поверхности почвы, способствующее восстановлению естественного плодородия. Поэтому при посадке мелиоративно-кормовых насаждений в необработанную почву кроме машины СЛН-1 были использованы машины МПП-1 и МЛУ-1, образующие широкие борозды и повышающие шероховатость поверхности. В опытах высаживали однолетние сеянцы саксаула черного, джузгуна безлистного и терескена серого.

9.1.5. Формирование растительного покрова на защищенных от ветра участках деструктивной области

Исследования показали, что на нешироких, хорошо защищенных от ветра с востока и запада растительностью участках ДО (ур. "Родина"), посадка однолетних сеянцев в борозды дает заметные преимущества в их приживаемости и развитии. МПП-1 сильнее и равномернее разрыхляет грунт, чем даже безотвальная обработка плугом ППН-40 лентами шириной около 1 м. Так, после обработки почвы в декабре 1980 г., в августе 1981 г. (через 8 месяцев) на лентах плантажа на глубине 12 см уже встречались зоны уплотнения почвы до естественной твердости. В борозде МПП-1 на глубине 5-25 см в среднем она была меньше на 2-14 кг/см^2 (рис. 75).

Менее интенсивно обнаженная почва разрушается и переносится и на защищенных участках. Так, декабрьские борозды МПП-1 в марте были заполнены песком в объеме около 10 м^3/100 м их длины. Вместе с песком в борозды и ленты вспашки попали семена трав и уже в первую вегетацию здесь появились их густые всходы.

В последующем песок аккумулировался в виде нешироких (2-3 м) мощностью 20-50 см валов вдоль оси рядов кустарника и кулис травостоя (кияка). К концу второй вегетации насаждений его запас в посадках по бороздам достиг 25-30, по лентам плантажа машиной СЛН-1 – 10-20 м^3/100 м длины ряда. В рядах посадки СЛН-1 в необработанную почву поселение трав и отложение песка



Глубина обработки, см	Влажность, %		
	междурядье	МПП-1	плантаж
0-5	1,7	1,1	1,1
20	11,1	9,7	8,0

1 – междурядье (без рыхления)
2 – СЛН-1
3 – МПП-1
4 – плантаж

Рис. 75. Твердость почвогрунта ДО очага дефляции в августе 1981 г. после рыхления различными орудиями в декабре 1980 г. Ур. "Родина"

происходили в виде небольших холмиков и тонких (2-5 см) шлейфов преимущественно вблизи хорошо развитых кустов терескена. В начале третьего года жизни культур перенос песка прекратился.

Начальная приживаемость у всех растений оказалась высокой (табл. 66). Осенью она была выше у терескена и саксаула в бороздах и при посадке в необработанную почву. Борозды исключили выдувание саженцев, а по лентам плантажа убыль от него составила 8-10%. Низкая приживаемость джузгуна при всех способах посадки была вызвана его массовым заболеванием во влажном 1981 г.

Таблица 66

Приживаемость и сохранность (%) мелиоративных насаждений в деструктивной области очага дефляции. Ур. "Родина"

Способ посадки	Июнь 1981 г.			Сентябрь 1981 г.			Сохранность, сентябрь 1983 г.		
	джузгун	терескен	саксаул	джузгун	терескен	саксаул	джузгун	терескен	саксаул
МПП-1	78,0	81,4	55,7	51,2	78,3	62,9	100	100	100
СЛН-1 по плантажу	77,9	85,1	69,7	35,7	72,8	51,5	100	100	100
СЛН-1 в необработанную почву	73,5	82,2	59,3	55,5	76,4	59,3	100	100	100

Примечание. Джузгун и терескен посажены в декабре 1980 г., саксаул – в марте 1981 г.

В последующие два года прижившиеся растения не отмирали.

В первую вегетацию рост культур на вариантах опыта почти не отличался (табл. 67), что было обусловлено наличием буферных запасов почвенной влаги и повышенной суммой атмосферных осад-

Таблица 67

Динамика биометрических показателей саженцев в мелиоративных насаждениях, созданных осенью 1980 г. в ДО очага дефляции. Ур. "Родина"

Способ посадки	Джузгун			Терескен			Саксаул*		
	средняя высота, см	средний диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г	средняя высота, см	средний диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г	средняя высота, см	средний диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г
1981 г.									
МПП-1	45,0±2,9	35,1±2,5	27,2	42,0±1,7	50,7±1,8	123,3	34,1±1,8	29,4±1,3	58,9
СЛН-1: по плантажу	44,2±2,4	34,9±3,3	25,2	47,7±1,4	56,2±1,5	143,3	36,3±1,6	27,4±1,7	43,3
в необработанную почву	46,5±3,9	34,2±3,3	24,8	43,8±1,4	55,2±1,2	130,7	32,9±1,3	30,9±2,2	53,7
1982 г.									
МПП-1	99,4±2,4	68,6±3,1	310,0	103,3±1,3	129,7±2,6	2380,0	89,3±2,0	84,8±2,1	800,0
СЛН-1: по плантажу	91,5±2,8	62,0±3,1	280,0	95,0±1,8	117,8±2,9	1920,0	79,1±2,7	70,2±2,9	680,0
в необработанную почву	93,0±2,6	76,7±3,1	300,0	100,5±1,5	138,4±2,4	2920,0	74,5±1,3	77,0±2,5	700,0
1983 г.									
МПП-1	103,0±2,4	79,8±3,0	800,0	104,6±1,3	118,3±1,8	1790,0	138,3±2,7	118,0±2,6	2250,0
СЛН-1: по плантажу	94,8±2,4	67,3±2,6	690,0	101,6±1,5	111,2±2,0	1750,0	119,7±2,4	99,9±2,3	1710,0
в необработанную почву	96,5±2,9	73,0±2,6	750,0	94,0±1,5	118,2±2,2	2000,0	114,2±2,5	101,6±2,3	1690,0
МПП-1	7,6	8,4		4,2	5,7		5,7	6,2	-

**Саксаул черный посажен в марте 1981 г.*

ков (прилож. 46, 48). Все же высота саженцев в бороздах с учетом засыпанной песком нижней части их стволиков была на 10-15 см больше. Активнее других растений развивался терескен. Уже в однолетних культурах он вступил в плодоношение.

В конце июня второго года кусты терескена достигли максимальных размеров и обильно цвели. Осенние учеты выявили преимущество в развитии растений при посадке в необработанную почву. В культурах с междурядьями шириной 5 м урожай надземной массы полукустарника в воздушно-сухом состоянии составил 44 ц/га (рис. 74). В бороздах и на лентах плантажа, где густые кулисы высотой 1,0-1,2 м и массой сена 1,5-2,5 кг/ п. м сформировал кияк, соответственно 38 и 28 ц/га. На третий год размеры и биомасса кустов терескена уменьшились при всех способах посадки. Урожай сена кияка, напротив, увеличился до 3-5 кг/п. м ряда посадки в борозды и ленты плантажа и обеспечил преимущество в накоплении общей биомассы фитоценозов, созданных с применением приемов физической мелиорации почвы.

Рис. 76. Двухлетнее насаждение терескена серого в ДО очага дефляции (ряд слева посажен в необработанную почву). Ур. "Родина", сентябрь 1982 г.

В течение второй и третьей вегетации джузгун рос слабо и пришел в угнетенное состояние, что свидетельствует о его недолговечности на тяжелых засоленных почвах в условиях конкуренции трав. Все же некоторое преимущество в развитии он имел при посадке в борозду машиной МПП-1.

Саксаул, начиная со второго года, усиленно развивался при всех способах посадки. Выше саженцы были в бороздах, ниже – в рядах с необработанной почвой. К осени 1983 г. в бороздах у отдельных экземпляров высота достигла 2,0-2,5 м (рис. 77).

Активное заселение междурядий посадки травами и самосевом терескена также началось на втором году жизни культур. Наиболее

Рис. 77. Трехлетнее насаждение саксаула черного в ДО очага дефляции: справа – в борозде МПП-1, слева – на полосе вспашки. Ур. "Родина", сентябрь 1983 г.

Рис. 78. Самосев терескена и травостой в междурядьях 3-летних насаждений в ДО очага дефляции. Ур. "Родина", сентябрь 1983 г.

плотный растительный покров сформировался между рядами терескена с кулисами кияка. Так, к осени 1982 г. воздушно-сухая масса трав (эбелек, кумарчик, солянка русская, гармал, отдельные кусты кияка) и самосева терескена составила 5,2 ц/га. К осени 1983 г. – 19,4 ц/га при проективном покрытии поверхности 40-60% (рис. 78).

В октябре 1982 г. при всех способах посадки взрыхленные зоны были в наибольшей степени освоены корнями. Их развитие зависело также от твердости, химического состава почвогрунта и биологии растений. Карбонатные и засоленные гипсовые горизонты оказывали сильное сопротивление росту корней, а песчаные прослои легко преодолевались ими.

У саксаула преимущественно развивались вертикальные корни. В 2-летнем возрасте они проникли глубже двух метров. Лишь в вариантах опыта с рыхлением почвы у него образовались 1-3 хорошо развитых горизонтальных корня, которые на расстоянии 1,0-1,5 м от ствола также резко поворачивали вниз (прилож. 37-39).

У джузгуна, напротив, стержневой корень ветвился и в 2-

летнем возрасте не проник глубже 1,5 м. В стороны от него отходили 1-3 сплющенных по вертикали (лентообразных) горизонтальных корня длиной 1-3 м и шириной 0,4-1,0 см с несколькими якорными корнями и небольшой мочкой всасывающих корешков в эоловом наносе (прилож. 40-42).

У терескена при всех способах посадки на второй год сформировалась мощная корневая система (прилож. 43-45). Боковые корни преимущественное развитие получили у растений при посадке СЛН-1 в необработанную почву (рис. 79).

Рис. 79. Корневая система 2-летнего терескена серого при посадке в необработанную почву СЛН-1 в ДО очага дефляции. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.

Таким образом, в бороздах МПП-1 саженцы всех пород имели более разветвленные и мощные корневые системы.

За счет накопления песка несколько лучше почва увлажняется в бороздах (см. прилож. 46). В июне 1981 г. в верхнем (0-50 см) слое продуктивной влаги содержалось на 3 мм, в августе на 5, а в октябре на 16 мм больше, чем на пашне. В двух- и трехлетних насаждениях влажность почвогрунта в теплый период зависела уже от нагрузки биомассы кустарников и трав. В слое 0-150 см больше влаги сохранялось в междурядьях культур, где растительность разрежена.

В целом, с возрастом насаждений буферные запасы влаги в ДО быстро сокращаются. Так, на опытном участке в первую вегетацию культур иссушение почвогрунта не превышало 30 см, во вторую достигло глубины 70 см, в третью – более метра. Уже в марте 1983 г. по оси рядов посадки на глубине 50-70 см имелся физиологически сухой слой (импермацидный горизонт).

Формирование кустарниково-травяного покрова в ДО обес-

печило зарастание травами (кияк, кумарчик, солянка русская, верблюдка и другие) и самосевом терескена прилегающей части барханной области (в конце 1983 г. шириной примерно 200 м), что свидетельствует о целесообразности поэтапного фитомелиоративного освоения ДК, начиная с востока.

9.1.6. Фитомелиорация обширных деструктивных областей

Опыты проводились в 1982-1984 гг. в ДО (1000 х 2000 м) крупного массива дефляции на землях совхоза им. Ю. А. Гагарина, расположенного в 20-25 км к юго-востоку от п. Тавн-Гашун (ур. "Городовики"). При хорошем увлажнении почвогрунта (запасы доступной влаги в 1,5-метровом слое к концу вегетационного периода не опускались ниже 60 мм) и типичной погоде (см. табл. 61, прилож. 47 и 48) независимо от срока и способа посадки приживаемость и развитие опытных культур были обусловлены в основном режимом переноса песка, качеством посадочного материала и биологией растений (табл. 68).

Таблица 68

Приживаемость (%) мелиоративно-кормовых насаждений в ДО массивов дефляции

Способ посадки	Месяц и год посадки	Июнь			Сентябрь		
		джузгун	терескен	саксаул	джузгун	терескен	саксаул
Ур. "Курган" (на землях совхоза Улан-Туг), 1982 г.							
МПП-1	12.81	65,5	74,5	-	31,8	51,1	-
СЛН-1: по плантажу		64,7	71,2	-	35,8	53,2	-
в необработанную почву		65,5	62,6	-	31,0	45,7	-
МПП-1	03. 82	87,0	57,1	57,5	53,9	50,8	11,5
СЛН-1: по плантажу		84,9	64,2	49,0	49,2	62,2	13,5
в необработанную почву		85,4	59,4	56,6	42,0	44,4	9,6
Ур. "Городовики", 1982 г.							
МПП-1	03.82	-	77,8	73,3	-	67,2	16,5
Ур. "Городовики", 1983 г.							
МЛУ-1	12.82	-	90,6	-	-	80,6	-
МЛУ-1	03.83	96,4	72,6	37,5	67,7	58,8	0
СЛН-1: по плантажу		85,2	68,2	23,6	59,7	58,5	0
в необработанную почву		84,7	75,6	23,9	60,8	61,0	0

Приживаемость сеянцев полукустарника, у которых основная часть жизнеспособных почек сосредоточена в нижней части стволика, при посадке МПП-1 (МЛУ-1) зависела также от продолжительности и глубины засыпания борозд песком. В средних рядах посадки, где борозды заделывались им медленнее и позднее, она была на 10-15% выше, чем в крайних. В более мелких бороздах МЛУ-1 (выполненных сошником без дерноснимов) при глубине засыпания стволиков до высоты 12-17 см терескен прижился на 13-30% лучше, чем в глубоких бороздах МПП-1 при мощности песка до 25-30 см.

Губительное воздействие ветропесчаного потока на 1-3-летние растения проявилось уже в начальный период вегетации. Однако до середины лета и у ослабленных саженцев ассимиляционные побеги и листья выглядели здоровыми. Резкое ухудшение их состояния произошло во второй половине лета – после замедления или прекращения прироста, усиления переноса песка. То есть устойчивость растений к засеканию обусловлена не столько механической прочностью их покровных тканей, сколько скоростью прироста биомассы. Из-за усиления переноса, притупления роста с середины – конца июня ее баланс становится отрицательным. В результате надземная часть растений деградирует. Вслед за ассимиляционным аппаратом повреждаются кора и камбий на стволиках и скелетных ветвях (рис. 80) и растения отмирают.

Рис. 80. Побеги 2-летнего терескена в ДО очага дефляции, поврежденные ветропесчаным потоком. Ур. "Городовики", апрель 1984 г.

За первую вегетацию наибольшим отпад саженцев был у саксаула и джузгуна и составил в среднем 10-30%. У терескена – 2-23 %.

Отметим также, что в районах с ранними и частыми атмосферными засухами приживаемость культур сильно обусловлена и качеством посадочного материала. Подсушивание корней при транс-

портировке и хранении особенно заметно снижает жизнеспособность сеянцев саксаула.

К концу первой вегетации саженцы джузгуна и саксаула становились сильно ослабленными и следующей весной, не возобновляя рост, отмирали. Размеры саженцев терескена к осени уменьшались, уступая размерам сеянцев при посадке (табл. 69, рис. 81). Только на периферии обширной ДО, среди сорных трав (дурнишника колючего и гармалы) однолетние растения достигали нормального развития (высота 50-60 см, диаметр кроны около 60 см).

Таблица 69

Биометрические показатели саженцев терескена серого в ДО массивов дефляции

Способ посадки	Месяц и год посадки	Средняя высота, см	Средний диаметр кроны, см	Надземная масса, г*
Ур. "Курган", 1982 г.				
МПП-1	12.1981	24,1 ± 1,4	24,7 ± 1,5	30,5
СЛН-1: по плантажу		27,2 ± 1,2	28,1 ± 1,7	34,8
в необработанную почву		27,0 ± 1,3	23,6 ± 1,2	30,8
МПП-1	03.1982	22,5 ± 1,6	17,2 ± 1,7	9,2
СЛН-1: по плантажу		23,3 ± 1,2	13,7 ± 1,0	7,7
в необработанную почву		21,0 ± 1,3	11,2 ± 1,1	5,8
Ур. "Городовики", 1982 г.				
МПП-1	03.1982	15,7 ± 0,6	4,1± 0,3	-
$НСР_{05}$		3,7	3,8	-
1983 г.				
МПП-1, культуры: на открытых позициях	03.1982	15,4 ± 0,6	6,7± 0,4	3,1
под защитой могильника		42,6± 1,1	45,0 ± 1,0	255,2
МЛУ-1	12.1982	17,5 ± 0,6	8,9 ± 0,4	4,3
МЛУ-1	03.1983	11,6 ± 0,5	4,6 ± 0,3	2,0
СЛН-1: по плантажу		15,4 ± 0,8	2,6 ± 0,2	1,6
в необработанную почву		13,3 ± 0,6	3,3 ± 0,2	1,5
$НСР_{05}$		1,9	1,1	-

**В воздушно-сухом состоянии; "-" биомасса не определена.*

Эксперимент был повторен в описанных выше опытных культурах ур. "Городовики". Защитные борозды-валы напахали в конце марта 1984 г. (по окончании весенней посадки) плугом ППУ-50А в агрегате с колесным трактором Т-150.

Однако в целом на открытых участках ДО растения несколько лучше росли в бороздах, повышающих шероховатость поверхности почвы и препятствующих активному переносу песка.

Саженцы терескена во второй вегетации возобновляли рост,

но к осени их состояние ухудшалось, отпад продолжался. В культурах весенней посадки 1982 г. машиной МПП-1 осенью 1983 г. они имели среднюю высоту 15,4 ± 0,6 см, диаметр кроны 6,7 ± 0,4 см и сохранность 70-90%. Под защитой могильника соответственно – 42,6 ± 1,1 и 45,0 ± 1,0 см и 100%, а массу среднего растения в 85 раз больше, чем на открытых участках (см. табл. 69).

Рис. 81. Саженцы терескена серого в борозде МЛУ-1 в конце первой вегетации на незащищенном от ветра участке обширной ДО. Ур. "Городовики", сентябрь 1984 г.

Попытка защитить от ветропесчаного потока производственные культуры терескена 1983 г. посадки в ДО крупного массива дефляции под названием "Сапог" путем нарезки плужных борозд-валов в междурядьях во второй половине вегетации, когда засеченные саженцы практически прекратили рост, не дала положительного результата. Улучшения их состояния к осени не произошло (табл. 70).

Таблица 70

Динамика таксационных показателей саженцев терескена серого в производственных культурах под защитой борозд-валов, напаханных в августе того же года. ДО массива дефляции "Сапог", 1983 г.

Вариант	19.08.83 г.		19.10.83 г.		Критерий существенности разности (τ) для	
	высота, см	диаметр кроны, см	высота, см	диаметр кроны, см	высоты	диаметра кроны
Контроль (без защит)	16,2 ± 0,6	6,7 ± 0,4	16,0 ± 0,6	5,3 ± 0,4	0,2	2,5
Борозды-валы через: 12 м	18,7 ± 0,7	6,5 ± 0,3	18,2 ± 0,6	5,8 ± 0,4	0,5	1,4
6 м	21,0 ± 0,7	7,3 ± 0,4	20,9 ± 0,7	7,6 ± 0,5	0	0,5
3 м	16,6 ± 0,6	5,5 ± 0,3	23,4 ± 0,7	8,2 ± 0,4	7,6	5,4

Наблюдения показали, что защитные модули прекратили разрушение поверхности почвы, в то время как на контроле за период до начала сентября 1984 г. был выдут слой толщиной 0,9 см

(90 м^3/га). Борозды-валы и свежие (весна 1984 г.) посадочные борозды активно задерживали песок на закультивированной площади. К концу октября 1984 г. его объем составил в среднем 250-300 м^3/га. В бороздах МЛУ-1 аккумулировалось по 7-10 м^3, плужных – 23-27 м^3 песка в расчете на 100 м их длины (рис. 82).

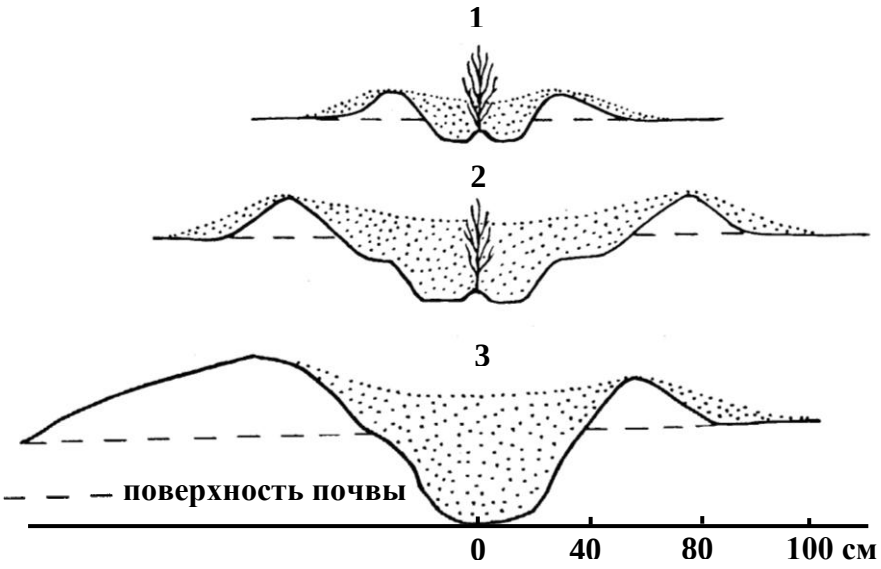


Рис. 82. Поперечные профили заполненных песком борозд и борозд-валов, нарезанных МЛУ-1 без дерноснимов (1), МЛУ-1, оборудованной дерноснимами МПП-1 (2), плугом ППУ-50А (3) в ДО массива дефляции. Ур. "Городовики", 1984 г.

Приживаемость культур 1984 г. была также обусловлена многими факторами. Весной она оказалась выше у джузгуна зимней посадки (табл. 71). При весенней посадке прижилось его сеян-

Таблица 71

Приживаемость (%) культур при посадке МЛУ-1 в ДО массива дефляции. Ур. "Городовики", 1984 г.

Вариант опыта	Месяц и год посадки	Июнь		Сентябрь	
		джузгун	терескен	джузгун	терескен
Без защит (контроль) при глубине засыпания песком борозд: 13 см	01.1984	Не опр.	36,6	Не опр.	35,0
23 см		97,8	Не опр.	0	Не опр.
Защитные борозды-валы напаханы через 6 м при глубине засыпания борозд: 13 см	01.1984	Не опр.	45,2	Не опр.	45,2
23 см		97,8	18,5	57,3	18,5
Без защит (контроль)	03.1984	72,7	37,9	0	36,8
Защитные борозды-валы напаханы через*: 12 м	03.1984	Не опр.	54,6	Не опр.	54,6
6 м		74,6	57,1	51,4	57,1
3 м		74,4	52,1	50,1	52,1

**При весенней посадке и защите бороздами-валами посадочные борозды засыпались сухим песком медленно (в течение всего вегетационного периода), поэтому он не оказал негативного влияния на приживаемость сеянцев.*

цев была на 25% меньше. Это произошло по причине как снижения их качества в процессе хранения в зимней прикопке, так и качества заделки в почву корней вследствие попадания в посадочную щель сухого песка.

Терескен обоих сроков посадки имел невысокую приживаемость, в основном из-за низкого качества сеянцев. Она также зависела от глубины засыпания борозд песком. В борозде зимней посадки при исходной высоте саженцев 31,7 ± 0,8 см и диаметре кроны 7,8 ± 0,4 см увеличение мощности слоя песка с 13 до 23 см привело к снижению приживаемости на 26,7%.

В целом, под защитой борозд-валов приживаемость культур в июне была на 10-20% выше, чем на контроле. А к осени она резко дифференцировалась. Без защиты джузгун и зимней, и весенней посадки погиб. Под защитой борозд-валов выжило 50-60% саженцев. В рядах терескена небольшой (1-2%) отпад растений произошел только на контроле.

В незащищенных от засекания культурах терескена 1982 и 1983 гг. сохранность растений снижалась на 18-27% в год. После напашки защитных борозд-валов весной 1984 г. она стабилизировалась (табл. 72).

Таблица 72

Приживаемость (%) терескена серого в бороздах МПП-1 и МЛУ-1 в ДО крупного массива дефляции легких почв

Вариант	Срок посадки	1982 г.	1983 г.	1984 г.
Без защит (контроль)	03.1982	67,2	42,8	15,7
Защищены весной 1984 г.		67,2	42,8	35,1
Без защит (контроль)	12.1982	-	80,6	62,1
Защищены весной 1984 г.		-	80,6	70,9
Без защит (контроль)	03.1983	-	58,8	31,3

На контроле и защищенных участках до середины июня 1984 г. заметных различий в развитии саженцев не наблюдалось. Джузгун образовал густые, длинные, ярко-зеленые ассимиляционные побеги, терескен – небольшие хорошо облиственные кустики. Во второй половине лета в облике растений произошли резкие изменения. Саженцы джузгуна и под защитой борозд-валов не дали прироста и к осени пришли в крайне угнетенное состояние. Ассимиляционные побеги деградировали и в основном осыпались, свидетельствуя о том, что растения находятся на грани отмирания.

На незащищенных участках состояние терескена также резко ухудшилось (рис. 83). Листья измельчали и изредились. На ство-

Рис. 83. Двулетнее насаждение терескена на незащищенном от ветра участке обширной ДО. Ур. "Городовики", сентябрь 1984 г.

ликах и побегах первого порядка образовались пучки мелких побегов (длиной 0,5-1,5 см) – следствие их неоднократного отрастания. Кустики напоминали сильно стравленные скотом полуусохшие растения.

Лучший рост терескена обеспечили защитные устройства, размещенные через 3 и 6 м (табл. 73). Модельные кусты имели био-

Таблица 73

Развитие саженцев терескена серого в ДО под защитой и без плужных борозд-валов. Ур. "Городовики", 1984 г.

Вариант	Месяц и год посадки	Высота, см	Диаметр кроны, см	Сухая масса надземной части, г
В однолетнем возрасте				
Без защит (контроль)	01.1984	11,1±0,7	7,0±0,4	2,5
Валы через 6 м		43,4±1,3	47,7±1,2	160,2
Без защит (контроль)	03.1984	14,3±0,7	14,5±0,8	3,2
Валы через: 12 м		49,1±1,3	46,0±1,2	171,3
6 м		59,8±1,4	56,0±1,3	232,6
3 м		57,9±1,4	56,8±1,2	230,1
$НСР_{05}$		3,1	2,8	-
В двухлетнем возрасте				
Без защит (контроль)	12.1982	21,6±1,3	19,1±1,2	7,2
Валы через: 12 м		57,2±1,6	55,6±1,4	320,4
6 м		65,0±1,3	61,1±1,1	386,5
3 м		67,4±1,7	84,5±1,3	475,3
Без защит (контроль)	03.1983	12,7±0,9	10,6±0,9	2,8
Валы через 6 м		57,3±2,3	61,0±1,8	354,2
$НСР_{05}$		4,2	3,6	-
В трехлетнем возрасте				
Без защит (контроль)	03.1982	14,1±0,6	6,4±0,4	3,7
Валы через 6 м		47,0±1,8	49,6±1,5	270,1
τ	-	21,2	31,3	-

массу в 50-100 раз больше, чем на контроле. Растения хорошо росли, обильно плодоносили (рис. 84). В бороздах и у основания отвалов почвы зимней посадки хорошо росли и поселившиеся травы.

Рис. 84. Однолетние саженцы терескена в бороздах МЛУ-1 весенней посадки, защищенные бороздами-валами, в ДО. Ур. "Городовики", сентябрь 1984 г.

Исключением было состояние однолетних саженцев терескена в 6-10 крайних от барханной области рядах, где борозды быстро заполнились песком, и возобновился его активный перенос. Здесь приживаемость была ниже и к осени размеры растений оказались в 2-2,5 раза меньше, чем в восточной части защищенных участков.

К осени второго года на защищенной территории опытного участка из материнских (высотой около 1 м) и самосевных растений образовалось устойчивое насаждение терескена, прекратившее дефляцию почвы. В последующие годы в зависимости от обеспеченности осадками оно продуцировало 20-40 ц/га надземной фитомассы в воздушно-сухом состоянии (табл. 74, рис. 85) и привлекало даже сайгаков как источник корма, укрытие от солнцепека и холодных ветров.

Использование технологии при выполнении работ весной 1985 г. в крупном (около 3 тыс. га) очаге дефляции восточнее п. Молодежный показало, что под защитой борозд-валов насаждения терескена можно создавать не только посадкой, но и посевом семян, а также одновременно с этим вводить в ДО ценные пастбищные растения (прутняк, житняк, пырей и др.). При эффективной защите от дефляции успех посевов обеспечивает минимальная обработка почвы игольчатыми, зубовыми боронами, кольчато-шпоровыми катками и другими легкими орудиями. При этом развитие всходов полукустарника, в сравнении с развитием сеянцев,

Таблица 74

Развитие мелиоративно-кормовых насаждений терескена в ДО, созданных под защитой борозд-валов. Ур. "Городовики"

Видовой состав	Кол-во растений, тыс./га	Высота, см	Диаметр кроны, см	Сухая масса надземной части, ц/га
Сентябрь 1984 г.				
Терескен серый	1,14	54,8 ± 1,4	56,0 ± 1,3	2,7
Сентябрь 1985 г.				
Терескен	1,14	89,4 ± 1,6	91,5 ± 1,6	12,7
Самосев терескена	12,00	30-40	Не опр.	-
Эбелек	27,00	30-40	40-50	15,0
Всего	-	-	-	27,7
Сентябрь 1986 г.				
Терескен серый	1,14	92,3 ± 1,5	105,7 ± 2,6	17,8
Самосев терескена	9,60	58,1-1,1	52,9 ± 1,2	14,3
Эбелек	Не опр.	10-15	8-12	5,1
Всего	-	-	-	37,2
Сентябрь 1987 г.				
Терескен серый	1,14	99,3 ± 1,4	94,6 ± 2,1	14,7
Самосев терескена	Не опр.	70,5 ± 2,3	Не опр.	13,1
Эбелек	-"-	15-25	-"-	14,7
Всего	-	-	-	42,5
Июль 1988 г.				
Терескен серый	1,14	90,8 ± 1,6	86,1 ± 2,4	13,7
Самосев терескена	15,20	46,3 ± 2,4	40,5 ± 1,4	6,4
Эбелек	Не опр.	3-5	2-3	3,1
Всего	-	-	-	23,1

Рис. 85. Четырехлетнее насаждение терескена в ДО. Ур. "Городовики", сентябрь 1987 г.

замедлено лишь в первый год (табл. 75), в последующие – по приросту биомассы и качеству веточного корма (количеству мелких побегов) густые, ленточные (шириной 2,5-3,0 м) посевы заметно превосходят посадки.

Сложные мелиоративно-кормовые фитоценозы по меньшей мере в первые пять лет отличаются ускоренным развитием (рис. 86) и высокой кормовой продуктивностью (табл. 76).

Таблица 75

Показатели роста терескена серого в деструктивной эколого-морфологической области под защитой борозд-валов. Ур. "Молодежный"

Способ создания	Сентябрь 1985 г.		Сентябрь 1987 г.		
	высота, см	диаметр кроны, см	высота, см	диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса, ц/га
Посадка сеянцев МЛУ-1	49,4±1,4	47,3±1,2	107,2±1,7	105,0±1,9	18,0
Посев под зубовую борону (ширина посевной кулисы 2,5 м)	8,2±0,4	10,8±0,6	92,0±1,6	94,8±2,7	47,5

Рис. 86. Комплексная фитомелиорация ДО современных очагов дефляции: вверху – посадка терескена (вид в апреле и июне 1985 г.), внизу – посевы терескена и кормовых трав (в июне и сентябре 1986 г.). Ур. "Молодежный"

В заключение отметим, что кормовую ценность растительного покрова в ДО можно существенно повышать увеличением доли прутняка в составе культур. В этом отношении большую перспективу имеет испытание способов его посадки. Даже при невысокой приживаемости сеянцев можно получать значительный эффект. Редко стоящие (через 1-3 м) растения прутняка в бороздах МЛУ-1 на второй год достигают размеров 1 х 1 м обильно плодоносят и обсеменяют окружающую территорию, обеспечивая формирование сложных терескеново-прутняково-злаковых пастбищ летне-осеннего использования (рис. 87).

Таблица 76

Развитие мелиоративно-кормовых насаждений в ДО, созданных по новой технологии весной 1985 г. Ур. "Молодежный"

Породный состав	Кол-во растений, тыс./га	Высота, см	Диаметр кроны, см	Сухая надземная масса, ц/га
*1985 г.**				
Терескен (посадка МЛУ-1) +	1,3	49,4±1,4	47,3±1,2	2,1
прутняк +	1,3	10-15	2-3	Не опр.
житняк ситниковый (посев под борону)	33,0	5-7	5-10	-"-
*1987 г.**				
Терескен +	1,3	107,2±1,7	105±1,9	18,0
2-летний самосев терескена +	30-40	71,3±2,3	54,1±1,8	12,0
прутняк +	2,0	21,1±1,2	28,2±1,3	7,0
житняк	15,0	84,5±1,1	38,3±1,4	-
Всего	-	-	-	37,0
*1988 г.***				
Терескен +	1,3	112,4±2,2	126,0±3,7	24,0
3-летний самосев терескена +	60-70	Не опр.	Не опр.	13,0
прутняк +	2,0	65,4±1,3	71,2±1,8	16,5
житняк	15,0	110,6±1,8	51,4±1,7	-
Всего	-	-	-	53,5

**Показатели определены для прутняка и житняка в середине июня, для терескена в конце августа, ** в начале июля.*

Рис. 87. Двухлетний пырейно-прутняковый сеяный фитоценоз между рядами посадки терескена в ДО очага дефляции (конец июня 1986 г.). Ур. "Молодежный"

9.1.7. Восстановление пастбищ в деструктивно-аккумулятивной области с мелкобарханным рельефом

Известные эффективные способы закрепления мелкобарханных песков и восстановления растительного покрова на паст-

бищах аридной зоны предусматривают устройство механических защит или покрытие поверхности песка склеивающими материалами, посадку кустарников и посев трав, а также посев в лунки по межбарханным понижениям незакрепленных мертвыми защитами песков. Они базируются на применении большого количества ручного труда, материалов [4, 114, 297 и др.] и оказались неприемлемыми в условиях крупномасштабного, исключительно интенсивного развития дефляции и прироста нарушенных земель на территории Черных земель в 70-80-гг. XX столетия. Способ глубокой (на 60-70 см) посадки крупных (высотой 1,5-2,5 м) сеянцев и саженцев джузгуна и тамарикса, вследствие небольшой мощности и высокой подвижности песка, оказался малоэффективным [200]. Перспективу его применения ограничила и необходимость выполнения работ на большой площади, перевозки посадочного материала на дальнее расстояние, что требовало большого количества транспортных средств.

По этой причине при разработке технологии закрепления песка в современных очагах дефляции повышенное внимание уделялось поиску дешевых и эффективных способов прекращения движения барханов до посадки кустарников.

9.1.8. Создание насаждений по бороздам-валам

Первым был испытан способ напашки сближенных (через 1,5-2,0 м) борозд-валов на обнажениях почвы между цепями барханов, образующих непрерывную крупногребенчатую поверхность с большой поглотительной емкостью рельефа (рис. 88) [4]. После заполнения борозд песком гребни валов выполняют функцию скрытых механических защит, стабилизируют поверхность и создают возможность производить посадку культур мелкими (стандартными) сеянцами, выращивание и доставка которых на лесокультурную площадь не требует больших затрат. Способ позволяет перехватывать и удерживать песок барханов на площадях с большой (более 50%) долей обнажений и запасом песка барханов до 1000 $м^3$/га, а также использовать наиболее ценные кормовые полукустарники – терескен, прутняк. Кроме этого, за счет рыхления, опесчанивания (табл. 77, рис. 89) и хорошего увлажнения осадками (табл. 78) бороздование обеспечивает качественную физическую мелиорацию поверхностных отложений.

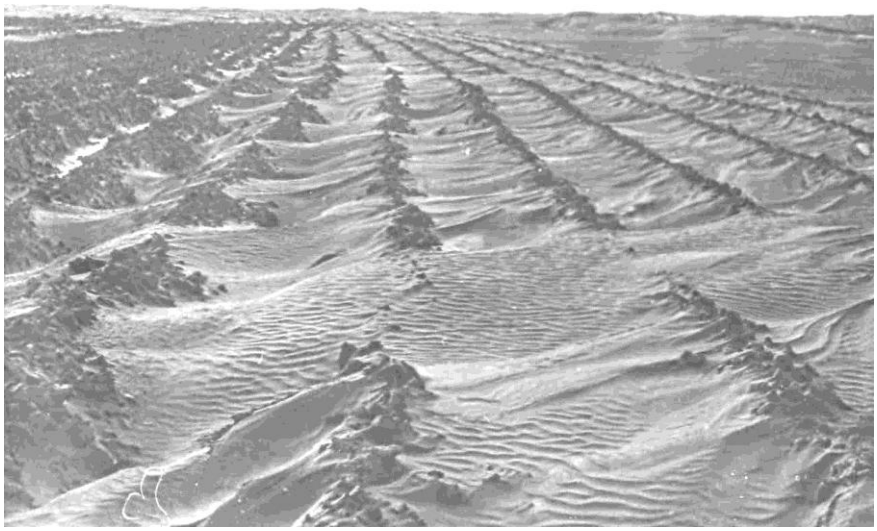


Рис. 88. Заполнение песком сближенных борозд-валов, напаханных плугом ППН-40 между цепями барханов в ДАО массива дефляции в октябре 1982 г. Ур. "Городовики", декабрь 1982 г. Фото Н. С. Зюзя

Таблица 77

Объемная масса и максимальная гигроскопичность почвогрунта в межбарханных пространствах массива опустынивания легких почв в группах борозд-валов. Ур. "Городовики", 1983 г.

Глубина взятия образца, см	Борозда		Вал	
	ОМ, г/см^3	МГ, %	ОМ, г/см^3	МГ, %
5-10	1,42	1,9	1,03	6,5
15-20	1,37	1,9	1,19	6,4
30-35	1,18	5,4	1,47	6,5
40-45	1,15	5,4	1,42	6,5
50-55	1,43	6,5	-	6,5
60-65	1,43	6.5	-	6,5

Примечание. "-" – не определена.

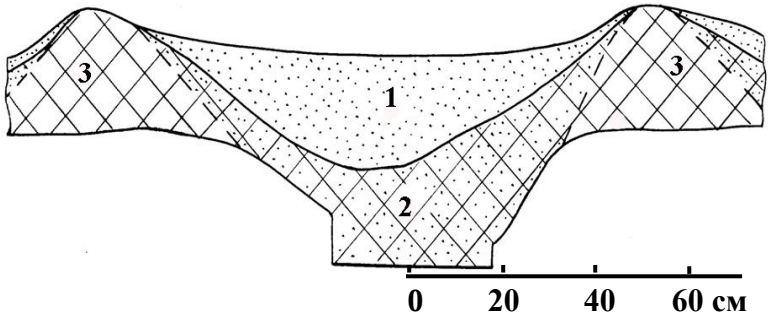


Рис. 89. Поперечный разрез двух валов и заключенной между ними борозды, напаханных в октябре 1982 г. в межбарханных пространствах крупного массива дефляции легких почв по состоянию на 8 августа 1983 г. Ур. "Городовики" (1 – эоловый песок; 2 – разрыхленный опесчаненный суглинок; 3 – карбонатный суглинок в плужных отвалах)

Применение этого способа обеспечило высокую приживаемость сеянцев (табл. 79), но потребовало значительных затрат на обработку почвы и не исключило необходимости защиты 1-2-летних саженцев от засекания (рис. 90).

Таблица 78

Запасы продуктивной влаги (мм) в барханной области крупного массива опустынивания. Ур. "Городовики", 1983 г.

Слой, см	Бархан				Борозда				Вал			
	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X
0-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-30	13,5	0	0	0	16,8	14,0	9,5	8,4	16,5	21,3	4,5	2,8
30-50	25,5	0	0	0	20,9	11,0	22,3	6,5	20,4	21,0	19,7	7,3
0-50	39,0	0	0	0	37,7	25,0	31,8	14,9	36,9	42,3	24,2	10,1
50-70	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	22,8	28,8	25,5	27,4	24,1	9,5	31,4	26,6
70-90	-"-	-"-	-"-	-"-	28,2	23,7	31,8	28,8	30,6	12,3	33,9	29,7
90-100	-"-	-"-	-"-	-"-	43,2	38,1	6,6	33,6	31,5	11,7	18,6	23,4
110-130	-"-	-"-	-"-	-"-	27,6	19,2	26,1	44,7	28,2	1,2	27,6	28,2
130-150	-"-	-"-	-"-	-"-	13,8	2,7	8,4	26,4	34,8	18,0	0,9	36,0
0-150	-"-	-"-	-"-	-"-	173,3	137,5	130,2	175,8	186,1	95,0	136,6	154,0

Таблица 79

Приживаемость (%) культур весенней посадки на участках с гребневанием почвы. Барханная область массива дефляции. Ур. "Городовики", 1983 г.

Способ посадки	Июнь		Сентябрь	
	джузгун	терескен	джузгун	терескен
Однолетние сеянцы в гребни борозд-валов (СЛЧ-1)	94,2	66,6	84,7	64,3
Крупные сеянцы (МЛБ-1)	85,0	-	73,4	-
Однолетние сеянцы (ВУМ-60) на необработанном участке	-	12,0	-	0

Рис. 90. Погибающие от засекания песком 2-летние саженцы терескена серого, посаженные на участке сближенных борозд-валов между цепями барханов в ДАО. Ур. "Городовики", сентябрь 1984 г.

В опыте лучший рост и состояние имели саженцы терескена. Их средняя высота в однолетнем возрасте составила 19,6 ± 0,7 см, диаметр кроны 11,3 ± 0,5 см, но эти показатели сильно варьировали по площади. Наиболее крупные экземпляры были в рядах, расположенных вблизи (на расстоянии до 10 м) от барханных цепей, где они меньше страдали от засекания песком (табл. 80).

Таблица 80

Влияние защиты из трав-псаммофитов на рост саженцев терескена во второй вегетации. Барханная область массива дефляции. Ур. "Городовики", сентябрь 1984 г.

Вариант	Высота, см	Диаметр кроны, см	Сухая масса, г
Терескен под защитой кумарчика-кияка	71,1 ± 1,5	61,0 ± 1,0	395,4
Терескен на открытом месте (контроль)	29,2 ± 2,0	25,4 ± 1,4	83,1
$НСР_{05}$	4,9	3,4	-

Саженцы джузгуна были сильно угнетены, имели укороченные вегетативные побеги, среднюю высоту 18,6 ± 1,0 см, диаметр

кроны – 6,8 ± 0,2 см. На следующий год они погибли.

На участке с необработанной почвой в бороздах ВУМ-60 однолетние сеянцы терескена плохо прижились и из-за засыпания и засекания песком к середине лета погибли. Крупные сеянцы джузгуна при глубокой посадке имели хорошую приживаемость, но вследствие засекания при сильных ветрах (когда растения наклоняются к подстилающей поверхности) к осени пришли в угнетенное состояние.

Попытка защитить однолетние посадки терескена по бороздам-валам подсевом смеси семян кияка (5 кг/га) и кумарчика (2 кг/га) не имела успеха по следующим причинам:

- при свободном (без заделки) посеве в заполненные песком борозды семена (особенно кияка) в массе выдуваются за пределы насаждений. В результате всходы трав в осенних и зимних посевах оказываются изреженными, а весенних гибнут по причине быстрого пересыхания верхнего слоя песка;

- кумарчик лишь в июле образует плотные фитоценозы с запасом сухой биомассы около 30 ц/га, а отмирает и освобождает площадь уже в сентябре – октябре;

- несмотря на относительно высокую сохранность и ускоренный рост (см. табл. 80) под защитой травостоя, кусты терескена на периферии кулис засыпаются песком и теряют кормовое и репродуктивное значение;

- сплошной (на всей площади посадки) травостой интенсивно расходует почвенную влагу (табл. 81), что ведет к сокращению продуктивного долголетия мелиоративно-кормовых насаждений.

Таблица 81

Запасы продуктивной почвенной влаги (мм) в насаждениях терескена 1983 г. по бороздам-валам, напаханным в барханной области очага дефляции. Ур. "Городовики", 1984 г.

Глубина взятия образца, см	Терескен на открытом месте			Терескен под защитой травостоя (кумарчик)
	март	июнь	октябрь	октябрь
0-5	2,3	0	0	0
5-30	23,5	4,5	0	0
30-50	19,4	19,3	0	0
0-50	45,2	23,8	0	0
50-70	35,3	18,5	3,6	0
70-90	46,2	23,4	17,7	0
90-110	39,6	11,1	38,1	0
110-130	44,4	13,2	40,8	23,7
130-150	15,6	36,0	16,8	21,9
0-150	226,3	126,0	117,0	45,6

Полученные данные свидетельствуют о том, что подсев трав (многолетних) следует проводить в свежие (незаполненные песком) и только крайние на участке борозды-валы. В этом случае защитный эффект травостоя будет проявляться уже в первую вегетацию саженцев и предотвратит их засыпание во внутренней части участка.

В 1984-1988 гг. были поставлены опыты по созданию на мелкобарханных песках локальных киячно-терескеновых фитоценозов, способных к многолетнему развитию, задержанию большой массы песка и обсеменению территории. При этом основное внимание уделялось определению нормы расхода семян кияка при посеве в плужные борозды, принципов размещения посевов на площади, оптимального срока ввода терескена на защищенные участки.

Для определения оптимальной глубины заделки песком (глубины борозд) на защищенном участке ДО были выкопаны квадратные углубления, по дну которых распределялась одинаковая порция семян и доверху углублений засыпалась песком. Опыты закладывались осенью и весной. Учеты всходов проводили в июне.

Установлено, что глубина заделки семян меньше влияет на количество всходов в осенних посевах (табл. 82). В этом случае оптимум глубины находится в пределах 10-15 см, но семена могут прорастать и с глубины 25 см. При весеннем посеве – 5-10 см и ее максимуме 15 см. Это можно объяснить лучшим увлажнением песка, повышенной энергией прорастания семян и более ранним появлением всходов в осенних посевах. Высота растений в июне при обоих сроках посева была примерно одинакова 20-40 см. Несколько хуже всходы кияка развивались при заделке семян на глубину 5 см, их высота не превышала 15-20 см.

Таблица 82

Влияние глубины заделки семян кияка песком на появление всходов. Ур. "Молодежный", 1986 г.

Срок посева	Кол-во всходов, шт./1600 см^2				
Глубина заделки семян, см	5	10	15	20	25
Ноябрь 1985 г.	49	126	74	48	47
Март 1986 г.	121	154	55	1	0

При свободном посеве в свежие сближенные борозды-валы, напаханные плугом ППУ-50А в октябре 1984 г. (в опыте на девяти участках площадью по 1-2 га), лучшие результаты получены при расходе семян 2-4 кг/га. На второй год на делянках таких посевов сформировались устойчивые фитоценозы с урожаем надземной массы в воздушно-сухом состоянии 15-25 ц/га (табл. 83).

Таблица 83

Состояние осенних посевов кияка 1984 г. по бороздам-валам в барханной области очага дефляции. Ур. "Молодежный"

Норма расхода семян, кг/га	Кол-во растений, тыс./га		Высота растений, м		Воздушно-сухая масса надземной части, ц/га	
	09.1985 г.	06.1986 г.	09.1985 г.	06.1986 г.	09.1985 г.	06.1986 г.
1	18,0	1,9	0,4-1,0	0,5-1,2	Не опр.	6,1
2	47,0	5,5	0,4-1,0	1,0-1,5	3,1	14,5
4	100,0	10,0	0,3-0,8	1,0-1,5	6,8	26,4

9.1.9. Создание культур терескена под защитой киячных кулис

В октябре очень засушливого 1986 г. на мелкобарханных песках пересекшего сбросной канал в 20 км к югу от п. Тавн-Гашун очага дефляции (ур. "Приканальное") был заложен опыт по ускоренному блокированию переноса песка и восстановлению растительного покрова с помощью киячных кулис.

Семена кияка высевали вручную нормой 3 кг/га по лентам (из 3-12) свежих плужных борозд (рис. 91), нарезанных через 3-5 м друг от друга однокорпусным плугом на глубину 15-20 см. Ленты борозд размещали через 20-40, 70-80 и 170-190 м параллельно друг другу и цепям барханов.

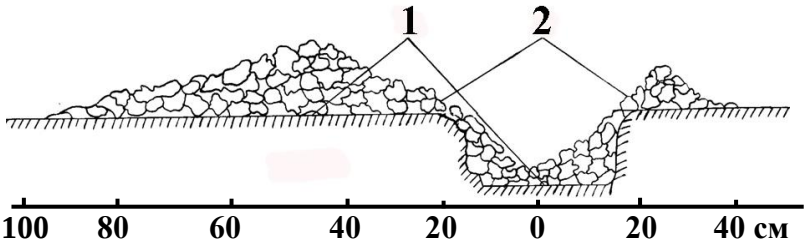


Рис. 91. Поперечный профиль борозды, нарезанной одним корпусом плуга общего назначения в почвогрунте между цепями барханов: 1 – неперевеянный, 2 – разрыхленный грунт

Наблюдения показали, что даже при высеве семян в сухую почву (табл. 84) после заделки борозд и пор в отвалах песком и зимне-весеннего увлажнения почвы всходы кияка появляются уже в конце марта – начале апреля. Они быстро растут и аккумулируют песок (рис. 92). Принцип их работы сходен с принципом работы стоячих высокорядных механических защит, но кулисы кияка эффективнее, поскольку они подрастают и развивают подземные органы при засыпании.

Лучше задерживают песок 3-6-рядные кулисы (рис. 93). Так, трехрядная кулиса протяженностью 100 м при редком (через 170-190 м) размещении и свободном (практически неограниченном)

поступлении песка к концу первой – началу второй вегетации способна задержать 400 м^3 и более сыпучего материала, к середине второй вегетации – 3000 м^3 (рис. 93а, г). В кулисах с большим числом рядов основная масса песка аккумулируется в крайних 3-6 рядах травостоя (рис. 93ж). Кулисы из 1-2 рядов в первую вегетацию кияка могут полностью засыпаться и погибать.

Таблица 84

Динамика запасов продуктивной почвенной влаги (%) в посевах кияка на мелкобарханных песках современного очага дефляции. Ур. "Приканальное"

Глубина, см	31.10.1986 г.	24.04.1987 г.		24.06.1987 г.		24.08.1987 г.
	между бороздами	между бороздами	в борозде	между бороздами	в борозде	между бороздами
0-5	0	12,4	7,0	0	0	0
20	0	10,9	5,9	0,7	0	6,2
40	5,7	18,6	14,0	7,9	7,6	17,4
60	4,9	8,1	5,2	10,2	6,6	8,4
80	3,2	10,1	10,2	6,5	6,9	4,9
100	7,7	5,8	10,0	12,7	6,7	10,7
120	19,2	15,4	7,6	10,5	13,7	7,9
150	4,0	9,7	13,4	5,3	7,3	4,9

Рис. 92. Противоэрозионные кулисы кияка в сентябре первого года вегетации в ДАО современного очага дефляции. Ур. "Приканальное", 1987 г.

При равномерном размещении по площади объем аккумуляции песка одной кулисой заметно уменьшается и зависит от его запасов в межкулисном пространстве (рис. 93б, в, д, е). Но и в этом случае больше песка оседает в рядах кияка, расположенных со стороны преобладающих эрозионных ветров (рис. 93д, е). Наиболее эффективно и надежно закрепляют мелкобарханные пески 4-5-рядные кулисы, равномерно размещенные по площади.

При создании кулис через 20-50 м уже к середине – концу первого года между ними образуются свободные от песка коридоры, где прекращается интенсивный перенос песчаной поземки

и поселяются верблюдка, солянка русская, щирица жминдовидная, кумарчик и другие, создаются благоприятные условия для ввода ценных кормовых растений.

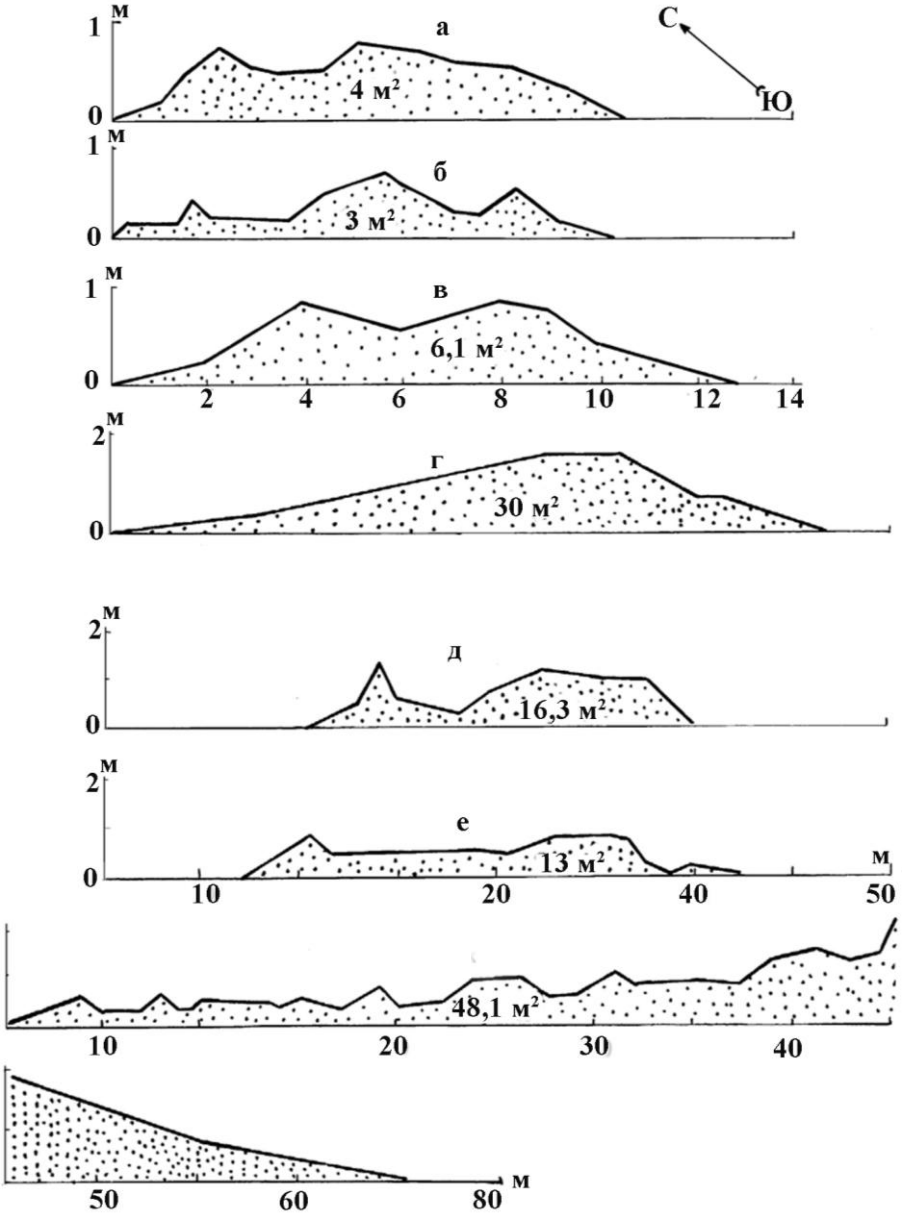


Рис. 93. Поперечные профили аккумуляций песка в кулисах кияка (а-г – кулиса трехрядная; д, е – шестирядная; ж – двенадцатирядная; а, б – в начале, в-ж – в середине второй вегетации; а, г, ж – кулисы одиночные; б, в, д, е – равномерное распределение кулис по площади). Ур. "Приканальное", 1988 г.

При расстоянии между параллельными кулисами кияка от 50 до 70-80 м естественная растительность активно поселяется на второй, а при 100-200 м – на третий год. Пограничные с незакультивированной площадью кулисы за три года обеспечивают самозарастание прилегающих к ним неосвоенных участков шириной 100-200 м (рис. 94).

Рис. 94. Самозарастание ДАО современного очага дефляции под влиянием противо-эрозионных кулис кияка (в центре). Ур. "Приканальное", сентябрь 1988 г.

Посадку однолетних сеянцев терескена между посевами кияка проводили перед началом его первой (март 1987 г.) и второй (март 1988 г.) вегетации. При посадке терескена до появления всходов кияка из-за наличия отложений песка возникают значительные осложнения в работе, снижающие качество культур. Второй срок посадки обеспечил высокую приживаемость и быстрый рост саженцев (рис. 95, табл. 85).

Рис. 95. Однолетнее насаждение терескена серого (источник обсеменения) между противоэрозионными кулисами кияка в ДАО современного очага дефляции. Ур. "Приканальное", сентябрь 1988 г.

В целом киячно-терескеновые фитоценозы в барханной области очагов дефляции имеют исключительно высокую продуктивность. Уже в двухлетнем возрасте они могут быть использованы как богатые кормовые угодья, очаги естественного обсеменения или семенные плантации, продуцирующие до 10 ц/га семян кияка и 20-25 ц/га семян терескена.

Таблица 85

Приживаемость и развитие фитоценозов очагов облесения в барханной области очага дефляции. Ур. "Приканальное"

Видовой состав	Период и способ закладки	Время определения	Приживаемость (сохранность), %	Биометрические показатели				
				средняя высота растений, см	средний диаметр кроны растений, см	воздушно-сухая надземная масса, ц/га		
						побегов	семян	общая
1987 г.								
Кияк + терескен	10.1986 г., посевом семян (3 кг/га) по лентам борозд	Июнь	50-60	50-70	-	Не опр.	-	Не опр.
		Сентябрь	80	70-100	-	5,6	-	5,6
	03.1987 г., посадкой сеянцев (3х 1 м)	Июнь	90	-	-	-	-	-
		Сентябрь	85	47,4±1	34,3±2,1	1,8	Не опр.	1,8
1988 г.								
Кияк	Те же	Июнь	77	111,1±1,9	-	57,5	9,1	66,6
Терескен	Те же	Июнь	81	87,7±1,2	99,9±1,6	29,4	-	29,4
		Сентябрь	81	111,2±1,9	124,1±1,8	30,3	23,4	53,7
Терескен	03.1988 г., посадка под защитой кияка	Июнь	95	45,2±1,4	39,7±1	4,1	-	4,1
		Сентябрь	95	86,2±1,5	102,5±2,7	22,7	13,4	36,1

9.1.10. Самозарастание мелкобарханных песков под влиянием киячно-терескеновых фитоценозов

Наблюдения в ур. "Приканальное" показали, что основная масса семян кияка из защитных кулис выдувается ветрами в межкулисные пространства и при отсутствии препятствий перекатыванием и скольжением выносится за пределы ДК в направлении преобладающих потоков в период их опадения. Небольшая часть семян остается и прорастает в ветровой тени материнских кулис (в полосе 10-30 м), поэтому при необходимости целенаправленным поранением поверхности обнажений почвы в этот период (в июле) можно добиться значительного расширения киячных кулис и быстрого закрепления мелкобарханных песков (рис. 96). Следует также помнить, что редкие всходы кияка неустойчивы к засеканию, а при хорошем развитии из них образуются кусты, накапливающие большие кучи песка и искажающие рельеф восстановленного пастбища.

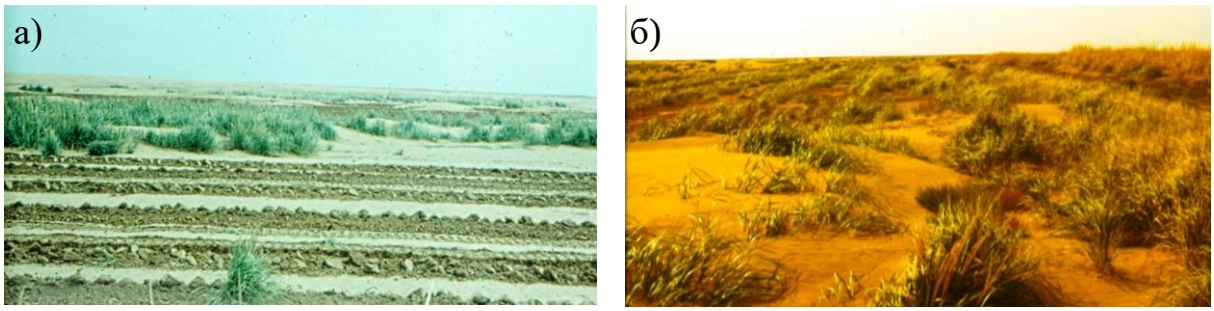


Рис. 96. Расширение противоэрозионных киячных кулис в результате напашки борозд в межкулисных "коридорах". Ур. "Приканальное" (а – июль 1987 г., б – сентябрь 1989 г.)

Опушенные семена терескена легко поднимаются воздушными потоками и разносятся по обширной территории (рис. 97). Однако их основная масса выдувается вдоль рядов посадки, зависит от ширины междурядий и направления рядов, а также их количества, длины и прямолинейности. Плотные материнские насаждения и многорядные кулисы кияка являются серьезным препятствием на пути семятоков. Из-за этого много семян остается в междурядьях посадок и вдоль внутренних (обращенных к посадке) откосов песчаных валов, где в начале второй и третьей вегетации материнских насаждений появляются загущенные (250-300 тыс./га) всходы терескена. К осени "щетка" сеянцев достигает высоты 50-70 см с сухой массой побегов около 50 ц/га, которая создает дополнительное пре-

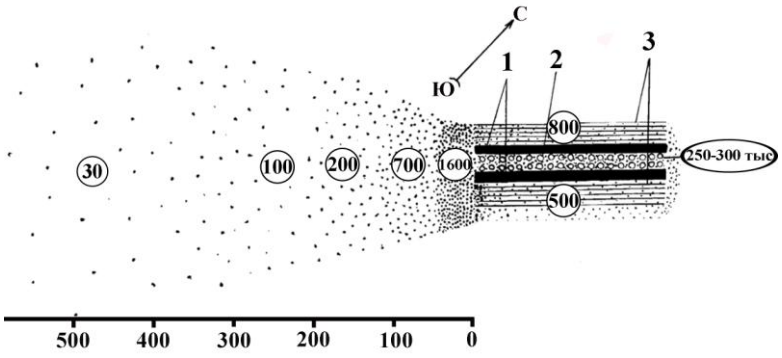


Рис. 97. Обсеменение мелкобарханных песков терескеном от локальных фитоценозов (1 – защитные (материнские) кулисы кияка; 2 – ряды 2-3-летних посадок терескена; 3 – однолетние самосевные кулисы кияка в плужных бороздах; 100 – число всходов терескена (шт./га на расстоянии 0-500 м). Ур. "Приканальное", сентябрь 1989 г.

пятствие выносу семян нового урожая и при необходимости может использоваться для заготовки посадочного материала с целью создания новых культур терескена (рис. 98).

Инспермацию территории наиболее эффективно обеспечивают культуры с короткими рядами и широкими междурядьями.

Рис. 98. Двухлетнее насаждение терескена серого между противоэрозионными кулисами кияка в ДАО современного очага дефляции. Ур. "Приканальное", сентябрь 1989 г.

Наблюдения показали, что они уже к концу второго года жизни способны обсеменить территорию, в 10 и более раз превышающую их собственную площадь. При этом семена полукустарника, в отличие от семян кияка, и без создания дополнительной шероховатости поверхности могут задерживаться и прорастать в межбарханных понижениях. На участках, где ветровой режим смягчен кулисами кияка, однолетние всходы терескена имеют среднюю высоту 60,2 ± 2,4 см, диаметр кроны 63,5 ± 1,9 см, сухую массу надземной части около 200 г. Они обильно плодоносят, обеспечивая дальнейшую инспермацию опустыненной территории (рис. 99).

Отметим, что при большой густоте материнских растений и самосева терескенники быстро расходуют запасы почвенной влаги и на 3-4-й год резко снижают вегетативную и семенную продук-

Рис. 99. Формирование растительного покрова в ДАО современного очага дефляции вследствие обсеменения из киячно-терескеновых насаждений и поселения сорных трав. Ур. "Приканальное", сентябрь 1989 г.

тивность. Поэтому между кулисами кияка их следует создавать не сплошь, а дискретно – небольшими участками посадки длиной 20-40 м с междурядьями 8-10 м, ориентированными по возможности вдоль преобладающих ветров, что обеспечит максимальный вынос семян из материнского насаждения.

9.1.11. Аэросев семян кияка

Впервые этот способ был испытан в 1931-1932 гг. в Терско-Кумском междуречье на среднебарханных песках ур. "Уразгул" (3872 га). При норме высева 8 кг/га примерно 8-метровыми полосами с пропусками такой же ширины (4 кг/га на физический гектар) он обеспечил высокую первоначальную равномерность распределения семян по засеваемой площади. Но уже при слабом (2-3 м/с) ветре семена начинали передвигаться, а при более сильном – сдуваться с возвышенных мест в низины у подошв наветренных и заветренных склонов барханов, где и появились всходы [306, 353, 354, 413]. В целом, и аэросев, и свободные наземные посевы семян трав-псаммофитов (проведенные на 10 тыс. га) признаны малоэффективным способом закрепления барханных песков, подстилаемых на различной глубине суглинком [413]. По наблюдениям Н. А. Смирнова, на таких песках они "… не дают положительного результата ввиду выдувания, засекания и засыпания растений…" [354, с. 238].

Опыт аэросева обескрыленных семян саксаула в Узбекистане (1933-1934 гг.) и Туркмении (1938-1941 гг.) [191, 306] также привел к выводу о том, что его следует применять на полузаросших песках, т. е. при умеренной дефляции поверхности: "…на оголенных барханных песках эффективность аэросева ниже – в результате

сдувания семян в котловины выдувания и засыпания всходов" [340, с. 125]. "На пятнах голых такыров, расположенных иногда среди песков, аэросев возможен только после предварительной подготовки их путем бороздования с целью опесчанивания" [306, с. 354].

Первый опыт по изучению возможности использования авиации при создании противодефляционных кулис кияка на Черных землях был заложен в сентябре – октябре 1988 г. в крупном массиве дефляции на пастбищах совхоза "Первомайский".

Массив вытянут в долготном направлении более чем на 10 км. Участок под аэросев (850 га) занимал среднюю часть его барханной области и почти пересекал ее в широтном направлении. Эоловый материал (около 1000 м^3/га, местами до 2200 м^3/га) был сосредоточен в редких, расположенных на разном удалении друг от друга цепях барханов высотой 0,2-1,7 м (в среднем 0,84 м) и покрывавших около 23% (местами до 60%) поверхности почвы (рис. 100).

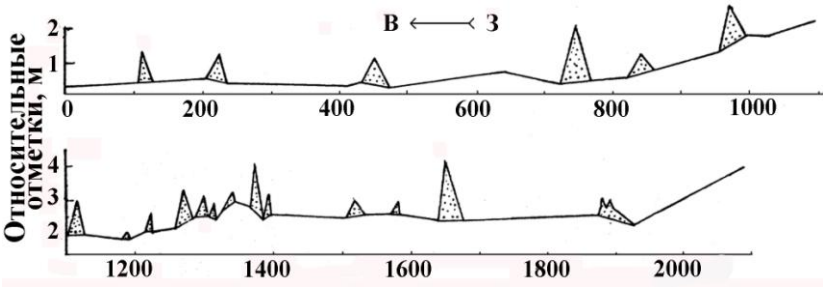


Рис. 100. Профиль инструментальной нивелировки мелкобарханных песков на участке аэросева кияка 4.10.1988 г. Ур. "Первомайское", октябрь 1988 г.

Подстилающие отложения на опытном участке были увлажнены и выщелочены от водно-растворимых солей до глубины 1-3 м и более (рис. 101).

Перед началом работ на экспериментальных залетах установлено, что при аэросеве кияка с помощью установки РТШ-1 рабочая высота полета самолета АН-2 может варьировать в пределах 5-20 м, а ширина шлейфа семян – примерно от 10 до 40 м. Дальнейшее снижение или увеличение высоты полета не приводит к существенным изменениям ширины шлейфа семян (рис. 102). Зависимость ширины шлейфа семян ($У$) от высоты аэросева (x, м) подчиняется уравнению:

$$У = 38{,}2/1 - \exp(4{,}076 - 0{,}167x),\ \eta = 0{,}99, \qquad (75)$$

а расхода семян ($У_1$, г/с) от ширины засеваемой ленты (x_1, м) и нормы их высева (x_2, кг/га) –

$$У_1 = (0{,}058 + 4{,}29x_1)x_2,\ \eta = 1{,}0. \qquad (76)$$

При боковом ветре (90-60° к направлению аэросева) скоро-

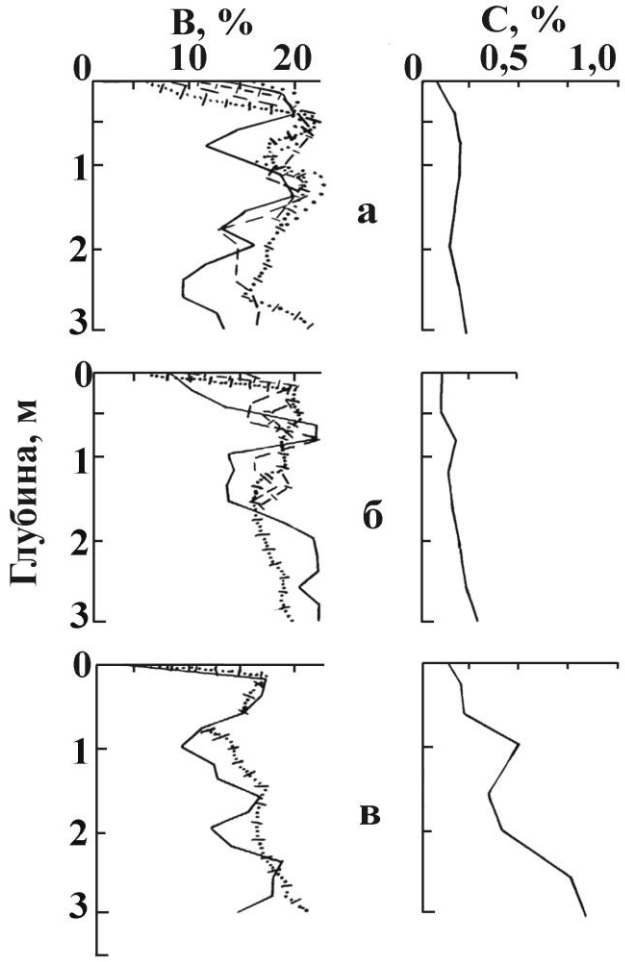


Рис. 101. Содержание валовых запасов влаги (В, %) и водно-растворимых солей (С, %) в неперевеянном почвогрунте (а и б – ровное и слабо пониженное, в – возвышенное местоположения) на участке аэросева кияка. Ур. "Первомайское", 1989 г.

стью 5 м/с с отдельными порывами до 7-9 м/с смещение продольной оси шлейфа семян кияка над поверхностью почвы по отношению к оси полета самолета на высоте 8-10 м достигает 7-12 м и вызывает необходимость коррекции траектории его движения в процессе работы над лентами борозд.

Принятая норма высева семян (3, 6 и 9 кг/га) обеспечивалась установкой лепестков дозатора и повторными пролетами. В частности, было установлено, что если все шесть лепестков дозатора РТШ-1 открыть на самый малый угол (установить на первом сверху отверстии фиксатора), то при полете самолета на высоте 8-10 м со скоростью 150-160 км/час обеспечивается расход семян около 1,5 кг/га. Если при этом два лепестка из шести зафиксировать на следующем (втором) отверстии расход семян увеличится до 3 кг/га, а если четыре лепестка переместить на третье отверстие, оставив два на первом – 5-6 кг/га.

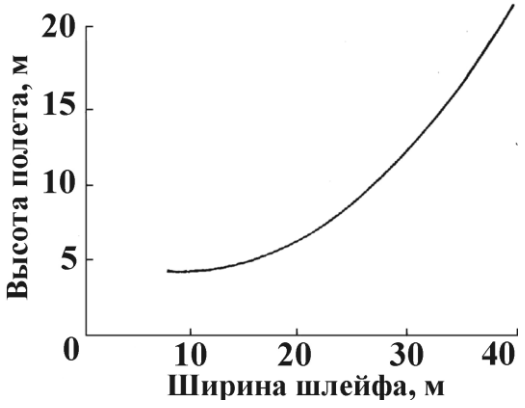


Рис. 102. Высота полета и ширина шлейфа семян кияка при аэросеве (самолет АН-2, оборудованный РТШ-1) в условиях встречного и попутного ветра скоростью 5 м/с

Аэросев с самолета АН-2, оборудованного широкозахватным тоннельным распределителем (РТШ-1) без микродозирующего устройства, был проведен 4 октября 1988 г. разной нормой расхода семян по обработанной бороздованием и необработанной поверхности. Однако между сроками обработки почвы и аэросевом был допущен разрыв в четыре дня с повышенной активностью ветра. В результате значительная часть борозд к началу аэросева оказалась засыпанной песком на 50-100% их емкости (рис. 103), что снизило способность борозд аккумулировать и удерживать семена.

При встречном и попутном ветре 5 м/с выбранный режим работы самолета имел следующие параметры (см. рис. 102):

- высота полета 8-10 м;
- скорость полета 150-160 км/ч;
- ширина засеваемой полосы 20-30 м;
- масса семян при одной заправке 130 кг;
- секундный расход 308-924 г;
- фактическая производительность с учетом издержек времени на эксперименты – около 100 плотных га/час (в производственных условиях она может быть увеличена в 2-4 раза и более).

Рис.103. Состояние плужных борозд в период аэросева кияка в ДАО очага дефляции. Ур. "Первомайское", октябрь 1988 г.

В момент достижения семенами поверхности обеспечивалась высокая равномерность их распределения. Однако при сильном ветре по ровной гладкой поверхности обнажений почвы семена очень активно перераспределялись в пределах лент борозд. Причем свежие борозды и их рыхлые отвалы полностью задерживали семена, упавшие на ленты распашки. В засыпанных песком бороздах семена сосредотачивались (в виде "ручейка" неравномерной ширины и мощности) в наиболее глубокой руслообразной части у заветренного откоса борозд, а их "избыточная" масса выносилась ветром за пределы лент обработанной почвы. Несмотря на относительно благоприятные погодные условия в

послепосевной период (табл. 86), по этой причине различия по количеству всходов на вариантах опыта с обработкой почвы оказались незначительными.

Таблица 86

Погодные условия в послепосевной период в районе проведения опытных посевов кияка. Ур. "Первомайский"

Месяц	Осадки, мм		Относительная влажность воздуха, %		Температура воздуха, °С	
	многолетняя норма	1988-1989 гг.	многолетняя норма	1988-1989 гг.	многолетняя норма	1988-1989 гг.
Октябрь	18	23	73	63	9,1	9,6
Ноябрь	16	44	81	88	1,9	1,3
Декабрь	18	33	85	90	–3,4	–2,0
Январь	16	21	84	88	–6,6	–2,5
Февраль	12	24	83	37	–6,0	–1,0
Март	14	10	78	71	–0,1	5,8
Апрель	16	4	62	56	9,6	12,1
Май	26	96	55	67	17,4	15,1
Июнь	26	25	50	59	22,6	23,9
Июль	22	40	46	51	25,6	25,9
Август	20	26	51	56	24,1	25,2
Сентябрь	18	1	59	55	17,2	18,4
Год	222	357	67	65	8,5	11,0

Лучшие результаты были получены при наземном севе вручную вразброс (на ветер) по свежим бороздам и отвалам почвы (табл. 87), несмотря на то, что он сильно уступает аэросеву в равномерности распределения семян.

Наименьшее количество всходов получено при аэросеве по необработанной почве. Даже при повышенной норме расхода семян (9 кг/га) всходы появились в виде разреженных куртин в блюдцеобразных и другой формы понижениях неравномерно по территории барханной области. Отсутствие борозд привело к выносу основной части семян с засеянного участка на ее периферию.

На всех вариантах опыта состояние всходов было примерно одинаковым (табл. 88), что свидетельствовало о благоприятных условиях для роста кияка на мелкобарханных песках, подстилаемых слоистыми отложениями. Очаговое снижение высоты растений к середине июня объяснялось засыпанием их песком и стравливанием сайгаками.

Напашка борозд и развитие всходов кияка спровоцировали и быстрое развитие всходов кумарчика на всей закультивированной площади (рис. 104), обсемененной от растений, поселившихся на

Таблица 87

Количество всходов (шт./м^2) в опытных посевах кияка при лабораторной всхожести семян 50-60% и разных нормах высева на мелкобарханных песках. Ур. "Первомайский", 1989 г.

Способ посева, норма расхода семян, кг/га	Режим обработки почвы	Дата проведения учетов				
		19.04	18.05	30.05	16.06	14.09
Аэросев нормой: 3 кг/га	1	42	41	40	37	35
	2	84	76	68	10	10
	3	21	18	14	55	47
6 кг/га	1	35	38	36	44	44
	2	55	51	49	34	27
	3	93	67	54	38	34
9 кг/га	1	24	20	20	49	46
	2	96	77	73	16	15
	3	117	107	65	52	52
Вручную, 3 кг/га	1	91	90	88	49	40
	2	53	47	46	43	40
	3	111	74	62	44	43
Аэросев, 9 кг/га*	4	20	20	23	19	17

*Примечание. 1 и 2 – борозды напаханы группами через 25 и 50 м; 3 – равномерно через 10-15 м; 4 – почва не обрабатывалась; *учеты проведены в разбросанных по участку куртинах всходов.*

Таблица 88

Динамика развития всходов и толщина аккумуляций песка в опытных посевах кияка в барханной области. Ур. "Первомайский", 1989 г.

Показатель, см	Дата измерений					
	19.04	19.05	30.05	16.06	23.07	14.09
Высота всходов:						
максимальная	20	27	32	38	60	89
минимальная	7	10	14	17	20	32
средняя	16	25	28	22	44	62
Глубина проникновения вертикальных корней	4-7	7-10	10-12	< 12	Не определялась	
Толщина аккумуляций песка	5-7	5-10	8-12	12-20	Не определялась	

периферии ДК. К концу лета вместе с кулисами кияка они подавили дефляцию и обеспечили зарастание очага уже на второй-третий год. Этому поспособствовали посадки терескена и посевы житняка, проведенные в марте – апреле 1989 г. между лентами посева кияка.

Таким образом, осенний аэросев кияка, которому предшествует предварительная обработка почвы в виде нарезки плужных борозд, позволяет закреплять мелкобарханные пески даже при небольшом (до 1-3 кг на один физический гектар) расходе семян. При

Рис. 104. Противоэрозионные кулисы кияка (с самосевом кумарчика) в середине первой вегетации, созданные эросевом в ДАО очагов дефляции. Ур. "Первомайское", 1989 г.

этом к концу первой вегетации среднее количество всходов в посевах достигает 10-40 шт./м^2 посевной ленты, а их высота 60 см (см. табл. 88). Уже на второй год происходит аккумуляция песка барханов в кулисах кияка и создаются благоприятные условия для формирования покрова из пастбищных растений.

Опытно-производственный аэросев кияка 18-19 июля на площади 2,5 тыс. га и 23-25 августа 1989 г. (около 5 тыс. га) в урочище "Меклета" (в 20 км юго-западнее аэросева в 1988 г.) уточнили возможности его применения.

Перед летними посевами почва также обрабатывалась в течение 3-4 дней в виде лент плужных борозд шириной 8, 20 и 30 м через 25, 50 и 75 м. На общей площади 7,5 тыс. га было высеяно 26 т семян. Их средний расход на физический гектар составил 3,5 кг, минимальный – около 1,0, максимальный – 10 кг/га.

В целом, был получен положительный результат. Но учеты показали, что плотность всходов на лентах борозд колебалась в более широких пределах (от 2-3 до 100-200 на м^2 их площади), чем при осеннем посеве, и зависела от нормы высева. Режим размещения борозд в лентах и лент борозд по площади на их появление и рост в первые месяцы не повлиял. Уязвимым местом летних посевов по бороздам оказалась строгая зависимость энергии появления всходов кияка от выпадения дождей в послепосевной период. Отсутствие эффективных осадков задерживало прорастание семян, а продолжительное пребывание под слоем сухого песка снижало их всхожесть. Поэтому закрепление мелкобарханных песков кияком в засушливый летне-раннеосенний период вызывает необходимость в большем расходе, более высоком качестве семян, что приводит к удорожанию работ. Оно связано также с повышенным риском допосевного засыпания борозд песком в

связи с активным переносом его в этот период.

В целом опытно-производственный аэросев семян кияка по лентам борозд в 10-12 раз повысил производительность и результативность работ.

Затраты на производство посевов кияка наземными средствами по принятой в середине 80-х гг. технологии составляли 41-70 руб./га (в ценах того периода). Основная часть расходов (53-65%) приходилась на стоимость семян, рекомендованная норма высева которых составляла 6-10 кг/га. На обработку почвы затрачивалось 13-23%, а на операции по высеву семян – 8-10% денежных средств. При этом успешными посевы были только в наиболее благоприятные годы. При использовании ленточного аэросева структура затрат (табл. 89) почти не изменилась, но их величина сократилась в 4,5-8 раз. При наличии тех же материальных и денежных ресурсов использование новой технологии позволяло осваивать вместо одной тысячи – 4,5-8,0 тыс. га песков, экономить время и резко увеличивать темпы работ.

Таблица 89

Структура затрат (в расчете на 1 тыс. га) на производство аэросева кияка в барханной области очага дефляции ур. "Первомайский" в октябре 1988 г. (по лентам борозд шириной 25-30 м через 25-30 м при норме высева 3 кг/га)

Наименование	Единица измерения	Выполнено работ		
		кол-во	цена за единицу измерения, руб.	стоимость работ по смете, руб.
Обработка почвы (в пересчете на сплошную)	га	48	31-10	1493
Аэросев при длине гона 2,1-3,0 км и подлете до 3 км*	га	500	1-05	525
Перелет самолета из аэропорта к месту работ и назад	час	2	150-00	300
Семена кияка	кг	1500	3-50	5250
Итого прямых затрат	-	-	-	7568
Накладные расходы (12%)	-	-	-	908
ИТОГО ЗАТРАТ:	-	-	-	8476
Плановые накопления (6%)	-	-	-	428
Полная стоимость с учетом коэффициента 0,991	-	-	-	8904

**По тарифу на АХР в лесном и сельском хозяйстве (приказ МГА № 90 от 31.03.87 г.).*

Дополнительно сократить расходы и повысить производительность работ на 10-25% позволяет уменьшение относительной

площади локальных посевов до уровня, заметно не снижающего защитную эффективность систем киячных кулис.

9.1.12. Метод и принципы ускорения работ и повышения качества фитомелиорации современных очагов дефляции

Результаты фитоэкологических и технологических исследований позволяют сформулировать основные подходы к выполнению фитомелиоративных работ в ДК быстро развивающихся очагов и массивов опустынивания на пастбищах аридной зоны, обеспечивающие их наибольшую эффективность.

Важнейшая задача этих работ – рациональное использование буферных запасов почвенной влаги как основного ресурса, определяющего продолжительность формирования устойчивого растительного покрова, его репродуктивный потенциал и скорость подавления процессов дефляции, а также продуцирование ценного пастбищного корма в течение нескольких последующих лет.

Применяемый комплекс операций должен обеспечивать постепенное снижение интенсивности дефляции – скорости и массы переносимого песка в широтном направлении, создание благоприятных условий для формирования культурных фитоценозов противодефляционного и регенеративно-кормового назначения, "подстегивать" природные процессы восстановления растительного покрова.

Технологический процесс должен предусматривать поэтапное выполнение работ, включающих создание простейших геотехнических и биологических модулей. Назначение первых – повысить шероховатость поверхности, затормозить дефляционные процессы на период адаптации саженцев и всходов, ускорить формирование ветроломного экрана из растительных группировок. Вторых – создать условия для аккумуляции и постепенно остановить перенос песка на преобладающей части ДК, расчленить ее на дефляционно-индифферентные фрагменты и обеспечить их обсеменение.

Работы должны выполняться лишь на части площади ДК при минимальном расходе энергии, материалов и носить характер содействия процессу самоликвидации очагов дефляции.

Противоэрозионные и репродуктивно-кормовые фитоценозы должны создаваться на относительно крупных по площади обнажениях эродируемой почвы из многолетних растений мезоксерофитов, способных к быстрому росту и размножению при за-

сыпании песком, а также в условиях ограниченного запаса слабоминерализованного почвенно-грунтового раствора.

Использование буферной влаги растительностью должно одновременно обеспечивать подавление дефляции, продуцирование семян и пастбищного корма хорошего качества.

Реализовать эти задачи можно используя следующие принципы организации мероприятий.

Фитомелиоративные работы в крупных ДК начинают с деструктивной эколого-морфологической области, покрывая насаждениями равномерно всю ее площадь в течение 1-2-х лет. Посадку сеянцев терескена и прутняка производят поздней осенью, в зимние оттепели и ранней весной комбинированными (образующими борозды) или обычными (СЛЧ-1, СЛН-1 и др.) лесопосадочными машинами. Перед началом вегетации культуры защищают от засекания ветропесчаным потоком бороздами-валами, напаханными плантажным плугом в междурядьях. Посевом полукустарники и кормовые травы вводят только ранней весной – вслед за напашкой защитных борозд-валов. Почву под посевы обрабатывают полосами с помощью игольчатых или дисковых борон.

Барханную область очагов начинают осваивать через 1-3 года после завершения работ в ДО. Работы выполняют в два этапа. На первом этапе посевом семян по лентам свежих борозд создают систему защитных киячных кулис. На втором – в конце первой, начале или конце второй вегетации кияка – репродуктивно-кормовые фитоценозы закладывают посадкой сеянцев терескена, прутняка и посевом семян ценных кормовых трав. Кулисы кияка шириной 9-15 м размещают через 50-100 м поперек фронта наступления барханов, а ряды полукустарников, куртины ценных кормовых трав – между сформировавшимися кулисами кияка, занимая фитоценозами 20-50% площади. Для посева кияка и кормовых культур между его кулисами применяют авиацию.

Таким образом, используя метод локальной фитомелиорации и новые технологии для блокирования дефляционного опустынивания пастбищ аридной зоны достаточно создать кустарниково-травяные фитоценозы на 30-50% площади ДК. При этом затраты средств и времени, необходимые для осуществления мелиоративных мероприятий, могут быть сокращены в 2-3 раза и более.

9.1.13. Некоторые итоги выполнения фитомелиоративных работ в современных очагах дефляции

Исследования ряда последних лет свидетельствуют о том, что терескен серый, хорошо зарекомендовавший себя при фитомелиоративном освоении современных очагов дефляции, возникших на легких почвах Прикаспия, постепенно уходит из растительного покрова восстановленных пастбищ. Он, как и джузгун безлистный на относительно мощных песках, образуя плотные ассоциации в ДО и на обнажениях эродируемой почвы между аккумуляциями песка в ДАО, по мере исчерпания буферных запасов почвенной влаги, теряет габитус и уступает место переходным злаково-разнотравным сукцессиям. Вначале отмирают материнские кусты и густой самосев в пределах площади посадки или посева культур, а затем производные от них "кочующие" ассоциации самосева, периодически возникающие на оголенных и относительно свободных от растительности участках ДК и песчаных валов на ее периферии. На целину и слабо дефлированные участки степи они не выходят, а по разбитым дорогам могут перемещаться на большие расстояния, достигать и осваивать действующие очаги дефляции.

Продолжительность участия терескеновых ассоциаций в восстановленном растительном покрове определяется в основном их первоначальной плотностью и пастбищной нагрузкой и корректируется цикличностью атмосферного увлажнения территории (продолжительностью и чередованием влажных и засушливых периодов). При умеренной пастбищной нагрузке самосевные терескенники с различными по годам частотой встречаемости, площадью и производительностью формируются в "потухших" очагах дефляции свыше 30 лет, но уже, как правило, за пределами материнских насаждений (рис. 105). На площади создания культур полукустарника в ДО под защитой борозд-валов с подсевом в них семян кияка образуются и долгое время сохраняются аккумулятивные валы песка высотой до 1 м и шириной основания до 3 м (рис. 106). Экологическое и хозяйственное значение этих валов остается неизученным, но можно предполагать, что задерживая снег и семена, они способствуют восстановлению коренных белополынников.

При отсутствии выпаса (на заповедной территории) материнские и производные терескенники в ДО существуют преимущественно не более 20 лет и замещаются плотным ковыльно-мят-

Рис. 105. Самосевный терескенник в ДО очага дефляции, пройденного фитомелиорацией в 1985 г. Ур. "Молодежный", июнь 2016 г.

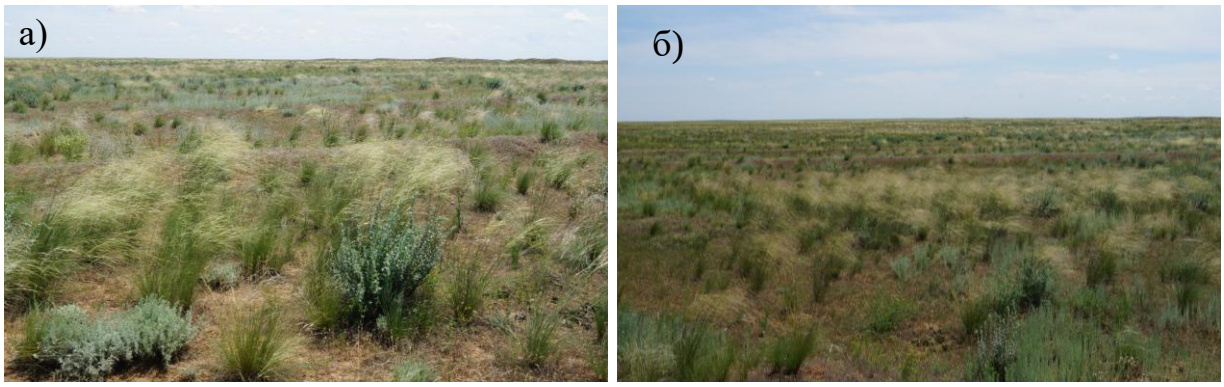


Рис. 106. Растительный покров (а) и песчаные валы (б) в ДО, сформировавшиеся на месте терескенового насаждения весенней посадки 1985 г. Ур. "Молодежный", июнь 2016 г.

ликовым покровом с участием малоценного разнотравья (рис. 107а). В ДАО между валами песка, накопленного противоэрозионными кулисами кияка (см. рис. 94, 95, 98), где формируется относительно благоприятный водный режим почвогрунта, терескеновые ассоциации существуют и возобновляются дольше, но к 30-35 годам также вытесняются производительным, но малоценным злаково-разнотравным покровом (см. рис. 107б).

Следует отметить, что фитомелиорация крупных современных очагов дефляции кустарником, кияком без ввода ценных кормовых растений (многолетних злаков, прутняка, полыни) на многие десятилетия отсрочивает восстановление климаксовых пастбищных экосистем, а на заповедной территории делает его вообще проблематичным. Но и подсев ценных многолетников при закладке регенеративно-кормовых фитоценозов не гарантирует их достаточного распространения без охраны от преждевременного стравливания и нормирования выпаса после ввода восстановленных угодий в эксплуатацию.

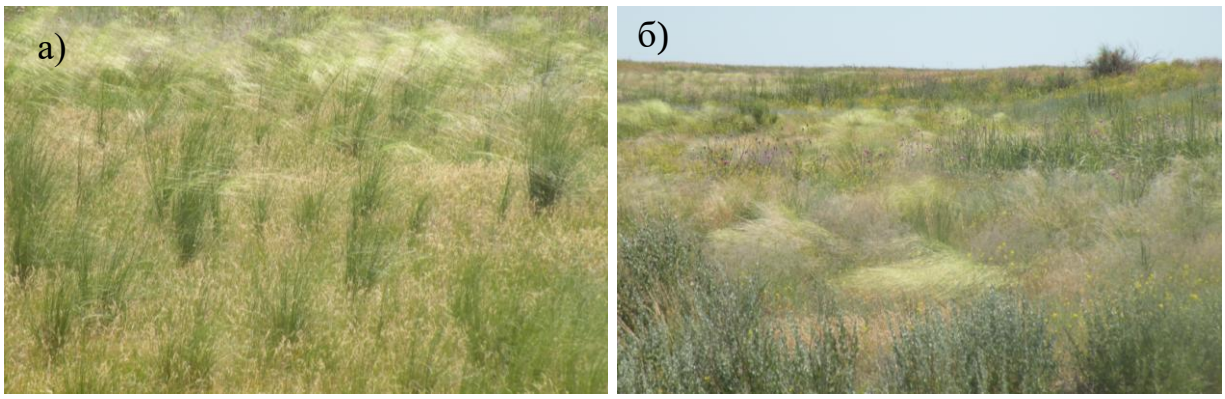


Рис. 107. Тырсово-мятликовый и злаково-сорноразнотравный покров, сформировавшися в ДО (а) и ДАО (б – между песчаными валами) крупных очагов дефляции, мелиорированных в 1984-1987 гг. посадкой терескена. Черноземельский биосферный заповедник (ур. "Городовики" и "Приканальное"). Июнь, 2017 г.

9.2. Фитомелиорация деградированных пастбищ

В южном поясе Северо-Западного Прикаспия одним из наиболее распространенных типов угодий являются пастбища на бугристых песках. Они отличаются относительно низкой продуктивностью и несущей способностью почвенно-растительного покрова и при ненормированном выпасе пребывают в слабозаросшем состоянии, покрыты язвами и мелкими очагами дефляции, предрасположенными к спонтанному развитию, слиянию и образованию обширных площадей барханных песков. С целью предотвращения дефляции, улучшения условий для восстановления пастбищной растительности, повышения устойчивости и продуктивности деградированных угодий на них создают системы мелиоративно-кормовых насаждений из кустарниковых пород. Однако технологическое обеспечение этого мероприятия нуждается в совершенствовании.

Исследования проводились в 1980-1983 гг. на участке с преимущественно мелкобугристым рельефом, неполноразвитой рыхлопесчаной почвой и типичным для сбитого пастбища растительным покровом (рис. 108). Он расположен в юго-восточной части Черноземельского р-на Калмыкии (в 20 км к северо-востоку от метеопоста п. Нарын-Хундук) с годовой нормой осадков 221 мм, испаряемости около 1000 мм. Средняя годовая температура воздуха около 9,9°С, января -5,1°С, июля 25,5°С. Среднегодовая скорость ветра 4,7 м/с (см. прилож. 47 и 48).

Содержание ФГ в верхнем 0-20 см слое почвы не превышает 4,7%, ниже оно увеличивается до 8-9%, НВ = 9-10%, ВЗ = 1,9-2,5%.

Рис. 108. Состояние растительного покрова мелкобугристых песков на участке опытных культур. Июнь, 1984 г.

Содержание гумуса в слое 0-100 см значительно варьирует по глубине и элементам рельефа. Наиболее богаты гумусом, азотом и фосфором аккумулятивные горизонты почвы в межбугровых понижениях. Содержание водно-растворимых солей не превышает 0,1%. Эоловые отложения мощностью 2-3 (до 6) м подстилаются карбонатным суглинком. Глубина залегания сильно минерализованной (34,1 г/л) ГВ 5-9 м (см. прилож. 33 и 49-51).

Растительность изрежена. Вершины бугров нередко оголены, иногда поражены язвами дефляции. На более низких элементах рельефа плотность растительного покрова увеличивается и достигает максимума в межбугровых понижениях. В покрове господствуют эфемероиды и эфемеры: мятлик луковичный, костер кровельный, реже костер растопыренный, липучка ежевидная. Широкое распространение имеют эбелек и бурачек пустынный. Многолетники – прутняк, житняк сибирский, полынь белая – встречаются отдельными экземплярами или небольшими куртинами.

В целом, период исследований был относительно теплым и маловетреным. Исключение составил февраль 1982 г., когда среднемесячная температура воздуха оказалась на 4,2 ºС ниже, а скорость ветра на 1,4 м/с выше многолетней нормы. Кроме того, отмечалось устойчивое снижение суммы осадков холодного периода с 62,5 мм (69%) в 1980/81 ГГ до 54,1 мм (60%) в 1981/82 ГГ и до 48,2 мм (54% от нормы) в 1982/83 ГГ. Благоприятным для развития растений был вегетационный период 1981 г. Сумма осадков за май – август на 80 мм, а годовая на 18 мм превысили норму. В 1982 и 1983 гг. осадков выпало на 20 и 67 мм меньше годовой нормы.

На мелкобугристых влагоемких песках полупустыни урожай фитомассы естественных трав формируется почти исключитель-

но за счет атмосферной влаги. Возможность мелиорации их растительного покрова многолетниками ограничена использованием ксерофитных, малотребовательных к плодородию видов растений путем посадки сеянцев. Наиболее важным агротехническим приемом является основная обработка почвы. Она должна обеспечивать устранение конкуренции трав, накопление влаги в зоне размещения корневых систем саженцев и не снижать устойчивость почвы к дефляции.

С учетом этих особенностей были испытаны безотвальное глубокое (на 40-45 см) рыхление почвы ППН-40 узкими (1,6-1,8 м) лентами с последующей посадкой растений машиной СЛН-1 по их оси и нарезка борозд с одновременной посадкой растений комбинированной машиной МПП-1 в зимний (декабрь) и весенний (март) периоды. Использовали саксаул черный, джузгун безлистный и терескен серый. Джузгун и терескен высаживали зимой и весной, саксаул только весной однолетними сеянцами по схеме 5,0 х 1,0 м.

9.2.1. Погодные условия и развитие растительного покрова

Развитие травостоя в междурядьях (на целине) и сорняков на обработанных участках в разные годы зависело от весенней влагозарядки почвы, влагообеспеченности вегетационного периода и режима выпадения весенне-летних осадков, сезона и способа обработки почвы (рис. 109, см. прилож. 47 и 52, 53). Так, на целине в мае 1981 г. урожай трав составил 23,7 ц/га, в 1982 г. – 4,3, в 1983 г. – 5,7 ц/га. На обработанной под культуры почве он был в 6-7 раз меньше. Эффективность дождей для развития эфемеров быстро снижалась от апреля к июню. Долго вегетирующие сорняки реагировали на периодическое увлажнение почвы активным ростом до середины – конца июля.

Обсеменение обработанной почвы происходит и в холодное время года. Так, в насаждениях зимней посадки дружные всходы сорняков появились уже в конце марта – начале апреля. К середине апреля они достигали высоты 2-3 см и вызывали необходимость проведения первой прополки.

Основную массу всходов (60-70%) составляли эфемеры и эфемероиды, 30-40% приходилось на долю эбелека. Первые вегетировали до конца мая – начала июня и отмирали. Дальнейшее нарастание массы трав шло за счет развития эбелека и зависело от

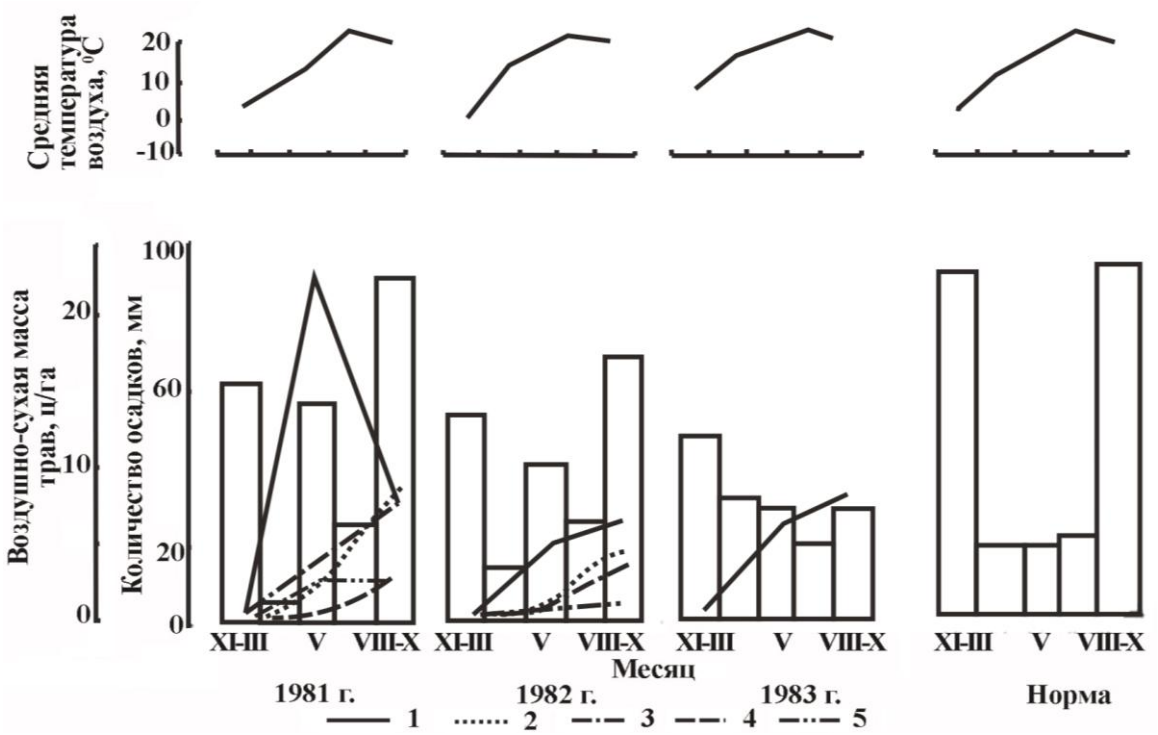


Рис. 109. Особенности погодных условий и развитие трав в однолетних насаждениях на бугристых песках: 1 – в междурядьях (целина); 2 и 4 – в борозде МПП-1 зимней и весенней посадок; 3 и 5 – на лентах зяблевой вспашки почвы и весновспашки

суммы летних осадков. Появление его всходов, по-видимому, растянуто во времени, вследствие чего при выпадении дождей к середине-концу июня задернелость почвы заметно увеличивалась и возникала необходимость повторения прополки. В июле – августе эбелек заканчивал вегетацию и прекращал иссушать почву.

Во влажный 1981 г. весенняя обработка почвы задержала появление всходов на срок от 2-3 недель (весновспашка) до 1,5 месяцев (борозды МПП-1) и развитие сорняков, а в засушливые 1982 и 1983 гг. обеспечила чистоту почвы практически на протяжении всей первой вегетации насаждений.

Дерноснимы МПП-1 очищают почву от семян трав, вместе с дерниной перемещают их на значительное расстояние от оси борозд (рядов посадки), образуют отвалы, которые служат барьером на пути семятоков в послепосадочный период. В результате лишь небольшая их часть попадает в борозды зимней посадки. Слабое зарастание борозд заметно облегчает их последующую культивацию.

Ленты зяби и весновспашки сорняки осваивают по всей ширине, а период их активного развития приходится на более ранний период (апрель – июнь), чем в бороздах МПП-1. Поэтому

здесь уже в апреле – мае возникает необходимость проведения прополки как в рядах, так и закрайках рядов культур.

В целом обработанная почва интенсивнее заселяется травами в межбугровых понижениях с хорошо развитой растительностью, слабее – на оголенных участках.

При отсутствии агротехнических уходов во вторую и третью вегетации культур почва постепенно задерневает. Масса сорняков в бороздах весенней посадки культур МПП-1 (по учетам в мае) увеличивалась с 0,3 ц/га в 1981 г. до 5,1 в 1982 г. и до 6,5 ц/га в 1983 г. На лентах весновспашки соответственно с 3,1 до 7,3 и 8,3 ц/га. Однократное дискование почвы КЛБ-1,7 методом седлания ряда в апреле 1983 г. заметно снизило засоренность культур на всех вариантах опыта (табл. 90). Однако с повышением исходной густоты травостоя эффективность ухода снижалась. Выше она была при обработке борозд, ниже – лент распашки. Наиболее выгодными по числу и эффективности уходов за почвой оказались культуры весенней посадки МПП-1. В течение первых двух лет их жизни при засушливой погоде возникала необходимость только в однократной обработке борозд КЛБ-1,7 в начале второй вегетации (насаждения 1982 г.). При повышенной сумме весенне-летних осадков в первую вегетацию культур потребуется одна обработка борозд в июне, во вторую и третью – по две, в апреле и июне.

Таблица 90

Воздушно-сухая масса (ц/га) и высота травостоя (см) в опытных культурах на бугристых песках

Место определения	Время подготовки почвы и посадки культур	Сентябрь 1982 г.	Май 1983 г.		Сентябрь 1983 г.	
		масса	высота	масса	высота	масса
Борозда МПП-1	03.1981 г.	7,4 7,4	9-17 5-27	1,5 6,4	15-20 15-18	1,6 8,3
Вспаханная лента	03.1981 г.	8,5 8,5	5-6 5-19	2,1 8,3	5-15 15-18	4,4 10,5
Борозда МПП-1	12.1981 г.	3,9 3,9	5-30 5-20	1,2 9,3	15-20 5-12	1,3 11,3
Вспаханная лента	12.1981 г.	3,7 3,7	8-17 5-20	2,5 8,5	5-15 5-10	4,3 10,6
Борозда МПП-1	03.1982 г.	0 0	5-7 4-12	0,5 8,1	15-25 5-12	0,9 10,3
Вспаханная лента	03.1982 г.	5,5 5,5	5-15 5-25	2,5 11,8	6-10 5-10	2,9 14,0

Примечание. Числитель – на вариантах опыта с уходом за почвой, знаменатель – без ухода.

9.2.2. Мелиоративные свойства посадочных борозд

В северной полупустыне в формировании запасов продуктивной почвенной влаги основную роль играют осадки холодного периода, которые составляют примерно 40% годовой суммы. Около 130-170 мм выпадают в апреле – октябре и в основном теряются на физическое испарение. Вследствие этого небольшая ширина (до 2 м) лент обработки почвы (безопасная в отношении усиления дефляции) и при отсутствии сорняков не всегда обеспечивает достаточное накопление влаги для нормального питания многолетних культур. Поэтому большое значение имеют агротехнические приемы, усиливающие горизонтальное перераспределение, концентрацию и глубокое погружение влаги жидких осадков в зоне размещения их корневой системы.

Эффективность летних дождей оценивается по-разному. В. Г. Ротмистров [324] считает эффективными осадки величиной более 5 мм, так как они, по его наблюдениям, в значительной мере используются растениями. По мнению А. М. Алпатьева [5], эффективной является та часть осадков, которая проникает ниже верхнего горизонта КС и не выходит за его пределы. Другие исследователи [3, 309] считают эффективной ту влагу, которая просачивается за пределы слоя пульсации максимальных суточных температур и не расходуется на физическое испарение. В песчаных грунтах этот слой, как правило, не превышает 50 см [306, 309].

По данным Л. С. Доценко [130], И. Б. Ревута и др. [51], скорость физического испарения зависит, прежде всего, от влажности верхнего (0-3 см) слоя почвы. При его влажности, равной или превышающей НВ, испарение близко к испарению с водной поверхности. При появлении сухого слоя скорость испарения резко снижается.

По материалам Л. С. Доценко [130], обработанным Н. Ф. Куликом [180], под слоем сухого песка толщиной 5 см при влажности горизонта, равной НВ, скорость испарения снижается более чем в 100 раз по сравнению с открытым горизонтом и составляет 0,006 мм/час. Из более глубоких слоев почвогрунта влага испаряется еще медленнее [365].

Глубина просачивания влаги зависит в основном от величины выпавшего осадка, фильтрационных показателей (водопроницаемости) грунта и термодинамического режима приземного слоя

воздуха. Фильтрационные показатели определяются исходной влажностью, связностью и разрыхленностью почвогрунта. В связи с этим для оголенных перевеянных участков, зон вспашки и уходов и т. д. эффективными следует считать осадки теплого периода величиной более 5 мм, поскольку часть их всегда будет проникать за пределы слоя 0-5 см и потребляться растениями, корневая система которых функционирует на небольшой глубине. При наличии уклона в сторону оси рядов посадки эффективность зависит не только от величины, но и интенсивности дождя, влияющей на величину поверхностного стока.

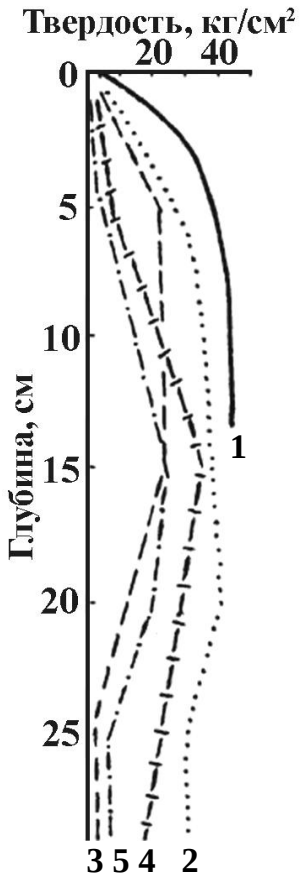
Сток на песках при снеготаянии и летних ливнях в начальный период их смачивания объясняется наличием защемленного воздуха, гидрофобностью частиц песка и другими причинами [91, 131, 180]. Особенно интенсивно он происходит на бесструктурных пылеватых разностях почв. По данным УкрНИИГИМ [126], при орошении на легких почвах с волнистым рельефом уже при небольших уклонах поверхности (0,00-0,12) предельная интенсивность дождя не должна превышать 0,83-0,17 мм/мин.

По-видимому, определенное значение в перераспределении влаги по всхолмленной поверхности имеет и невертикальное выпадение осадков при сильных порывистых ветрах. В этом случае имеет место их экранирование лобовыми склонами. Величина задержанной влаги будет обратно пропорциональна косинусу угла наклона к горизонту лобовой поверхности и прямо пропорциональна косинусу угла падения осадков.

Одним из приемов, активизирующих перераспределение влаги и повышающих эффективность дождей, является нарезка борозд МПП-1.

Известно, что рыхлая почва лучше аккумулирует влагу осадков. Измерения, выполненные в августе 1981 г. в рядах культур, показали, что твердость верхнего слоя песчаной почвы зависит не столько от ее влажности, сколько от способа и срока рыхления (рис. 110). Сорняки ускоряют процесс иссушения и уплотнения обработанной почвы. В течение первой вегетации наиболее рыхлой остается почва в бороздах МПП-1 весеннего срока посадки.

Со временем выпуклые элементы рельефа борозд разрушаются, а на дне накапливается песок (3-6 $м^3$ на 100 м длины борозд). Денудация и аккумуляция активнее протекают в зимний и ранневесенний периоды. По мере развития травостоя в междурядьях они



Глубина, см	Влажность, %				
	1	2	3	4	5
0-5	1,7	0,8	1,4	1,1	1,2
20	2,0	1,7	2,7	2,3	3,3
40	2,5	2,5	2,7	3,7	3,9

Рис. 110. Твердость песчаного почвогрунта на участках с различной обработкой почвы: 1) целина; 2) плантажная вспашка в декабре 1980 г.; 3) борозда МПП-1 посадки в декабре 1980 г. 4) плантажная вспашка в марте 1981 г.; 5) борозда МПП-1 посадки в марте 1981 г. Август 1981 г.

замедляются. В результате в большинстве случаев поперечник борозд зимней нарезки уже в марте выглядит как плавно изогнутая линия, ниспадающая от отвалов к оси под углом 20-30º (рис. 111). Борозды весенней нарезки выполаживаются к середине лета. В обоих случаях обеспечивается перераспределение летних осадков.

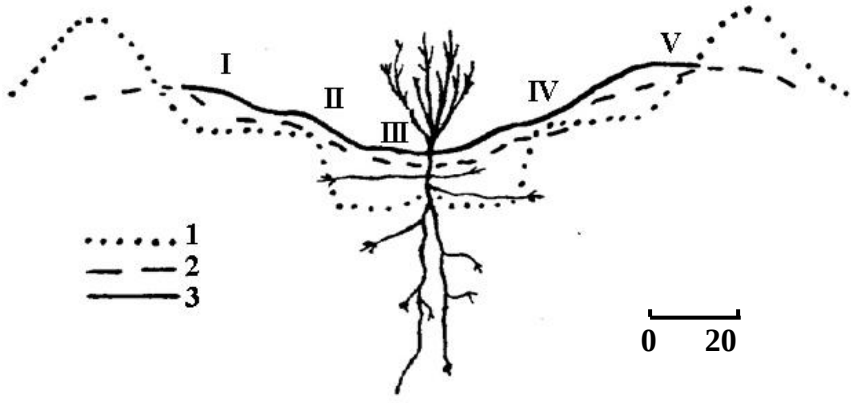


Рис. 111. Поперечный профиль борозды МПП-1 на бугристых заросших песках (1 – после посадки 24.12.1980 г; 2 – 27.03.1981 г.; 3 – 21.08. 1981 г.; I, II... – элементы рельефа борозды)

Данные, полученные при искусственном дождевании (табл. 91), показывают, что при сухом состоянии верхнего слоя почвы относительный сток воды (доля перераспределенной влаги) с откосов борозды, нарезанной в декабре 1980 г., к ее оси находится в прямой зависимости от интенсивности дождя и в обратной от его

Таблица 91

Характер перераспределения влаги бороздой МПП-1 на заросших бугристых песках при искусственном дожде. Июнь 1981 г.

Условия опыта		Поступление влаги в почву (мм/%) по элементам рельефа борозды (см. рис. 104)					Прибавка влаги по оси борозды, мм/% от нормы
расход влаги, мм	интенсивность дождя, мм/мин	I	II	III	IV	V	
7,5	1,0	1,5 20,0	5,5 73,3	19,3 257,3	7,2 96,0	4,1 54,7	11,8 157,3
15,0	1,0	9,8 65,3	13,0 86,7	24,8 165,3	15,7 104,7	11,8 78,7	9,8 65,3
25,0	1,0	18,2 72,8	24,4 97,6	38,2 152,8	24,1 96,4	20,2 80,8	13,2 52,8
15,0	0,5	13,1 87,3	13,2 88,0	20,8 138,7	14,0 93,3	14,4 96,0	5,8 38,7
15,0	1,5	8,0 53,3	14,3 25,3	28,7 191,3	15,8 105,3	8,3 55,3	13,7 91,3

продолжительности. По многолетним данным метеопоста п. Нарын-Худук в апреле – октябре бывает в среднем 4,3 ливня величиной 6-10 мм, 2,34 – 11-20 мм, 0,56 – 21-30 мм. Следовательно, при ливнях средней интенсивности в 1,0 мм/мин прибавка влаги к оси борозд составит соответственно 50,74; 22,93 и 7,39 мм, а в сумме около 81 мм, что превышает три среднемесячные нормы за этот период.

Натурные наблюдения показали, что во время дождей с ветром, дующим под углом к рядам культур, часть влаги задерживается встречными отвалами борозд и ее сток происходит преимущественно с лобовых склонов. Могут возникать и другие причины, по которым будет уменьшаться объем перераспределенных осадков. Тем не менее, прибавку влаги за счет ее стока с откосов борозд для питания саженцев в первые годы их жизни следует считать существенной.

9.2.3. Режим влажности корнеобитаемого слоя саженцев

Влажность почвы в рядах культур подвержена влиянию целого ряда факторов. Основные из них: обеспеченность, характер и распределение осадков по сезонам года, срок и способ обработки почвы, возраст насаждений, нагрузка биомассы на единицу площади обработанной почвы.

В 1981-1983 гг. на целине (междурядье) весенняя влагозарядка слоя 0-150 см была примерно одинаковой – 62-65 мм продуктивной влаги (рис. 112в, прилож. 54). Но ее распределение по профилю имело различия, обусловленные величиной и характером выпадения зимних осадков. Так, в теплые зимы 1980/81 и 1982/83 ГГ жидкие и смешанные осадки глубже проникали и лучше увлажняли почвогрунт. Зимой 1981/82 ГГ преобладали твердые осадки. Снег сдувался с лент вспашки в междурядья и увлажнял почву лишь в периоды коротких оттепелей и весной. По этой причине зяблевая обработка почвы в этом году не имела преимущества перед весновспашкой.

Режим влажности КС в бороздах МПП-1 имеет свои особенности. При нарезке борозд мощность промоченного осадками слоя уменьшается на 5-15 см, а величина потерянной влаги зависит от влажности и толщины снятого слоя. В наших опытах она колебалась от 5-8 до 15-25 мм (от 10 до 50% исходных запасов). Частично потери компенсируются опосредованно – через увеличение площади питания саженцев вследствие расширения на 50-80 см зоны минерализации почвы за счет отвалов. Но главным источником восполнения и поддержания ее запасов является влага перераспределенных осадков послепосадочного периода. За счет аккумуляции снега (бороздами зимней посадки) и стока жидких осадков с откосов борозд влажность почвы по их оси восстанавливается, достигает или превышает ее величину на зяби и весновспашке (рис. 112а, б). Быстрее это происходило во влажный год, медленнее – в засушливые годы. В засухи потери могут не компенсироваться. Поэтому при работе машины, с одной стороны, очень важно строго регулировать глубину хода дерноснимов (в зависимости от степени развития растительности и увлажнения почвы), с другой – содержать борозды в чистом от сорняков состоянии.

На динамике влажности почвогрунта в насаждениях по бороздам сказывается и повышенная нагрузка растений. Вследствие более качественной и равномерной посадки МПП-1 число саженцев на единице длины ряда по бороздам в среднем на 30% больше, чем на взрыхленных лентах.

Учитывая все составляющие баланса почвенной влаги, следует признать, что уже в первую вегетацию после посадки наиболее благоприятные условия водного питания саженцев на бугристых песках складываются в бороздах МПП-1 и, особенно, при создании насаждений в весенний период (табл. 92).

Наибольшее преимущество во влажности почвы в бороздах перед взрыхленными лентами отмечалось в 1981 г. с максимумом в мае – июне, когда саженцы интенсивно росли. К августу эти различия сглаживались и в октябре влажность КС на всех вариантах опыта становилась примерно одинаковой.

В ноябре – марте в бороздах МПП-1 влага активно накапливалась и к началу следующей вегетации саженцев ее запасы в почве в 1,5-2,5 раза превышали запасы на вариантах с узколенточным рыхлением почвы. Но с увеличением засоренности борозд увлажняющая эффективность осадков холодного периода снижалась (рис. 112в, г).

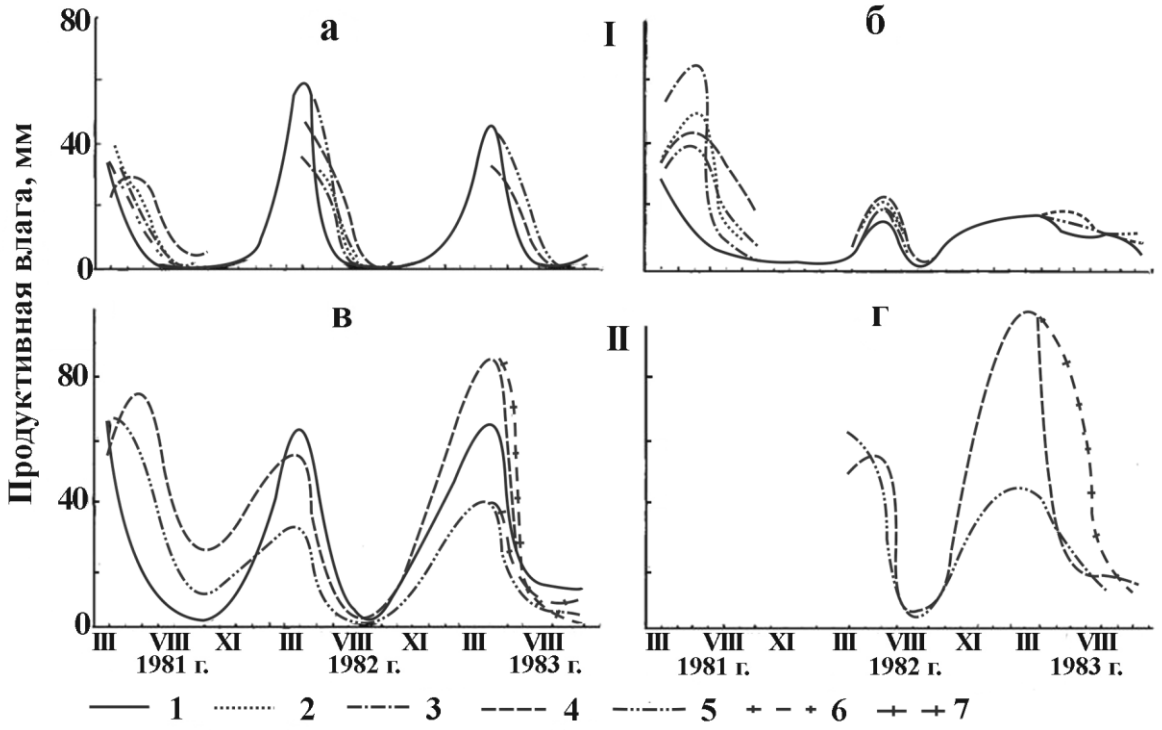


Рис. 112. Динамика запасов почвенной влаги в культурах на бугристых песках (I – в однолетних насаждениях в слое почвы 0-50 см (а) и 50-150 см (б); II – в культурах весенней посадки 1981 г. (в) и 1982 г. (г) в слое почвы 0-150 см; 1 – междурядье; 2 – борозда МПП-1, зимняя посадка; 3 – ленты зяби; 4 и 6-борозды МПП-1 весенней посадки; 5 и 7 – ленты весновспашки (4 и 5 – уходы за почвой не проводились, 6 и 7 – проведена одна обработка КЛБ-1,7 в апреле 1983 г.)

В апреле – октябре динамика влажности почвы в 2-3-летних насаждениях складывалась по типу однолетних, но сильно зависела от засоренности. В рядах с большой массой сорняков иссушение почвы наступало на 1-2 месяца раньше. Культивация почвы в апреле 1983 г. улучшила водное питание кустарников в зависимости от срока и способа их посадки на 10-60 мм (прилож. 55). В бороздах

Таблица 92

Динамика запасов продуктивной почвенной влаги (мм) в мелиоративных насаждениях весенней посадки 1981 г. на бугристых песках (без проведения уходов за почвой)

Глубина, см	1981 г.					1982 г.								1983 г.					
	борозда МПП-1			взрыхленная лента		борозда МПП-1				взрыхленная лента				борозда МПП-1			взрыхленная лента		
	VI	VIII	X	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI
0-5	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	1,0	0	0	0	5,6	0	0	2,4	1,9	0
5-30	16,1	4,5	3,4	0,8	0,4	18,8	1,5	0	0	14,3	0	0	0	22,5	2,3	0	0,0	21,8	0,8
30-50	12,3	4,5	2,0	3,9	0,6	14,3	0,8	0	0	11,2	0	0	0	19,9	2,0	0	0,0	12,0	0
0-50	28,4	9,0	5,4	4,7	1,0	35,3	2,3	0	0	26,5	0	0	0	48,0	4,3	0	2,4	35,7	0,8
50-70	14,3	4,2	1,4	3,9	1,7	1,4	1,4	0	0,3	1,1	0,8	0	0,6	16,8	2,2	0,3	0,3	1,7	1,4
70-90	17,4	5,1	2,1	4,5	2,1	2,4	2,4	0,6	0,9	1,2	1,2	0	1,8	14,4	1,8	1,5	0,6	1,2	2,1
90-100	10,5	7,2	2,1	3,6	0,9	3,6	1,8	0	0,6	0	0,0	0	1,2	0,3	0,6	1,8	0,0	0,3	0,3
110-130	2,4	7,8	5,7	5,7	1,5	6,3	2,7	0	1,2	0,9	0,9	0	1,2	2,7	0,9	0,6	0,3	0,6	1,8
130-150	1,5	8,7	7,2	2,1	1,5	5,4	3,6	0	3,6	2,1	0,9	0	0,6	3,0	1,5	2,1	0,3	0,9	3,0
0-150	74,5	42,0	23,9	24,5	8,7	54,4	14,2	0,6	6,6	31,8	3,8	0	5,4	35,2	11,3	6,3	3,9	40,4	9,4

МПП-1 весенней посадки 1982 г. в слое почвы 0-150 см влаги содержалось в июне на 60 и 55 мм, а в августе на 6,5 и 9,0 мм больше, чем на варианте без ухода и на лентах вспашки. В целом, наиболее жесткий режим влажности сложился в вегетационный период 1982 г. На всех вариантах опыта к августу почва была иссушена до ВЗ. Повышенная сумма июльских осадков (48,6 мм) не сказалась на ее увлажнении. По-видимому, осадки второй половины лета, когда им предшествует длительный бездождный период, не успевают глубоко просачиваться в иссушенную почву и быстро испаряются. В 1983 г. повышенные суммы осадков в апреле, мае и около нормы в июне оказались эффективными. Содержание продуктивной влаги в слое 0-150 см не опускалось ниже 11-14 мм. Относительно высокая влажность почвы на протяжении всей вегетации 1981 г. поддерживалась регулярно выпадавшими с мая по октябрь обильными осадками.

9.2.4. Приживаемость и развитие культур

Приживаемость культур в мае – июне первой вегетации была относительно высокой и определялась качеством посадки и посадочного материала. Но уже к осени дифференцировалась в зависимости от влагообеспеченности и биологических особенностей породы (табл. 93). Хуже других пород приживались сеянцы саксаула, а прижившиеся экземпляры не получали заметного развития и к середине второй вегетации отмирали. Высокая приживаемость джузгуна отмечалась на вариантах опыта с положительным балансом продуктивной почвенной влаги на протяжении всего вегетационного периода (например, при весенней посадке кустарника в 1981 и 1983 гг.).

В последующие годы (второй и третий) наблюдался интенсивный отпад его саженцев на пониженных элементах рельефа, где проявлялась высокая конкуренция за влагу со стороны сорняков и расположенных в междурядьях трав. Здоровые насаждения псаммофита формировались куртинами и только на оголенных слабоперевеянных вершинах бугров.

Выгодно отличался лишь терескен. Его однолетние сеянцы удовлетворительно приживались во все годы, независимо от срока посадки. На второй и третий год отпада растений практически не было (табл. 94). Но, как и у джузгуна, приживаемость полукустар-

Таблица 93

Приживаемость (%) опытных культур в год посадки на бугристых песках полупустыни Прикаспия

Способ посадки	Срок посадки	Июнь			Сентябрь		
		джузгун	терескен	саксаул	джузгун	терескен	саксаул
МПП-1	12.1980 г.	76,9	92,3	-	24,0	76,6	-
Узколен-точный		71,6	92,9	-	21,0	71,0	-
Посадка МПП-1	03.1981 г.	82,6	91,1	76,7	82,6	91,1	48,1
Узколен-точный		87,8	90,1	73,6	82,0	87,9	32,5
МПП-1	12.1981г.	89,5	81,2	-	35,0	79,3	-
Узколен-точный		73,0	44,0	-	13,8	32,1	-
МПП-1	03.1982 г.	91,5	63,5	78,0	45,0	63,5	39,0
Узколен-точный		88,5	80,3	44,6	32,3	75,7	21,4
МПП-1	03.1983 г.	99,3	91,8	45,0	82,3	88,5	ед.
Узколен-точный		97,7	91,8	57,1	75,1	81,3	ед.

Примечание. Здесь и в табл. 94 – "-" посадки не было, ед. – единично.

Таблица 94

Сохранность (% от числа посадочных мест) опытных культур на заросших бугристых песках полупустыни

Способ посадки	Срок посадки	Октябрь 1982 г.			Октябрь 1983 г.		
		джузгун	терескен	саксаул	джузгун	терескен	саксаул
МПП-1	12.1980 г.	0	66,0	-	0	60,0	-
Узколен-точный		0	56,8	-	0	47,8	-
МПП-1	03.1981 г.	78,2	91,0	6,2	41,0	90,4	0
Узколен-точный		68,5	87,0	3,2	31,0	85,2	0
МПП-1	12.1981г.	89,5	81,1	-	0	79,1	-
Узколен-точный		73,0	44,0	-	0	31,4	-
МПП-1	03.1982 г.	91,5	63,5	78,0	0	63,5	0
Узколен-точный		88,5	80,3	44,6	0	70,6	0

ника была на 5-15% выше, а развитие протекало заметно интенсивнее во влажные годы при весенней посадке сеянцев МПП-1.

Развитие насаждений в первую вегетацию заметно различалось по годам и вариантам опыта (табл. 95).

Таблица 95

Биометрические показатели однолетних насаждений на бугристых заросших песках, сентябрь 1983 г.

Способ посадки	Срок посадки	Джузгун			Терескен		
		высота, см	диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г	высота, см	диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г
МПП-1	12.1980 г.	26,7±1,2	12,3±0,9	6,9	21,9±0,8	14,1±0,6	7,3
Узколенточный		26,9±1,3	12,0±0,9	6,9	28,5±0,8	7,9±0,6	5,5
τ		0,11	0,26		0,52	7,0	-
МПП-1	03.1981 г.	59,3±2,2	49,5±2,2	65,7	39,4±1,0	33,8±1,2	33,7
Узколенточный		47,3±2,0	45,8±2,1	54,8	34,8±1,2	33,3±1,3	31,6
τ		4,1	1,2		3,1	0,3	-
МПП-1	12.1982 г.	11,2±0,8	2,7±0,2	-	36,4±1,1	28,2±1,1	21,6
Узколенточный		10,0±0,6	2,5±0,5	-	31,1±1,1	18,8±0,7	17,9
τ		1,2	0,5		3,4	5,8	-
МПП-1	03.1982 г.	11,5±0,7	2,9±0,2	-	46,4±1,2	34,6±1,1	56,6
Узколенточный		9,7±0,6	3,9±0,3	-	43,4±1,2	27,5±1,1	28,4
τ		1,9	2,7		1,7	4,7	-
МПП-1	0,3.1983 г.	34,6±0,9	20,8±0,9	35,1	37,6±0,8	24,5±0,6	23,4
Узколенточный		32,8±1,2	17,1±0,8	21,3	37,7±1,0	24,1±0,6	16,0
τ		1,2	3,0		0,1	0,5	-
$НСР_{05}$		3,2	2,5		2,9	2,5	-

Примечание. "-" масса не определена.

Саксаул черный при обоих способах посадки ни в один год не дал прироста. Его ассимиляционный аппарат начинал деградировать уже в мае – июне. В августе живые растения приходили в сильно угнетенное состояние и впоследствии отмирали, подтверждая мнение о непригодности этой породы для культивирования на однофазных песчаных отложениях.

Джузгун хорошо рос в насаждении весенней посадки 1981 г., особенно в бороздах на участках дефлированной почвы, но резко реагировал на ее засоренность и в засушливые годы рано прекращал рост.

Так, в зимних посадках 1980 г. в конце первой вегетации высота кустов была в 1,5-2 раза, а диаметр кроны в 3,5-4 раза меньше, чем в чистых от сорняков весенних культурах 1981 г. В 1982 г. при всех способах посадки джузгун не дал прироста. Верхняя часть стволиков усохла, а на нижней ассимиляционные побеги уже в августе были очень редкими и короткими (1-5 см). В 1983 г. развитие джузгуна протекало удовлетворительно до конца июля. За это время сформировались невысокие густые кустики. Но в августе также произошло массовое опадение зеленых побегов и усыхание части одревеснев шего прироста. Лучшие биометрические показатели были у растений в бороздах МПП-1. Во всех случаях хорошее развитие однолетних саженцев джузгуна отмечалось на оголенных слабоперевеянных участках.

В целом лучшими мелиоративными свойствами обладают насаждения терескена. При посадке сеянцев в борозды МПП-1 на второй и третий год формировались плотные, высотой 50-70 см ряды (табл. 96, рис. 113,). При размещении растений 1,0 х 5,0 м и

Таблица 96

Динамика биометрических показателей насаждений джузгуна и терескена весенней посадки 1981 года на заросших бугристых песках (по данным измерений в сентябре 1981-1983 гг.).

Порода	Показатель	Способ посадки культур						$НСР_{05}$
		МПП-1			узколенточный			
Джузгун	Высота, см	59,3±2,2	71,5±2,4	68,3±3,1	47,3±2,0	66,4±2,5	53,4±2,4	6,7
	Диаметр кроны, см	49,5±2,2	51,8±2,1	59,1±3,2	45,8±2,1	43,9±1,2	43,7±2,0	6,3
	Воздушно-сухая масса надземной части, г	65,7	210,1	240,2	54,8	150,4	172,6	-
Терескен	Высота, см	39,4±1,0	50,2±1,0	60,9±1,3	34,8±1,2	31,7±1,1	48,4±1,5	3,3
	Диаметр кроны, см	33,8±1,2	40,3±1,1	50,7±1,0	33,3±1,3	33,9±1,2	43,7±1,4	3,3
	Воздушно-сухая масса надземной части, г	33,7	81,7	152,0	31,6	40,0	64,4	-

приживаемости 71-91% воздушно-сухая масса кустов в засушливые годы составила 2-3 ц/га. На их рост положительное влияние оказала даже однократная культивация почвы (табл. 97). Во влажные годы и в старшем возрасте следует ожидать значительного повышения продуктивности насаждений терескена.

Рис. 113. Двухлетний терескен весенней посадки МПП-1 на мелкобугристых песках, сентябрь 1983 г.

Таблица 97

Биометрические показатели терескена серого на бугристых песках. Черные земли, сентябрь 1983 г.

Вариант	Срок посадки	Посадка МПП-1			Узколенточный способ		
		высота, см	диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г	высота, см	диаметр кроны, см	воздушно-сухая масса надземной части, г
В двухлетнем возрасте							
С уходом	12.1981 г.	58,2±1,2	54,5±1,4	139,2	42,9±1,7	35,0±1,7	61,5
Без ухода		34,0±0,9	30,7±1,0	40,6	-	-	-
τ		16,1	13,8				
С уходом	03.1982 г.	56,8±1,0	56,8±1,1	141,6	44,3±1,1	35,4±1,2	82,9
Без ухода		39,3±0,9	33,2±1,1	42,7	-	-	-
τ		13,0	15,1				
В трехлетнем возрасте							
С уходом	03.1981 г.	60,9±1,7	50,7±1,0	152,9	48,4±1,5	43,7±1,4	64,4
Без ухода		39,6±0,9	33,2±1,1	42,7	-	-	-
τ		11,1	11,7				

Примечание. $НСР_{05}$ для высоты – 3,3; для диаметра кроны – 3,3; "-"данные не определены; "С уходом" – однократное дискование закраек рядов КЛБ-1,7 в апреле 1983 г.

При посещении опытного участка летом 1987 г. было обнаружено, что за прошедшие четыре года отпада растений терескена не произошло. Его кусты в бороздах МПП-1 сохранили свое преимущество в росте. Лучшее состояние и наиболее крупные размеры (высота 1,1-1,3, диаметр кроны 1,5-2,0 м) они имели в замкнутых межбугровых понижениях, где, очевидно, их корневая система прошла импермацидный горизонт и стала потреблять влагу из горизонта надкапиллярного увлажнения ГВ. В хорошем состоянии терескен пребывал на вершинах бугров, удовлетворительном – на пологоволнистых участках с наиболее плотным напочвенным покровом. Большинство кустов обильно плодоносило, но при хорошем развитии трав в междурядьях посадок самосев практически отсутствовал. Надземная масса материнских кустов в 5-7-летнем возрасте была в 2-3 раза больше, чем в 2-3-летнем в 1983 г. (рис. 114).

Рис. 114. Мелиоративно-кормовое насаждения из терескена, созданное на мелкобугристых песках с деградированным растительным покровом в 1981-1983 гг. Сентябрь 1987 г.

В 2-3-летних джузгунниках на вершинах бугров накапливается до 5 ц/га сухой массы, но по мере восстановления растительного покрова они быстро теряют продуктивность. Так, уже в 1987 г. кустарник выглядел угнетенным.

Таким образом, с конца третьей – начала четвертой вегетации мелиоративно-кормовые насаждения можно подвергать стравливанию, не создавая чрезмерной нагрузки скота на пастбище.

Раскопки корневых систем показали, что у посаженных МПП-1 молодых растений корни сосредоточиваются по оси борозд, в зоне концентрации перераспределенных осадков. При этом их масса в 1,5-2 раза больше, чем у растений на лентах распашки. В последнем случае они размещаются более равномерно (по ши-

рине лент), но также явно тяготеют к их центральной (осевой) части и не проникают глубже 150 см (рис. 115). К концу второй вегетации масса корней значительно увеличивается, однако преимущество в их развитии у растений, посаженных машиной МПП-1, сохраняется (прилож. 56, 57, 58, 59).

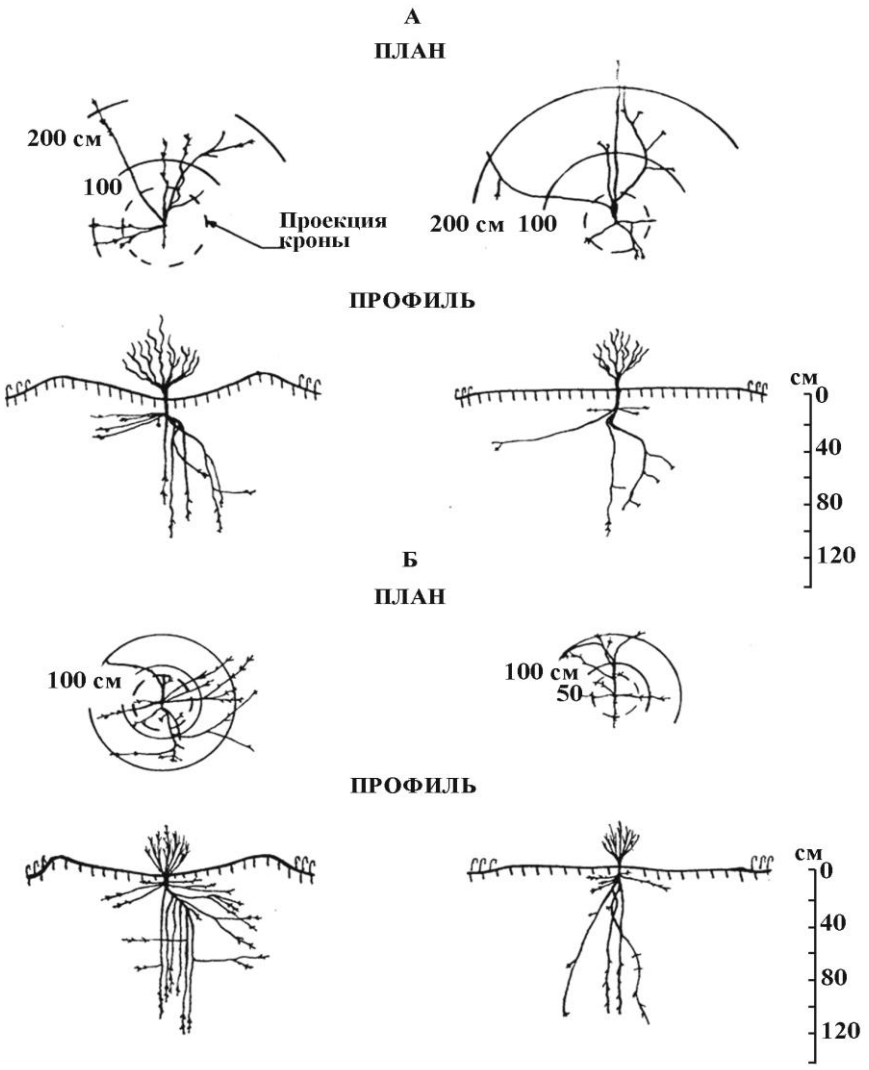


Рис. 115. Корневая система однолетних растений джузгуна (А) и терескена (Б) на бугристых песках полупустыни: при посадке МПП-1 (слева) и СЛН-1 по взрыхленным лентам (справа). Черные земли, октябрь 1981 г.

Характерной особенностью корневой системы терескена является густая сеть горизонтальных мочковатых корней в слое почвы 3-20 см, что, по-видимому, позволяет ему эффективнее использовать влагу летних осадков небольшой величины. У джузгуна горизонтальные корни развиты слабее и формируются на глубине 15-20 см. При пересыхании верхнего слоя окончания этих корней длиной 10-50 см отмирают.

В двухлетнем возрасте корневые системы джузгуна и терескена, так же как и в однолетнем, не выходят за пределы минерализованной зоны и не распространяются глубже 2 м. Все это свидетельствует о крайне тяжелых условиях существования насаждений, необходимости периодически возобновлять уходы за почвой до появления признаков глубокого укоренения и дополнительного водного питания растений. Но во избежание усиления дефляции почвы проводить агротехнические уходы следует только во влажные годы (при хорошем развитии трав) и только на ширину предпосадочной обработки почвы в весенний период, когда прополка наиболее эффективна в отношении сбережения почвенной влаги.

Таким образом, из-за скудности атмосферного увлажнения и высокой МГВ бугристые заросшие пески полупустынной зоны Северо-Западного Прикаспия имеют неблагоприятные лесорастительные свойства. Лесомелиорация деградированных пастбищ на таких песках может базироваться только на использовании низкорослых малотребовательных к плодородию засухоустойчивых видов поедаемых скотом кустарников и полукустарников.

На площадях с растительным покровом из эфемеров и эфемероидов лучшим способом создания мелиоративных насаждений является весенняя посадка однолетних сеянцев машиной типа МПП-1 с 1-2-кратным дискованием откосов борозд на второй и третий год методом седлания рядов.

Редкие (через 5 м и более) борозды МПП-1, не увеличивая дефляционной опасности территории, хорошо очищают почву от сорняков, способствуют дополнительному увлажнению ризосферы культур перераспределенными атмосферными осадками как холодного, так и теплого периода в количестве 20-50 мм и более.

Во влажные годы глубокое промачивание песка в бороздах осадками холодного периода содействует деградации импермацидного горизонта, укоренению и дополнительному питанию кустарников конденсационной влагой из зоны надкапиллярного увлажнения ГВ.

Влагонакопительная эффективность осенне-зимнего ленточного рыхления почвы выше весеннего только в годы с теплой зимой, когда преобладают смешанные и жидкие осадки. В холодные зимы снег сдувается с пашни на участки с отмершей растительностью.

При создании мелиоративно-кормовых насаждений на участках песчаных деградированных пастбищах региона лучшей поро-

дой является терескен серый. Машинная посадка однолетних сеянцев полукустарника обеспечивает высокую (70-80%) приживаемость и глубокое укоренение саженцев. Уже в первый год из них формируются кусты высотой и диаметром 40-60 см. При создании мелиоративно-кормовых насаждений весенней рядовой посадкой МПП-1 по схеме 1,0 х 5,0 м на 2-3-й год образуются плотные ветроломные рубежи высотой и шириной около 70 см и запасом фитомассы в сухом виде около 3 ц/га. Во влажные годы в 5-7-летних посадках размеры кустов увеличиваются в 2-3, а их масса в 3-4 раза. Терескен хорошо переносит стравливание и может успешно использоваться также при создании прифермских, прикошарных и линейных насаждений по границам полей пастбищеоборота.

Джузгун безлистный следует использовать для мелиорации только ветроударных оголенных участков, где в 2-3-летнем возрасте он достигает высоты 1,0-1,5 м и накапливает до 5 ц/га сухой фитомассы.

Из-за повышенной требовательности к плодородию почвы саксаул черный не пригоден для улучшения пастбищ на бугристых песках.

Как средство мелиорации песчаных пастбищ северных пустынь Прикаспия большой интерес представляет испытание посадки в борозды сеянцев прутняка распростертого. При свободном стоянии растений он образует кусты высотой около 1,0 м, имеет большую вегетативную, семенную продуктивность и питательность поедаемой фитомассы.

10. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСНОЙ МЕЛИОРАЦИИ АРЕН

Динамика освоения южных арен Русской равнины в целом повторяет циклы хозяйственного освоения засушливых территорий России, но имеет более сложный – волнообразный характер. В XVIII-XIX столетиях заселение южных регионов России, бурное развитие полеводства и животноводства, а в XX столетии организация стационарных животноводческих хозяйств и распашка целинных земель привели к возникновению крупных вспышек дефляционного опустынивания песчаных земель. В 70-90-х гг. XIX и в 70-80 гг. XX в. в начале в степных, а затем в полупустынных и пустынных районах в той или иной степени им была охвачена территория площадью около 14 млн га. Вспышки сопровождались трансформацией почвенно-растительного покрова, снижением ценности полевых и кормовых угодий, сокращением поголовья скота и подавлением хозяйственной активности населения. Появилась необходимость выполнения большого объема организационных и мелиоративных работ. Экономические реформы последних десятилетий в России привели к резкому снижению агропастбищной привлекательности, росту рекреационной и природоохранной ценности арен, но не исключили предпосылки формирования новых очагов дефляционной напряженности, особенно в районах традиционного пастбищного животноводства [292].

Природные – снижение плодородия и устойчивости, усложнение рельефа и свойств поверхностных отложений арен и пограничных территорий, а также социально-экономические последствия крупномасштабной дефляции привели к необходимости смены экстенсивной стратегии освоения и использования земель на адаптивную. Применительно к песчаным массивам и приаренному поясу легких почв это означает обязательное осуществление комплекса предупредительных мер, направленных на повышение устойчивости, экологической емкости, микроклиматической комфортности, эстетической и природоохранной ценности угодий. В настоящее время наиболее доступным и эффективным приемом в ком-

плексе этих мер является, и в обозримой перспективе будет оставаться лесомелиоративное обустройство песчаных земель, а лесная мелиорация – средством повышения капитализации и эколого-экономической эффективности землепользования на песках.

Эффективность лесной мелиорации представляет собой сложную, меняющуюся в пространстве и времени сумму эффектов, которая складывается из рыночной стоимости лесонасаждений (древесных и недревесных ресурсов) и дополнительной продукции, получаемой вследствие их мелиоративного воздействия на почву, пастбищные, полевые фитоценозы, сады, плантации, популяции охотничьих, поголовье домашних животных, и нерыночных эффектов. К ним относят снижение затрат на поддержание почвенного плодородия, предотвращение ущерба от негативных последствий переноса песка, улучшение качества гидроресурсов и атмосферного воздуха, повышение устойчивости и биоразнообразия ландшафтов, общее улучшение окружающей природной среды и сокращение затрат на поддержание здоровья и трудовой активности людей и другие полезности.

Рыночные эффекты, вызванные лесной мелиорацией земель, реализуются и в той или иной степени учитываются в доходе отраслей хозяйственной деятельности на песках. Оценка предотвращенных убытков, других полезностей лесонасаждений (повышение безопасности землепользования, прирост природно-ресурсного потенциала, оздоровление окружающей среды и др.) пока не получила необходимого развития и практического применения. Однако имеются основания считать, что стоимость нерыночных эффектов существенно превышает стоимость товарной продукции [230].

По современным представлениям [150] лесными насаждениями хозяйственного значения на юге Русской равнины (без Украины и юго-западного Предуралья) может быть занято около 500 тыс. га, из них 80-90% – культурами сосны. Облесение сосной является долгодействующей мелиорацией нарушенных земель, лесохозяйственной инфраструктуры территорий. Даже на низководных песках сухой степи ее насаждения доживают до 50-80 лет, при доступной ГВ – 100-120 лет и более. Выполняя защитную, средообразующую функции и являясь излюбленным местом отдыха людей, за оборот рубки они могут давать 200-350 $м^3$/га стволовой древесины (70-80% деловой), 1,0-1,5 тыс. новогодних елок или до 10 т сырой хвои на переработку, десятки центнеров грибов. Самоокупаемость лесо-

выращивания обеспечивается уже при запасе стволовой древесины 100 $м^3$/га [358]. Расширение площади сосняков в послевоенные годы позволило заметно укрепить лесное хозяйство, защитную и рекреационную базы степных областей. Рентабельность лесохозяйственного производства (лесовыращивание, переработка древесины) составляла 20-40% и выше [48, 203].

В полупустыне сосновые колки повышают противодефляционную устойчивость ландшафта бугристых песков и в 1,5-3 раза его экологическую и эстетическую емкость, а также охотохозяйственное значение. На аренах с обильными ГВ возможно доходное лесное хозяйство [219]. Резервом повышения его рентабельности является создание на периферии грядово-бугристых песков высокопроизводительных плантаций хвойных (сосна обыкновенная и крымская) и лиственных пород (ольха, тополь, робиния).

Ландшафтное облесение сосной 20-40% площади создает основу для трансформации наиболее геоморфологически сложных, малоосвоенных участков или целиком песчаных массивов в лесоохотничьи и рекреационные угодья, биологические и гидрологические резерваты (только на юге европейской территории России их более 1 млн га) [208]. Появляется возможность организовывать безопасное природопользование и получать прибыль как от реализации древесных ресурсов, продуктов их переработки, так и от организации охоты, отдыха, туризма, сервиса, подсобного производства и промыслов (молока, овощей, фруктов, меда, высококачественной воды) [117]. При этом доход от сервиса составит не менее 70% его совокупной величины. Возникнет экономический стимул увеличивать площадь и продуктивность угодий за счет вовлечения в хозяйственный оборот сильно эродированных и бросовых земель, повышая их лесистость, разнообразие, качество лесов и служебных лесонасаждений. Так, развитие охотничьего хозяйства для обслуживания туризма и спортивной охоты привели к тому, что в 60-70-е гг. XX столетия в США и 13 странах Европы (без СССР) доходы от продажи лицензий и охотничьей продукции составили около 0,3, в Чехословакии 0,8 доллара США/1 га площади этих стран. Наибольший доход получен от добычи фазана, зайца, другой мелкой дичи [285, 383]. В штате Техас (США) за отстрел специально разведенных животных взимают лицензионную плату в размере (в долларах США): лани – 5000, белохвостого оленя – 650, индейки – 150, голубя – 25 [115].

По данным многочисленных исследований ВНИАЛМИ, сельскохозяйственное использование земель Юго-Востока без адекватного противоэрозионного обустройства угодий сопровождается ускоренным выносом гумуса и основных элементов питания, нуждается в ежегодных затратах на восстановление плодородия почвы. Так, в Соль-Илецком р-не Оренбургской обл., где около 60% земель подвержено дефляции, они составляют 31 тыс. руб./100 га. А годовые потери от недобора растениеводческой продукции на этой площади оценивается в 1,04-1,43 тыс. руб. в ценах 1985 г. (519-712 тыс. руб. в современных ценах на декабрь 2017 г. – А. М.) [261]. В хозяйствах Волгоградской обл. с преобладанием почв легкого гранулометрического состава ущерб от недобора урожая полевых культур и естественных трав достигает 44-78 руб./га, или 1,5-5,5% от стоимости всей растительной продукции [7]. Таким образом, ежегодные убытки агропромышленного комплекса, связанные с необходимостью несения затрат на восстановление производительности песчаных земель и недобором растениеводческой продукции можно оценить в среднем в 300-350 тыс. руб./1000 га угодий (в ценах 1985 г.). Это в сотни раз превышает затраты на создание систем ветроломных лесных полос, обеспечивающих полную защиту угодий от ветровой эрозии. Расчетный коэффициент эффективности этих мероприятий на пахотных землях Нижнего Поволжья при учете только материальных выгод составляет от 0,4 (полупустыня) до 4,6-4,9 (лесостепь), а с учетом природоохранного и социального эффектов он увеличивается соответственно в 16 и 5-6 раз [170].

Эффективность лесной мелиорации функционирующих пастбищ складывается из стоимости дополнительной продукции животноводства и суммы предотвращенного ущерба от ветровой эрозии. Дополнительная продукция животноводства образуется за счет повышения урожайности и снижения климатической дискомфортности кормовых угодий. При создании комплекса защитных лесонасаждений на пастбищах пустынных и полупустынных районов урожай подножного корма увеличивается в 1,5-2 раза, живой вес взрослого поголовья овец – на 7-15%, ягнят – 12-14, настриг шерсти – 10-11, сохранность ягнят и овцематок – на 2-6% [358].

Доход от создания лесопастбищ на подвижных песках образуется из стоимости кормов на восстановленных и сохраненных от разрушения функционирующих пастбищах, расположенных на

прилегающей к очагам дефляции территории, а также экономии затрат на повторное восстановление производных угодий вследствие повышения их устойчивости [356]. При использовании новых технологий (см. разд. 9.1) мелиорации ДО современных очагов дефляции годовой хозяйственный эффект составляет свыше 72 тыс. руб./га, деструктивно-аккумулятивной – 57 тыс. руб./га (в ценах конца 2017 г.).

Годовой экономический эффект от эксплуатации улучшенных мелиоративно-кормовыми насаждениями деградированных пастбищ на бугристых песках полупустыни (см. разд. 9.2) превышает 2,4-3,0 тыс. руб./га (в ценах текущего периода) [202, 213, 231, 232].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примерно пятую часть суши на юге Русской равнины занимают песчаные земли. Их богатый природно-ресурсный потенциал используется не более чем на 30-60% и часто сопровождается деградацией природной среды. Уничтожение растительности распашкой и перевыпасом, в процессе выполнения геотехнических работ включает процессы эоловой трансформации почвенного покрова, приводит к его обеднению и росту затрат на восстановление угодий, снижает хозяйственную ценность освоенных земель.

С развитием рыночных отношений в сельском хозяйстве стран Содружества в лесостепной и степной зонах происходит высвобождение низкопродуктивных угодий, исключение их из экономического баланса территорий. В связи с этим восстанавливается растительный покров, повышается природоохранная и рекреационная значимость арен, расширяется возможность их многоцелевого облесения и нетрадиционного коммерческого освоения. В полупустынных и пустынных районах, напротив, растет поголовье скота, спонтанно увеличивается нагрузка на природные кормовые угодья и экологическая напряженность ландшафтов. Организация широкомасштабной комплексной фитомелиорации земель снова становится неотложной государственной задачей.

Актуальной научной проблемой обеспечения безопасности, экологичности и рентабельности землепользования в регионе является разработка средств и способов повышения эффективности лесной мелиорации песков.

Материалы, приведенные в настоящей монографии, расширяют и углубляют представления о лесорастительном потенциале легких отложений засушливой зоны с разной мощностью зоны аэрации, принципы и технологии их адаптивного лесомелиоративного обустройства и хозяйственного освоения.

На основе методов математического и физического моделирования водного режима и влагообеспеченности монокультур сосны, системного анализа данных разработано теоретическое обоснование количественной оценки лесопригодности земель. Она рас-

сматривается как способность почвогрунта потенциальной ризосферы в конкретных условиях увлажнения и испарения удовлетворять потребность древостоя в водно-минеральном питании в период его быстрого роста при сомкнутом состоянии лесного полога. За интегральный показатель лесопригодности принимается годичный запас почвенного раствора в корнеобитаемом слое, его качество и динамичность на протяжении жизни поколения древостоя. Для сосны обыкновенной на песках засушливой зоны как породы – олиготрофа высокое качество почвенного раствора обеспечивает содержание физической глины в количестве 3-5% и более.

Применительно к автоморфным почвогрунтам проведены расчеты и получены зависимости этого показателя от годовой нормы осадков и средневзвешенного содержания физической глины в 2-метровом слое. Мозаика его параметров свидетельствует о том, что лесопригодность земель является градиентным многовекторным полем с нарастающей индифферентностью эдафического вектора лесообразования в направлении повышения засушливости климата. Она динамирует с возрастом насаждений, зависит от биологии лесообразующих пород. Т.е. является интегральной биогеографической характеристикой местообитаний, и не имеет строгих широтных границ. Главная причина безлесья степных равнин – чрезмерная изменчивость атмосферного увлажнения и, как следствие, годичного запаса почвенной влаги в корнеобитаемом слое древостоя, критическое снижение влагообеспеченности и гибель лесных экосистем в засушливые годы. Получено подтверждение положения о том, что с ростом дефицита атмосферных осадков преимущество в лесопригодности смещается в сторону более низковлагоемких покровных отложений.

Проведено районирование засушливого пояса Русской равнины по условиям выращивания культур сосны. На основе показателей динамичности влагообеспеченности и вероятности гибели молодняков в засуху выделены зонально-эдафические районы устойчивого, неустойчивого и рискованного лесоразведения. Лесообразование в сосняках на рыхлых песках устойчиво протекает севернее изолинии годовой нормы осадков 420-450 мм, на связных песках – 450-470, супесях – 470-520, легких суглинках – 520-570 мм. Между изолиниями осадков 400-300 мм/год расположен район рискованного лесоразведения, где влагообеспеченность молодняка в засуху может быть в 1,5-2 раза ниже допустимого

уровня. В районах с осадками менее 350 мм/год рыхлые мономинеральные пески непригодны для массивного облесения сосной.

Получено теоретическое обоснование эффективности рубок ухода в молодняках сосны как средства повышения их влагообеспеченности. Установлено, что потребность в рубках обусловлена в основном нестабильностью увлажнения корнеобитаемого слоя атмосферными осадками. Их повторяемость, интенсивность и затратность увеличиваются пропорционально росту засушливости территории и влагоемкости ризосферы древостоя.

Для развития научных основ и практики ведения лесного хозяйства имеют значение особенности внутризональной динамики водного режима корнеобитаемого слоя и засухоустойчивости сосны. На лизиметрических моделях насаждений установлено, что с ростом плодородия корнеобитаемого слоя ее устойчивость к дефициту почвенной влаги повышается, но увеличивается амплитуда влагообеспеченности полнотных древостоев и вероятность их гибели в засуху. Однако влияние почвенных условий на влагообеспеченность и засухоустойчивость древостоев после кульминации роста снижается, вследствие чего лесопригодность относительно богатых песков для насаждений постжерднякового возраста повышается. В периоды с продолжительным летне-осенним дефицитом осадков обеспеченность сосняков почвенной влагой можно уверенно диагностировать по влажности и транспирационной активности 1-2-летней хвои. Снижение абсолютной влажности хвои сосны до 120-110%, интенсивности транспирации 100-90 мг/г·час в насаждениях на бедных песках, 100% и 80 мг/г·час на глинистых отложениях можно считать началом кризиса их влагообеспеченности.

При оценке гидрологических последствий лесоразведения следует учитывать, что в условиях сухой степи облесение сосной изменяет водный режим лишенных растительности мощных рыхлопесчаных отложений с промывного на периодически непромывной. Их толща подвержена почти непрерывному гравитационному иссушению и в открытом, но неразвеваемом состоянии пропускает в грунтовую воду в среднем около 70% осадков. В первые десятилетия жизни сосняков гидрологическая активность рыхлых песков снижается более чем в 10 раз. При этом на влагонасыщение ризосферы осадками и вертикальный отток влаги охвоенность насаждений существенного влияния не оказывает. Водный режим заросших песков и более связных почвогрунтов при облесении не изме-

няется или изменяется в незначительной мере.

Установлены закономерности роста и долговечности культур сосны обыкновенной и крымской на аллювиальных и аллювиально-эоловых отложениях с разной мощностью зоны аэрации в пограничном поясе сухой степи и полупустыни. Получены зависимости влияния на них почвенно-грунтовых, биологических и лесокультурных факторов. Они свидетельствуют о том, что с повышением доступности пресной капиллярно-подпертой влаги (по мере уменьшения глубины ее залегания, утяжеления почвогрунта и с возрастом насаждений) рост древостоя улучшается, а по мере приближения к дневной поверхности каймы средне- и сильноминерализованной воды (уменьшения мощности зоны аэрации) он ухудшается. Влияние площади питания на развитие культур усиливается в противоположном направлении. На полиминеральных перевеянных древнедельтовых песках Предкавказья лучше растет и более долговечна сосна крымская.

Известно, что пресная грунтовая вода резко ослабляет угнетающее воздействие дефицита атмосферных осадков и минеральной бедности отложений на рост древостоя. Близководные понижения пригодны для облесения даже в зоне полупустынь и пустынь. Однако доступность грунтовой влаги быстро снижается с глубиной и для сосны ограничивается 2,5-3,0-метровой толщей однофазного кварцевого песка. Поэтому лесопригодность понижений следует классифицировать по глубине залегания подпертой влаги, доступной на основных этапах формирования насаждений (приживания, индивидуального роста, смыкания крон, постжерднякового развития), существенно отличающихся уровнем их потребности в дополнительном водном питании. При учете зональных условий и этого показателя можно управлять лесообразованием в культурах путем дифференциации схем размещения посадочных мест.

Обоснована возможность значительного расширения площади и географии многоцелевого лесоразведения на песках аридной зоны. На крайнем юге Русской равнины крупным резервом земель (свыше 0,5 млн га), пригодных для дополнительного облесения, являются бугристые пески с амплитудой рельефа более 3 м. Массивы этих песков традиционно используют как малопродуктивные пастбища для ограниченного содержания крупного скота в холодный период года. Несмотря на наличие успешного опыта их куртинно-колковое облесение долгое время сдерживали мелколокаль-

ный характер, ручное выполнение и низкая результативность работ. Практическое подтверждение получили новая оценка лесопригодности понижений и высокая эффективность механизированной технологии создания культур в условиях полупустыни. При этом существенно расширяется закультивированная площадь, исключаются сложные приемы повышения приживаемости культур (полив, притенение, агротехнические уходы и т. п.) и резко увеличивается производительность лесопосадочных работ. Их применение только в Западном Казахстане позволяет дополнительно создать 80-100 тыс. га полнотных насаждений сосны.

Огромный урон искусственным лесам степной зоны в последние десятилетия наносят пожары, болезни и вредители. Они негативно деформируют возрастную структуру и сокращают продолжительность жизни насаждений. В связи с этим изучены лесопирологические и фитопатологические аспекты лесоразведения на песках, актуальные для обоснования зональных систем мероприятий профилактики лесных пожаров, корневых патологий, инвазий стволовых вредителей в культурах сосны. Предложена классификация насаждений по уровню пожароустойчивости. Экспериментально установлено, что низко опущенные живые кроны опушечных деревьев в здоровых насаждениях выполняют важную лесо- и зооэкологическую функцию, не способствуют развитию верховых пожаров и должны оставаться в сохранности при выполнении лесохозяйственных работ. Предложена методика количественной оценки уровня пожарной опасности для применения в хвойных лесах. Впервые доказана большая вредоносность корневой губки, изучены особенности очагового усыхания деревьев от повреждения короедами в культурах сосны на юге ее искусственного ареала.

Приводятся дополнительные материалы по влиянию лесоразведения на грунтовый и речной сток. Получено подтверждение отсутствия опасности для гидрологической функции арен ландшафтного облесении песков до уровня оптимальной лесистости лесных, лесоаграрных и других угодий.

На основе оценки фитоэкологических ресурсов обоснована перспектива нетрадиционного коммерческого освоения геоморфологически сложных арен и прилегающих к ним земель. Посадка в близководных понижениях куртин сосны и дикоплодных пород в 1,5-3 раза повышает их экологическую емкость, эстетиче-

скую привлекательность и противодефляционную устойчивость, создает основу продуктивных лесоохотничьих угодий с повышенным рекреационным потенциалом. Комплексное использование этих угодий позволит получать доход от лесохозяйственной деятельности, глубокой переработки древесины и древесного сырья, организации охоты, отдыха населения, туризма, развития службы сервиса и других подсобных производств и промыслов.

Деградация природной среды часто вызвана несоответствием хозяйственных форм ресурсному потенциалу земель. Разработана и апробирована методика ландшафтно-хозяйственной классификации арен, позволяющая оперативно определять наибольшую пригодность земельных объектов для того или иного освоения (лесохозяйственного, лесоохотничьего, лесоаграрного, лесопастбищного, рекреационного, пастбищного), планировать их наиболее безопасную и выгодную отраслевую перспективу. Возможность выбора хозяйственных форм уменьшается от степи к пустыне. По мере оскудения природно-ресурсного потенциала земель увеличивается преимущество традиционного освоения. Значительным он остается лишь для рекреационного использования, которое в пустынных районах в ближайшей перспективе будет проблематичным.

Основными критериями лесомелиоративного обустройства арен следует считать безопасность, хозяйственную и природоохранную эффективность функционирования угодий. В основе определения их оптимальной лесистости должен лежать отраслевой подход. Критериями оптимальности режима облесения песков являются сохранение или повышение биологического разнообразия, противодефляционной устойчивости и экологической емкости ландшафта, безопасная трансформация гидрологии арен и пожарной устойчивости территории, целевая эффективность защитных лесных насаждений.

Найдет дальнейшее применение новый технологический режим комплексной фитомелиорации современных очагов и массивов эоловой трансформации легких почв аридной зоны, сыгравший большую роль в подавлении лавинообразной дефляции и ликвидации антропогенной пустыни на пастбищах Северо-Западного Прикаспия в конце XX столетия. Он включает метод и последовательность локального выполнения работ, эффективные приемы создания устойчивого растительного покрова, позволяет многократно повышать их темпы и результативность. Объединяя

решение проблемы закрепления подвижного песка и коренной мелиорации растительного покрова пастбищ, этот технологический режим дает возможность наиболее рационально утилизировать многолетние запасы почвенной влаги.

Фитомелиорация дефляционных котловин осуществляется дифференцированно в соответствии с их эколого-морфологической неоднородностью, а также с учетом площади и рельефа современных очагов дефляции.

Простейшая форма мультимелиорации их деструктивной области включает нарезку плантажным плугом пескоулавливающих борозд-валов поперек преобладающих ветров, а между ними – посадку однолетних сеянцев и посев семян кормовых растений по лентам поверхностной обработки почвы легкими орудиями в ранневесенний период.

В деструктивно-аккумулятивной области с мелкобарханным рельефом и недоступной грунтовой водой первичную противоэрозионную основу создают из кулис кияка (он же колосняк, песчаный овес). Кулисы закладывают в октябре – декабре аэросевом или наземным посевом семян вразброс по лентам из 4-6 неглубоких свежих борозд, размещенных через 20-100 м между цепями барханов, вдоль их основного направления. После задержания песка кулисами (на второй-третий год) на освободившихся от него участках равномерно по площади создают локальные регенеративно-кормовые фитоценозы. Бóльшую часть площади оставляют под самозарастание.

Лесопастбища, созданные в очагах дефляции, имеют высокую для аридных территорий продуктивность, зоотехнически комфортны и пригодны для круглогодичного содержания животных.

Практическое значение имеет разработанный и апробированный режим аэросева семян кияка. Он может быть применен на относительно крупной площади и в труднодоступной местности. Важным условием его высокой результативности в очагах с активной дефляцией является предварительное повышение шероховатости поверхности подстилающей породы плужными бороздами.

Фитомелиорация сильно сбитых пастбищ на мелкобугристых влагоемких песках Прикаспия должна включать создание мелиоративно-кормовых насаждений терескена и джузгуна (на язвах дефляции). Лучшие результаты дает посадка однолетних сеянцев в ранневесенний период комбинированной машиной ти-

па МПП-1 в одновременно нарезаемые борозды.

Эффективность лесной мелиорации представляет собой сложную, меняющуюся в пространстве и времени сумму эффектов, которая складывается из рыночной стоимости лесонасаждений (древесных и недревесных ресурсов) и дополнительной продукции, получаемой вследствие их мелиоративного воздействия на почву, пастбищные и полевые фитоценозы, сады, плантации, популяции охотничьих, поголовье домашних животных, а также нерыночных эффектов. К ним относят снижение затрат на поддержание почвенного плодородия, предотвращение ущерба от негативных последствий переноса песка, улучшение качества гидроресурсов и атмосферного воздуха, повышение устойчивости и биоразнообразия ландшафтов, общее улучшение окружающей природной среды и сокращение затрат на поддержание здоровья и трудовой активности людей и другие полезности. Имеются основания считать, что стоимость нерыночных эффектов существенно превышает стоимость товарной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1235460 СССР, МКИ А01 В 79/00. Способ рекультивации эродированных территорий для выращивания растений / Н. С. Зюзь, В. И. Петров, А. С. Манаенков (СССР). – № 3799198/30-15; заявл. 02.10.84; опубл. 07.06.86. Бюл. № 21.

2. Абатуров Ю. Д., Богатырев Ю. Г., Орлов А. Я. О роли глубоких корней в жизни сосновых молодняков на рыхлопесчаных почвах // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 18-25.

3. Абрамова М. М. К вопросу об эффективности летних осадков в условиях засушливого климата // Почвоведение. – 1962. – № 9. – С. 44-53.

4. Аверьянов Ф. А. Как бороться с песками. – М.: Новая деревня, 1926. – 32 с.

5. Алпатьев А. М. Почвоувлажнительный и биологический эффект атмосферных осадков// Почвоведение. – 1959. – № 2. – С. 1-7.

6. Андрущенко А. П. Проникновение осадков под полог сосняков разного возраста // Тр. Харьковского с.-х. ин-та. – Харьков, 1977. – Т. 240. – С. 29-34.

7. Аникеев В. П. Эффективность лесных полос на эродированных землях в хозяйствах Серафимовичского района Волгоградской области // Комплексная экономическая оценка защитных лесных насаждений: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – Вып. 3(98). – С. 109-116.

8. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте. – М.: Мысль, 1975. – 287 с.

9. Арнагельдыев А., Костюковский В. И., Таджов А. Туризм и отдых в пустынях Туркменистана. – Ашхабад: Туркменистан, 1991. – 142 с.

10. Арцыбашев Е. С., Гусев В. Г., Манаенков А. С. Охрана от пожаров лесных культур степной зоны / Практические рекомендации. – СПб, 2003. – 55 с.

11. Атлас СССР. – М.: ГУГ и К, 1983. – 260 с.

12. Ахромейко А. И. Физиологическое обоснование разведения сосны в степях. Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 3. – М. – Л: Гослесбумиздат, 1950. – С. 255-270.

13. Ахромейко А. И. Особенности роста и развития древесных растений // Лесное хоз-во. – 1953. – № 2. – С. 11-14.

14. Бабенко Д. К., Коробов И. А. Опыт изреживания сосновых молодняков на бугристых песках // Доклады ВАСХНИЛ. – 1976. – № 4. – С. 23-25.

15. Баранов Е. Источник валютных поступлений // Охота и охотничье хоз-во. – 1991. – № 4. – С. 6.

16. Басов В. Г. Динамика потребления азота, фосфора и калия сосновыми насаждениями на Чирских песках // Пути хозяйственного использования песчаных земель засушливых областей: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1977. – Вып. 1(23). – С. 27-31.

17. Басов В. Г. Особенности биокруговорота органического вещества и основных элементов питания в сосновых молодняках // Закрепление, облесение и сельскохозяйственное освоение песков: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1979. – Вып. 2(30). – С. 21-25.

18. Белевцева О. В. Лесорастительные условия Нарынских песков: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Саратов, 1953. – 17 с.

19. Бельгард А. Л. Степное лесоразведение. – М.: Лесн. промсть, 1971. – 336 с.

20. Берг Л. С. Географические зоны Советского Союза. – М.: Географиздат, 1952. – 510 с.

21. Бибиков Д. И. Сурки. – М.: Агропромиздат, 1989. – 255 с.

22. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования.– Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 172 с.

23. Бова Н. В. Климат юга-востока европейской части СССР. – Саратов: Обл. книж. изд-во, 1961. – 215 с. Рукопись.

24. Бодров В. А. О способах культуры сосны на Нижнеднепровских песках // Лесное хозяйство. – 1953. – № 4. – С. 3-5.

25. Бондаренко Н. Я. Транспирация сосны обыкновенной в культурах на песчаных землях Приволжья // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1970. – Вып. 7(59). – С. 29-32.

26. Бондаренко Н. Я. Фитомасса сосны обыкновенной в культурах сухой степи. – Там же – С. 33-36.

27. Бондаренко Н. Я. Рубки ухода в культурах сосны в степи // Лесное хоз-во. – 1972. – № 8. – С. 30-31.

28. Бондаренко Н. Я. Повышение рубками ухода устойчивости сосны в культурах сухой степи // Закрепление, облесение и сельскохозяйственное освоение песков: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1979. – Вып. 2(30). – С. 30-32.

29. Бондаренко Н. Я., Ящерицина Л. А. Оводненность и водоудерживающая способность хвои – факторы устойчивости сосны обыкновенной // Пути хозяйственного использования песчаных земель засушливых областей: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1977. – Вып. 1(23). – С. 35-38.

30. Брысова Л. П. Лесорастительные свойства Урдинских песков: автореф. дис. … к. биол. н. – М., 1953. – 12 с.

31. Брысова Л. П. Режим влажности песчаных почв Прииртышья //

Тр. Лаборатории лесоведения АН СССР, 1962. – Т. 4. – С. 58-111.

32. Брысова Л. П., Гаель А. Г. Материалы к оценке влажности песчаных почв ленточных боров Прииртышья // Вестник МГУ. – 1962. – № 1. – Серия 6. – С. 65-74.

33. Будыко М. И. Эволюция биосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 249 с.

34. Бузулукский бор: обзор / О. В. Бочаров [и др.]. – М.: Гослесбумиздат, 1974. – 66 с.

35. Бузыкин А. И., Прокушин С. Г., Пшеничникова Л. С. Реакция сосняков на изменение условий азотного питания // Лесоведение. – 1996. – № 3. – С. 3-15.

36. Вакулин А. А. Пески Нижнего Поволжья, их генезис, свойства, лесорастительные условия и комплексное сельскохозяйственное освоение: автореф. дис. … д. с.-х. н. – Волгоград, 1967. – 56 с.

37. Вакулин А. А. Минералогический состав песков Калмыцкой АССР // Проблемы освоения пустынь. – 1971. – № 4. – С. 72-75.

38. Вакулин А. А., Зайченко К. И. Древнеморские пески правобережья Нижней Волги и возможности их использования в сельском хозяйстве // Проблемы освоения пустынь. – 1972. – № 5. – С. 51-53.

39. Варлагин А. В. Оценка транспирации и эвапотранспирации хвойных лесов таежной зоны // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы: материалы совещ., Москва, 18-20 сент. 2001 г. / Под ред. С. Э. Вомперского. – Тула: Гриф и Кº, 2001. – С. 332-335.

40. Веретенников А. В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. – М.: Наука, 1968. – 216 с.

41. Веселовский В. П. О произрастании сосны, разведенной на Придонских песках. – Новочеркасск: 1-я Совет. типограф., 1921. – 162 с.

42. Взнуздаев Н. А. Водный потенциал в системе почва – древесное растение в сухой степи // Почвоведение. – 1980. – № 8. – С. 92-98.

43. Виноградов В. Н. Посадки сосны и лиственных пород по глубокой обработке песчаных и супесчаных почв Нижнеднепровья // Лесное хоз-во, 1958. – № 10. – С. 38-39.

44. Виноградов В. М. Про водно-поживный режим сосны на пісках // Комплексне освоэння Ниженьодніпровських пісків. – Київ, 1961. – С. 58-70.

45. Виноградов В. Н. Пути повышения биологической устойчивости лесных культур в степи // Лесное хоз-во. – 1971. – № 7. – С. 40-45.

46. Виноградов В. Н. Освоение песков. – М.: Колос, 1980. – 272 с.

47. Виноградов В. Н., Дрюченко М. М. Основные типы лесокультурных площадей Нижнеднепровских песков // Тр. Нижнеднеп-

ровской НИС. – Киев, 1960. – Вып. VII.

48. Виноградов В. Н., Кулик Н.Ф. Пески аридной зоны – важный резерв сельскохозяйственного производства // Мелиорация и хозяйственное освоение песков засушливых областей: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1981. – Вып. 3(73). – С. 3-15.

49. Власова Т. К, Одессер С. В., Костинский Г. Д. Опыт освоения аридных районов промышленно-развитых капиталистических стран // Проблемы освоения пустынь. – 1988. – № 5. – С. 77-82.

50. Влияние почвенных условий и густоты древостоя на рост сосновых насаждений / И. Б. Шинкаренко [и др.] // Экология и защитное лесоразведение. – Харьков: Харьк. СХИ, 1988. – С. 69-82.

51. Водный режим в подвижных песках при их лесоводческом освоении / И. Б. Ревут [и др.] // Сб. тр. по агрономической физике. – М., 1960. – С. 32-43.

52. Вомперский С. Э. Элементы водного баланса и гидрологический режим осушенных лесов и болот / Под ред. С. Э. Вомперского // Современные вопросы лесоведения и лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1974. – С. 92-118.

53. Воробьев Д. В. Типы лесов европейской части СССР. – Киев: АН УССР, 1953. – 450 с.

54. Воробьев Д. В. Лесотипологическая классификация климатов // Тр. Харьковского СХИ. – Харьков, 1961. – Т. XXX. – С. 235-250.

55. Воробьев Д. В. Методика лесотипологических исследований. – Киев: Урожай, 1967. – 388 с.

56. Воронков Н. А. Водный режим и некоторые особенности биологии сосновых насаждений на песках Среднего Дона: автореф. дис. … к. биол. н. – М., 1963. – 23 с.

57. Воронков Н. А. Пульсация грунтовых вод и расход влаги из них в Арчедино-Донских песках // Вестник МГУ. – 1963. – № 2. – С. 43-53.

58. Воронков Н. А. Некоторые особенности водного режима сосны в засушливых условиях юго-востока европейской части СССР // Вестник МГУ. – 1965. – № 3. – С. 42-53.

59. Воронков Н. А. Пространственное варьирование влажности песчаных почв под насаждениями сосны // Почвоведение. – 1967. – № 10. – С. 62-69.

60. Воронков Н. А. Влагообеспеченность сосновых насаждений на степных песчаных почвах и методы ее определения // Почвоведение. – 1969. – № 4. – С. 46-59.

61. Воронков Н. А. Запасы хвои в культурах сосны в связи с их возрастом и водным режимом // Лесоведение. – 1970. – № 5. – С. 37-45.

62. Воронков Н. А. Влагооборот и влагообеспеченность сосновых насаждений. – М.: Лесн. пром-ть, 1973. – 184 с.

63. Воронков Н. А. Факторы влагообеспеченности растений на песчаных почвах аридных областей // Бюл. ВИР. – Л., 1981. – Вып. 108. – С. 72.

64. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 286 с.

65. Воронков Н. А., Данилов Н. И., Кожевников С. А. Суммарное испарение в условиях неограниченного увлажнения и его лесогидрологическое значение // Почвенные и гидрологические исследования в лесах: сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М.: ВНИИЛМ, 1979. – С. 82-92.

66. Воронков Н. А., Невзоров В. М. Транспирационный расход влаги и рост сосны при остром дефиците увлажнения // Лесоведение. – 1979. – № 3. – С. 31-40.

67. Воронов А. Г., Дроздов Н. Н., Мяло Е. Г. Биогеография мира. – М.: Высшая школа, 1985. – 272 с.

68. Высоцкий Г. Н. Вопросы освоения Нижнеднепровских арен // Бюл. ВАСХНИЛ. – М., 1936. – № 4. – С. 13-18.

69. Высоцкий Г. Н. Маленькое дополнение // Лесное хоз-во. – 1937. – № 7. – С. 79-80.

70. Высоцкий Г. Н. О водоохранном значении лесов // Лесное хоз-во. – 1938. – № 4. – С. 5-11.

71. Высоцкий Г. Н. Степи Европейской России / Избранные труды. – М.: Сельхозгиз, 1960. – С. 31-67.

72. Высоцкий Г. Н. Об условиях лесопроизрастания и лесоразведения в степях европейской России. – Там же. – С. 68-78.

73. Высоцкий Г. Н. Лесные культуры степных опытных лесничеств с 1893 по 1907 гг. – Там же. – С. 79-121.

74. Высоцкий Г. Н. О гидроклиматическом и метеорологическом влиянии лесов. – Там же. – С. 241-291.

75. Высоцкий Г. Н. Степное лесоразведение. – Там же. – С. 295-340.

76. Высоцкий Г. Н. Почвообразовательные процессы в песках // Избранные сочинения. – М.: АН СССР, 1962. – Т. 2. – С. 107-113.

77. Высоцкий Г. Н. О степном лесоразведении и степном лесоустройстве // Защитное лесоразведение: избр. тр. – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 34-54.

78. Высоцкий Г. Н., Бельгард А. Л. Дібрівскій ліс // Наукові записки ДГУ. – Днепропетровск, 1938. – Вып. 1.

79. Габай В. С. Основные принципы лесоразведения на песчаных землях юго-востока европейской части СССР // Защитное лесоразведение. – Волгоград, 1962. – С. 222-228.

80. Габай В. С. О размещении сосны в рядах при массивном лесоразведении на песках степной зоны // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1970. – Вып. 7(59). – С. 37-41.

81. Гаврилов Б. И. В защиту леса // Лесное хоз-во. – 1938. – № 1. – С. 29.

82. Гаель А. Г. К облесению песков Верхнего Дона // Почвоведение. – 1949. – № 12. – С. 718-722.

83. Гаель А. Г. Облесение бугристых песков Приаралья. – М.: АН СССР, 1951. – 88 с.

84. Гаель А. Г. Облесение бугристых песков засушливых областей. – М.: Географиздат, 1952. – 218 с.

85. Гаель А. Г. Медведицкие пески Волгоградской области / Отчет об исследовании песков по р. Медведице. – Рукопись, 1966.

86. Гаель А. Г. Близководные пески засушливых областей и их облесение ольхой черной и сосной обыкновенной // Лесоведение. – 1980. – № 3. – С. 81-95.

87. Гаель А. Г. О разновозрастных почвах на песках аридных областей СССР (Сообщ.1) // Проблемы освоения пустынь. – 1988. – № 1. – С. 3-10.

88. Гаель А. Г., Воронков Н. А. Корневая система сосны (*Pinus silvestris* L.) на песчаных почвах Казахстана и Дона // Ботанич. журнал. – 1965. – № 4. – С. 503-517.

89. Гаель А. Г., Воронков Н. А. Особенности облесения песков в степной зоне СССР // Лесное хоз-во. – 1965. – № 6. – С. 34-39.

90. Гаель А. Г., Зюзь Н. С. Строение культур сосны на песчаных почвах степного Дона // Биологические науки. – 1985. – № 7. –- С. 85-92.

91. Гаель А. Г., Пачинда А. С. О поверхностном стоке на песках // Почвоведение. – 1958. – № 4. – С. 86-90.

92. Гаель А. Г., Петрова Н. И. Особенности облесения песков и легких почв степного Дона // Проблемы комплексного освоения песков и мелиорации пастбищ: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1984. – Вып. 2(82). – С. 28-39.

93. Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф. Особенности песчаных степных почв как объектов для облесения // Лесоведение. – 1974. – № 6. – С. 24-34.

94. Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф. Пески и песчаные почвы. – М.: Геос, 1999. – 252 с.

95. Гаель А. Г., Судницын И. И. Режим почвенно-грунтовых вод сосновых насаждений Доно-Арчединского песчаного массива // Лесоведение. – 1971. – № 5. – С. 46-57.

96. Гаель А. Г., Трушковский А. А. Возраст и классификация почв на эоловых песках степной зоны // Известия АН СССР. Серия "География". – 1962. – № 4. – С. 28-42.

97. Гаель А. Г., Хабаров А. В. Об особенностях почвообразования на песках Хреновского бора // Почвоведение. – 1969. – № 11. – С. 17-31.

98. Гаель А. Г., Хабаров А. В. Особенности почвообразования на

песках Бузулукского бора в связи с их минералогическим составом // Почвоведение. – 1971. – № 2. – С. 119-135.

99. Гаель А. Г., Якшина А. М., Брысова Л. П. Пески Волго-Уральского междуречья и Урдинской дельты как объект для облесения // Повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий Прикаспия методами лесомелиорации: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1986. – Вып. 3(89). – С. 12-26.

100. Газизуллин А. Х., Шарафутдинов Р. Н. Влияние рельефа на рост сосны на песчаных почвах в условиях Среднего Поволжья // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: тез. Всерос. конф. – Воронеж, 1993. – Секция 1. – С. 38-40.

101. Георгиевский Н. П. Рубки ухода в Бузулукском бору. Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 2.– М. – Л.: Гослесбумиздат, 1950. – С. 98-118.

102. Говорова Т. Т., Шинкаренко И. Б. Влияние густоты сосновых культур на их продуктивность в северной части пристепных боров Украины // Лесоводство и агролесомелиорация: республик. межведом. тематич. науч. сб. – Киев, 1979. – Вып. 55. – С. 60-64.

103. Годнев Е. Д. Обоснование приемов ухода за культурами сосны // Лесное хоз-во. – 1940. – № 6. – С. 26-29.

104. Годнев Е. Д. Облесение Нарынских песков // Лесное хоз-во. – 1949. – № 3. – С. 4-13.

105. Годнев Е. Д. Характеристика смешанных культур на дюнных песках. Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 1. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 79-97.

106. Годнев Е. Д. Опыт культивирования сосны. – М., 1974. – 36 с.

107. Годнев Е. Д. Выращивание сосны в сухих степях // Лесное хоз-во. – 1982. – № 1. – С. 31-36.

108. Годнев Л. Е. Густота культур как фактор их устойчивости в условиях мшистых сосняков Бузулукского бора // сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М.: Лесн. пром-ть, 1966. – Вып. 51. – С. 23-35.

109. Гожев А. Д. Типы песков области Среднего Дона и их хозяйственное использование // Труды по лесному опытному делу. – М. – Л.: Сельхозгиз., 1929. – Вып. 3. – 177 с.

110. Головащенко М. Ф. Вылив рубок догляду на стікість, продуктівність і якість соснових культур в лівобережному лісостепу Україні.: автореф. дис. … канд. с.-х. н. – Харків, 1993. – 14 с.

111. Головянко З. С. Развитие и строение корневой системы как условие успешного развития сосен // Труды по лесному опытному делу. – СПб, 1909. – С. 56-140.

112. Головянко З. С. Густота и состав культур на боровой почве // Лесное хозяйство. – 1940. – № 6. – С. 22-25.

113. Головянко З. С. Причины усыхания сосновых насаждений. –

Киев: АН УССР, 1949. – 43 с.

114. Готшалк Ф. И. Опыт закрепления песков и хозяйство в южной полупустыне (Хошеутовский закрепительный участок Астраханской губернии) // Сб. ст. по песчано-овражным работам. – Петроград, 1915. – 109 с.

115. Граве Н. П. Выращивание дичи на фермах // Лесное хоз-во. – 1992. – № 4-5. – С. 37-38.

116. Грибанов Л. Н. О лесопользовании в ленточных борах Западной Сибири в порядке ухода за насаждениями // Лесное хоз-во. – 1951. – № 1. – С. 64-69.

117. Григорьева С. О. Основные направления развития рекреационного лесопользования // Лесное хоз-во. – 1992. – № 6-7. – С. 22-25.

118. Гурский А. А. Принципы совершенствования оценки лесных ресурсов, ведения хозяйства и лесопользования в Казахстане: автореф. дис. … д. с.-х. н. – Екатеринбург, 1997. – 36 с.

119. Гусев В. Г. Лесопирологические основы, методы и средства создания противопожарных барьеров в сосновых лесах и космический мониторинг их эффективности: автореф. дис. … д. с.-х. н. – СПб., 2006. – 47 с.

120. Даньшин И. И. Влияние высокой первоначальной густоты культур на формирование молодняков и рост сосны в условиях Нижнего Дона // Сб. раб. ВНИИЛМ. – М.: Лесн. пром-ть, 1966. – С. 36-48.

121. Даньшин И. И. Культуры сосны обыкновенной на песках и супесях Нижнего Дона: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Новочеркасск, 1969. – 23 с.

122. Даньшин И. И. Повышение устойчивости к засухе сосновых молодняков на песках с помощью прочисток // Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М.: Лесн. пром-ть,1970. – Вып. 52. – С. 44-53.

123. Демаков Ю. П. Результаты мониторинга за состоянием кормовой базы ксилофильных насекомых в сосняках Марий Эл // Лесохозяйственная информация: сб. науч.-техн. информ. по лесному хоз-ву, 1997. – Вып. 7. – С. 22-33.

124. Демаков Ю. П., Калинин К. К. Оптимизация исходной густоты культур сосны в борах Республики Марий Эл // Лесохозяйственная информация: сб. науч.-техн. информ. по лесному хоз-ву, 1997. – Вып. 11. – С. 15-21.

125. Дерябин Д. И. О классификации и принципах отбора деревьев при рубках ухода за лесом // Лесное хоз-во. – 1953. – № 5. – С 6-15.

126. Дзядевич И. А. Предотвращение водной эрозии и борьба с ней на орошаемых землях // Гидротехника и мелиорация. – 1970. – № 9. – С. 40-56.

127. Добровольский В. В. Гипергенез четвертичного периода. –

М.: Наука, 1966. – 218 с.

128. Докучаев В. В. Учение о зонах природы. – М.: Географгиз, 1948. – 63 с.

129. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь // Сочинения. В 8-ми т. – Т. 6.– М. – Л.: Изд-во АН, 1951. – С. 14-102.

130. Доценко Л. С. О значении сухого слоя в испарении влаги из песка // Сб. науч. тр. по агрономической физике, 1960. – Вып. 8. – С. 44-49.

131. Дрюченко М. М. Влияние леса на грунтовые воды // Почвоведение. – 1941. – № 3. – С. 69-87.

132. Дрюченко М. М. Методы облесения песков степи и южной лесостепи // Защитное лесоразведение. – Волгоград, 1962. – С. 208-220.

133. Дубянский В. А. Пески Среднего Дона и использование их в сельском и лесном хозяйстве. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 231 с.

134. Дубянский В. А. Закрепление, облесение и освоение песков и супесей // Лесное хоз-во. – 1951. – № 10. – С. 14.

135. Ерусалимский В. И. Сушит ли лес степные равнины // Лесное хоз-во. – 1999. – № 4. – С. 12-13.

136. Ефимова И. Н., Кайбияйнен Л. К. Сезонная динамика потоков пасоки и водопотребление березой повислой // Лесоведение. – 2001. – № 4. – С. 52-57.

137. Жеребцов В. Г. Густота посадки и сроки смыкания лесных культур в степи // Лесное хоз-во. – 1957. – № 1. – С. 27-29.

138. Жизнь животных: Энциклопедия / Под ред. Гладкова Н. А., Михеева А. В. – В 6-ти т. – Т. 5. – Птицы. – М.: Просвещение, 1970. – 612 с.

139. Жизнь животных: Энциклопедия / Под ред. Гладкова Н. А., Михеева А. В. – В 6-ти т. – Т. 6. – Млекопитающие и звери. – М.: Просвещение, 1971. – 627 с.

140. Зайцев Г. А., Кулигин А. Ю., Багаутдинов Ф. Я. Особенности строения корневых систем *Pinus silvestris* L. и *Laryx sucaczewii* Dyl. в условиях нефтетехнического загрязнения Уфимского промышленного центра // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула, 2001. – С. 519-522.

141. Закрепление подвижных песков вяжущими веществами / А. Г. Бабаев [и др.] // Лесное хоз-во. – 1953. – № 2. – С. 154-176.

142. Запалов С. М. К 50-летию насаждений Камышинского района // Лесное хоз-во. – 1953. – № 3. – С. 83-89.

143. Зеликов В. Д. Почвы и бонитет насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 120 с.

144. Зонн С. В. Почвенная влага и лесные насаждения. – М.: АН СССР, 1959. – 198 с.

145. Зюзь Н. С. Агротехника культур сосны на песках Среднего Дона // Освоение песков. – М.: МСХ СССР, 1960. – С. 65-75.

146. Зюзь Н. С. Корневая система сосны в бугристых песках Среднего Дона // Докл. науч.-техн. конф. – Новочеркасск, 1967. – С. 22-25.

147. Зюзь Н. С. Объемный вес и твердость бугристых песков Среднего Дона // Биологич. науки. – 1968. – № 8. – С. 110-118.

148. Зюзь Н. С. Влажность бугристых песков под сосновыми насаждениями на Среднем Дону // Почвоведение. – 1971. – № 9. – С. 100-108.

149. Зюзь Н. С. Повышение засухоустойчивости сосновых молодняков // Лесное хоз-во. – 1978. – № 3. – С. 38-40.

150. Зюзь Н. С. Культуры сосны на песках Юго-Востока. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 155 с.

151. Зюзь Н. С., Лобачева М. Е. Дифференциация молодых культур сосны на крайнем Юго-Востоке // Лесоведение. – 1979. – № 1. – С. 75-77.

152. Зюзь Н. С., Лобачева М. Е. Масса хвои в сосновых молодняках сухой степи // Закрепление, облесение и сельскохозяйственное освоение песков: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1979. – Вып. 2(30). – С. 16-20.

153. Зюзь Н. С., Лобачева М. Е. О засухоустойчивости сосны на различных почвенных субстратах (данные вегетационного опыта) // Проблемы комплексного освоения песков и мелиорации пастбищ: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1984. – Вып. 2(82). – С. 62-68.

154. Зюзь Н. С., Манаенков А. С. Дифференциация и засухоустойчивость культур сосны на юго-востоке европейской территории России // Роль и место агролесомелиорации в современном обществе: материалы Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации, 10-13 окт. 2006 г. – Волгоград, 2007. – С. 110-117.

155. Зюзь Н. С., Прозоров Н. А. Коренная мелиорация растительных условий на песках засушливых областей // Комплексная экономическая оценка защитных лесных насаждений: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – Вып. 3(98). – С. 120-130.

156. Зюзь Н. С., Кондрашов В. И. Технология культур сосны на полимиктовых песках // Повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий Прикаспия методами лесомелиорации: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1986. – С. 87-96.

157. Иванов А. Е., Дрюченко М. М. Комплексное освоение песков. – М.: Лесн. пром-ть, 1969. – 302 с.

158. Иванов А. Е., Матюк И. С., Миронов В. В. Пески и их освоение. – М.: Сельхозлитература, 1955. – 255 с.

159. Иванов И. В., Васильев И. Б. Человек, природа и почвы Рын-песков Волго-Уральского междуречья в голоцене. – М.: Интел-

лект, 1995. – 258 с.

160. Иванов Л. А. Отношение к влаге древесных пород, применяемых при степном лесоразведении // Научные основы полезащитного лесоразведения. – М., 1951. – Вып. 1. – С. 109-124.

161. Иванов Л. А. Гидрологическое значение расходования влаги лесом в различных зонах европейской части СССР. Доклады АН СССР. Новая серия. – 1953. – Т. 90. – № 4. – С. 673-676.

162. Иванов Н. Н. Пояса континентальности земного шара // Известия ВГО, 1959. – Т. 91, вып. 5. – С. 410-412.

163. Ильинский В. О., Ладова Л. А. Опыт комплексного ведения лесного и охотничьего хозяйства. – М.: Лесн. пром-ть, 1976. – 121 с.

164. К вопросу о густоте посадки лесных культур (заключительная статья) // Лесное хозяйство. – 1958. – № 11. – С. 30-36.

165. Кабалалиев В. И. Рост сосны на Терско-Кумских песках // Пути хозяйственного использования песчаных земель засушливых областей: Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1977. – Вып. 1(23). – С. 39-42.

166. Клюшник П. И. Корневая губка и меры борьбы с ней. – М.: ГЛБИ, 1962. – 53 с.

167. Комаровский П. О. О причинах усыхания культур Бузулукского бора // Лесное хоз-во. – 1951. – № 5. – С. 32-33.

168. Комаровский П. О. Основы устойчивости культур сосны на дюнных всхолмлениях Бузулукского бора // Лесное хоз-во. – 1953. – № 1. – С. 25-29.

169. Кондратьев П. С. Влияние густоты посадки на рост сосновых насаждений // Лесное хоз-во. – 1939. – № 3. – С. 10-12.

170. Корнева Е. А. Эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации пахотных земель, подверженных дефляции (на примере Нижнего Поволжья): автореф. дис. … к. с.-х. н. – Волгоград, 2013. – 20 с.

171. Коробов И. А. Влияние рубок ухода на рост и состояние сосновых молодняков на Нижнеднепровских песках // Лесоведение. – 1978. – № 4. – С. 42-46.

172. Кошельков С. П., Алексеева Т. Г. Влияние режима увлажнения почвы на накопление в хвое сосны элементов питания // Лесоведение. – 1973. – № 5. – С. 10-14.

173. Краснов М. А. Устойчивость сосновых посадок в возрасте смыкания на сухих песках Бузулукского Бора // Лесное хозяйство. – 1951. – № 10. – С. 27-30.

174. Крупные хищники и копытные звери. Лес и его обитатели / В. П. Макридин [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 295 с.

175. Кузин А. Н. Водный режим и фитомелиорация современных очагов опустынивания в Северо-Западном Прикаспии: автореф.

дис. … к. с.-х. н. – Волгоград, 1984. – 193 с.

176. Кузьмин И. Ф., Кузьмин В. А. Пути и методы повышения продуктивности лесных охотничьих угодий. Обзорная информация ВНИИТЭИСХ. – М., 1977. – 45 с.

177. Кулик К. Н. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Введение. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. – 248 с.

178. Кулик Н. Ф. Водный режим песков юго-востока Европейской части СССР: автореф. дис. … д. биол. н. – М., 1970. – 28 с.

179. Кулик Н.Ф. Физическое испарение на песках // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 7(59). – С. 5-10.

180. Кулик Н. Ф. Водный режим песков аридной зоны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 280 с.

181. Кулик Н. Ф., Клинов А. Б. Воднобалансовая характеристика Усть-Кундрючинских песков и их значение в водопитании речных систем // Экология и защитное лесоразведение. – Харьков, 1988. – С. 156-161.

182. Кулик Н. Ф., Зюзь Н. С., Гусиков А. Ф. Устойчивость молодых культур сосны на Приволжских песках // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1981. – Вып. 3(73). – С. 94-109.

183. Кулик Н. Ф., Зюзь Н. С., Кабалалиев В. И. Рекомендации по агротехнике выращивания культур сосны на Терско-Кумских песках. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1978. – 14 с.

184. Кулик Н. Ф., Габай В. С., Етеревская Л. В. Влияние агротехники на рост и состояние однолетних культур сосны Арчединского лесхоза // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1970. – Вып. 7(59). – С. 45-49.

185. Кулик Н. Ф., Габай В. С., Етеревская Л. В. О причинах усыхания культур сосны на Приволжских песках в 1965 г. – Там же. – С. 50-55.

186. Куренцов А. И. Короеды Дальнего Востока СССР. – М. – Л.: АН СССР, 1941. – 224 с.

187. Лавренко Е. М. Вопрос о причинах безлесия степей как проблема исторической ботанической географии // Президенту Академии наук СССР В. А. Комарову: сб. науч. тр. – М.: АН СССР, 1939. – С. 511.

188. Лавренко Е. М., Прозоровский А. В. Растительность европейской части СССР // Почвы СССР. В 3-х т. – Т. 1. – М. – Л.: АН СССР, 1939. – С. 101-156.

189. Лавриненко Д. Д. Оценка лесорастительных условий – основная задача лесной типологии // Лесное хоз-во. – 1953. – № 4.

190. Лавриненко Д. Д. Основы лесной экологии. – Киев: УСХА, 1978. – 35 с.

191. Леонтьев А. А. Аэросев саксаула – передовой прием освоения

песков под леса и пастбища. – Ташкент: Госиздат УзССР, 1955. – 45 с.

192. Лесное хозяйство на Нижнеднепровских песках / С. Н. Руденко [и др.] // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1985. – Вып. 1(44). – С. 34-38.

193. Лесорастительные условия Вешенских на Дону бугристых песков / А. Г. Гаель [и др.] // Биолог. науки. – 1973. – № 10. – С. 111-118.

194. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. И. Физиология древесных растений / Пер. с нем. – М.: Лесн. пром-ть, 1974. – 424 с.

195. Лунев А. Г., Матусевич Л. С. Короед-дендроктон на Ишимской равнине // Лесное хоз-во. – 1999. – № 6. – С. 38-40.

196. Майоршина С. В. Система организации рекреации в США // Проблемы региональной экологии. – 2001. – № 3. – С. 43-54.

197. Максимов Н. А. Развитие учения о водном режиме и засухоустойчивости растений от Тимирязева до наших дней. Разд. 2.6 // Избр. раб. по засухоустойчивости и зимостойкости растений. – М.: АН СССР, 1952. – Т. 1. – С. 21-54.

198. Маланьин А. Н. Бугристые пески сухостепной зоны с начальными стадиями автоморфного почвообразования и опыт их облесения // Биологические науки. – 1978. – № 3. – С. 131-143.

199. Малхосян Р. Р. Об оптимальной густоте сосновых культур на горных склонах Северной Армении // Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М.: Лесн. пром-ть, 1970. – Вып. 52. – С. 9-12.

200. Манаенков А. С. Особенности фитомелиорации крупных очагов опустынивания песчаных земель в Северо-Западном Прикаспии // Проблемы комплексного освоения песков и мелиорации пастбищ: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1984. – Вып. 2 (82). – С. 79-89.

201. Манаенков А. С. Агротехника выращивания мелиоративных насаждений на дефлированных песчаных землях Северо-Западного Прикаспия: дис. … к. с.-х. н. – Волгоград, 1986. – 249 с.

202. Манаенков А. С. Экономическая эффективность фитомелиорации пастбищ аридной зоны // Комплексная экономическая оценка защитных лесных насаждений: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – Вып. 3(98). – С. 131-135.

203. Манаенков А. С. Лесное хозяйство Юга России // Лесное хозяйство. – 1993. – № 3. – С. 11-13.

204. Манаенков А. С. Реставрация опустыненных пастбищ на Черных землях // Лесное хозяйство. – 1993. – № 6. – С. 33-36.

205. Манаенков А. С. Состояние и проблемы землепользования в лесном хозяйстве Волгоградской области // Агролесоландшафты: проблемы, свойства, управление и оценка: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1995. – Вып. 1 (106). – С. 30-35.

206. Манаенков А. С. Итоги и опыт облесения сосной южноевро-

пейских арен России // Защитное лесоразведение: история, достижения, перспективы. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1998. – С. 48-56.

207. Манаенков А. С. Лесохозяйственные проблемы засушливой зоны // Лесное хоз-во. – 1999. – № 3. – С. 32-33.

208. Манаенков А. С. Создание регионального опытно-производственного эталона лесоохотничье-рекреационного природопользования // Субрегиональная национальная программа действий по борьбе с опустыниванием для юго-востока европейской части Российской Федерации. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – С. 236-241.

209. Манаенков А. С. Лесоразведение на песчаных землях засушливой зоны // Агролесомелиоративная наука в XX веке: коллектив. монография. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. – С. 199-223.

210. Манаенков А. С. Методика и нормативы оценки лесопригодности земель под массивное облесение в поясе неустойчивого увлажнения ЕТР. Гл 4. – М., 2001. – 35 с.

211. Манаенков А. С. Основа устойчивости культур сосны при неустойчивом увлажнении // Лесное хоз-во. – 2002. – № 4. – С. 35-38.

212. Манаенков А. С. Современные проблемы облесения песков засушливой зоны сосной // Вековой опыт формирования лесных экосистем в агроландшафтах засушливого пояса России: материалы Международ. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2003. – С. 162-172.

213. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен Юго-Востока: автореф. дис. … д. с.-х. н. – Волгоград, 2004. – 47 с.

214. Манаенков А. С. Методические рекомендации по проектированию рубок ухода в искусственных молодняках сосны степной зоны ЕТР. – Москва, 2004. – 34 с.

215. Манаенков А. С. О перспективе развития лесной типологии. Гл. 2, 4 // Лесное хоз-во. – 2005. – № 5. – С. 27-29.

216. Манаенков А. С. Перспектива и технология лесоразведения на песках Западного Казахстана // Современное состояние лесного хозяйства и озеленения в Республике Казахстан: материалы Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию организации НПЦ лесного хозяйства, 23-26 авг. 2007 г. – Алматы, 2007. – С. 284-288.

217. Манаенков А. С. Особенности водного режима корнеобитаемого слоя и засухоустойчивость культур сосны. Гл. 8 // Лесоведение. – 2009. – № 2. – С. 52-61.

218. Манаенков А. С. Повышение эффективности лесомелиоративного освоения песчаных земель засушливой зоны // Проблемы и перспективы развития лесомелиораций и лесного хозяйства в Южном федеральном округе: материалы Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию высшего лесного образования на Дону, 8-10 дек. 2010 г. / Ред. кол.: С. С. Таран (отв. ред.) и др.; НГМА. – Новочеркасск, 2010. –

С. 71-76.

219. Манаенков А. С. О возможности лесоразведения на песках полупустыни. Гл. 8 // Лесное хоз-во. – 2012. – № 5. – С. 31-33.

220. Манаенков А. С. Повышение лесистости Волго-Ахтубинской поймы культурами сосны // Оздоровление экологической обстановки в регионах Нижней Волги, восстановление и предотвращение деградации ее природных комплексов – составная часть программы "Возрождение Волги": материалы Международ. науч.-практ. конф., 5 мая 2011 г. – Волгоград, 2012.– С. 75-81.

221. Манаенков А. С. Перспективы повышения эффективности использования низкопродуктивных сельскохозяйственных земель на Юге России // Региональная экономика. Юг Росссии. – 2014. – № 2(4). – С. 64-72.

222. Манаенков А. С. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия "Лес. Экология. Природопользование". – 2016. – № 2(30). – С. 5-23.

223. Манаенков А. С. Закономерности водного режима, роста и долговечности искусственных древостоев в засушливых условиях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – Вып. 221. – С. 91-106.

224. Манаенков А. С., Егорова Е. В. Лесообразование и пожарная опасность в монокультурах сосны на территории засушливых областей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград, 2013. – Вып. 3. – С. 56-61.

225. Манаенков А. С., Егорова Е. В. Причины и погодные особенности формирования пожарной опасности в сосняках засушливой зоны // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград, 2013. – Вып. 3. – С. 61-66.

226. Манаенков А. С., Зюзь Н.С. Проблемы защиты сосняков юга ЕТР // Лесохозяйственная информация. – 1996. – № 8. – С. 33.

227. Манаенков А. С., Зюзь Н. С. Ландшафтно-хозяйственная индикация песчаных земель засушливых областей // Вестник РАСХН. – 1997. – № 2. – С. 53-55.

228. Манаенков А. С., Зюзь Н. С. Способ создания лесных культур: пат. № 2289909 РФ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИАЛМИ Россельхозакадемии. – № 2005106630/12; заявл. 09.032005; опубл. 27.12.2006. Бюл. № 36.

229. Манаенков А. С., Зюзь Н. С., Жунисов Б. К. Лесорастител-

ные условия и лесокультурное освоение Урдинского песчаного массива // Лесное хоз-во. – 1995. – № 5. – С. 36-38.

230. Манаенков А. С., Корнеева Е. А. Методология и результаты оценки эффективности капитальных вложений в лесомелиорацию сельскохозяйственных земель // Экономика развития региона: проблемы, поиски, перспективы (ежегодн.). – Волгоград, 2012. – Вып. 13. – С. 470-476.

231. Манаенков А. С., Корнеева Е. А. Эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации сельскохозяйственных земель Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – Вып. 4(36). – С. 197-202.

232. Манаенков А. С., Корнеева Е. А. Почвозащитная эффективность лесной мелиорации на склоновых землях юга европейской России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 1. – С. 24-27.

233. Манаенков А. С., Костин М. В., Шкуринский В. А. Современное состояние и возможность выращивания дубрав промышленного значения на комплексных почвах сухой степи и полупустыни // Вестник Поволжского государственного университета: Серия "Лес. Экология. Природопользование". – 2012. – Вып. 2(16). – С. 12-19.

234. Манаенков А. С., Кулик К. Н. Водно-минеральные особенности субстрата и засухоустойчивость древостоя сосны // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 2. – С. 46-56.

235. Манаенков А. С., Шкуринский В. А., Костин М. В. Особенности роста и долговечности насаждений "дубрав промышленного значения" на зональных почвах сухостепного Придонья // Вестник Поволжского государственного университета: Серия "Лес. Экология. Природопользование". – 2013. – Вып. 2(18).– С. 5-17.

236. Манаенков А. С., Степанова З. А. Влияние почвенно-грунтовых условий и паводка на состояние дубрав Волго-Ахтубинской поймы // Лесная мелиорация и повышение плодородия почв: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1981. – Вып. 1(35). – С. 78-82.

237. Манаенков А. С., Сурхаев Г. А., Сурхаев И. Г. Особенности облесения песчаных земель Терско-Кумского междуречья культурами сосны // Лесное хоз-во. – 2010. – № 5. – С. 36-38.

238. Манаенков А. С., Чеботарев В. Н., Синюков В. А. Перспектива лесоразведения на песках аридной зоны // Лесное хоз-во. – 1992. – № 1. – С. 30-38.

239. Манаенков А. С., Юрченко В. В. Профилактика лесных пожаров в сосняках Волгоградской области // Практические рекомендации. – Волгоград, 2006. – 52 с.

240. Матюк И. С. Освоение Ачикулакских песков под лесораз-

ведение // Итоги работ ВНИАЛМИ за 1944-1945 гг. – М. – Л., 1947. – С. 159-187.

241. Матюк И. С. Устойчивость лесонасаждений. – М.: Лесн. пром-ть, 1983. – 133 с.

242. Матюк И. С., Миронов В. В. Закрепление и облесение песков европейской части СССР. – М.: Сельхозлитература, 1951. – 104 с.

243. Матюлина А. П. Влияние степени прополки на влажность почвы и рост сосны в Арчединском лесхозе // Лесное хоз-во. – 1953. – № 4. – С. 12-16.

244. Матюлина А. П. Рубки в сосняках на крайнем Юго-Востоке // Лесное хоз-во. – 1964. – № 11. – С. 24-26.

245. Методические указания по изысканиям и проектированию мероприятий комплексного освоения песков юга и юго-востока европейской части СССР / В. И. Петров [и др.]. – М.: ВАСХНИЛ, 1985. – 78 с.

246. Методическое руководство по повышению долговечности широкополосных защитных лесных насаждений на юге европейской территории России /А. С. Манаенков [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013.– 56 с.

247. Мигунова Е. С. Корневые системы древесных пород на засоленных почвах юга Украины // Лесоведение. – 1976. – № 6. – С. 27-36.

248. Мигунова Е. С. Леса и лесные земли. – М.: Экология, 1993. – 363 с.

249. Мигунова Е. С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). Разд. 2.2. – М.: Московский государственный университет леса, 2007. – 591 с.

250. Мигунова Е. С. Лесная типология, школа В. В. Докучаева и вопросы географии. Разд. 2.2. – Харьков: Новое слово, 2009. – 302 с.

251. Мигунова Е. С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей). Разд. 2.2. – Харьков: Новое слово, 2010. – 363 с.

252. Мильков Ф. Н. Краткий очерк истории географического происхождения. Разд. 2.2 // Лесостепь и степь русской равнины. – М.: АН СССР, 1956.– С. 7-27.

253. Миронов В. В. Типы лесорастительных условий песков Нижнего Дона // Облесение и сельскохозяйственное освоение песчаных земель Юго-Востока. – М., 1959. – С. 5-23.

254. Миронов В. В. Выращивание сосновых насаждений на песчаных землях Юго-Востока. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 62 с.

255. Миронов В. В. Последствия засухи в культурах сосны на Юго-Востоке // Лесной журнал. – 1968.

256. Миронов В.В. Облесение песков Юго-Востока. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 168 с.

257. Миронов В. В. Экология хвойных пород при искусственном

лесоразведении. – М.: Лесн. пром-ть, 1977. – 232 с.

258. Миронов В. В., Воронков Н. А., Зюзь Н. С. К обоснованию глубины вспашки песчаных почв при культурах сосны в степной зоне // Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – Пушкино, 1965. – С. 63-71.

259. Миронов В. В., Зюзь Н. С. О мерах предупреждения массового усыхания сосны в культурах на песках Среднего Дона // Лесовосстановление и лесные культуры: сб. науч. тр. – М.: Сельхозгиз, 1962. – Вып. 42. – С. 130-143.

260. Миронов В. В., Карлин В. Р. Строение культур сосны на Среднем Дону и рубки ухода в них // Сб. работ Донской НИЛОС. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – Вып. 3. – С. 39-49.

261. Миронова О. Н. Роль лесных полос в предотвращении эрозии в Оренбургской области // Комплексная экономическая оценка защитных лесных насаждений: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – Вып. 3(98). – С. 116-120.

262. Михович А. И. Водоохранные лесонасаждения. – Харьков: Прапор, 1981. – 63 с.

263. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. – М.: АН СССР, 1952. – 487 с.

264. Молчанов А. А. Сосновые леса и влага. – М.: АН СССР, 1953. – 139 с.

265. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. – М.: АН СССР, 1960. – 487 с.

266. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 407 с.

267. Морозов Г. Ф. К вопросу об усыхании сосновых культур // Тр. по лесному опытн. делу в России. – СПб, 1913. – Вып. 10. – С. 5-12.

268. Морозов Г. Ф. Избранные труды. В 2-х т. – Т. 1. – М.: Лесн. пром-ть, 1970. – 558 с.

269. Морозов Г. Ф. Очерки по лесокультурному делу // Избранные труды. – Там же. – С. 457-512.

270. Морозов Г. Ф. Учение о типах насаждений // Избранные труды. В 2-х т. – Т. 2. – М.: Лесн. пром-ть, 1971 – С. 13-357.

271. Морозов Г. Ф. Очерки по возобновлению сосны. – Там же. – С. 361-454.

272. Муромцев Н. А. Мелиоративная гидрофизика почв. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 272 с.

273. Науменко И. М. О рубках ухода за лесом // Лесное хоз-во. – 1953. – № 2. – С. 15-17.

274. Невзоров И. М. Научное обоснование способов создания культур сосны обыкновенной на песчаных почвах Оренбургской области: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Воронеж, 1979. – 25 с.

275. Най П. Х., Тинкер П. Б. Движение растворов в системе почва – растение / Под ред. О. С. Усьярова (пер. с англ.) – М.: Колос, 1980. – 365 с.

276. Невзоров В. М. К вопросу о кризисе культур сосны в сухих условиях местопроизрастания Бузулукского бора // Сб. раб. ВНИИЛМ. – М.: Лесн. пром-ть, 1970. – Вып. 52. – С. 21-26.

277. Невзоров В. М. Рост и устойчивость сосны в культурах сухих местоположений Бузулукского бора в связи с рубками ухода: автореф. дис. … к. с.-х. н. – М., 1973. – 23 с.

278. Невзоров В. М. Особенности роста сосны в условиях искусственной почвенной засухи в культурах // Сб. тр. Боровской ЛОС им. А. П. Тольского. – Челябинск, 1974. – Вып. 3. – С. 108-122.

279. Негруцкий С. Ф. Корневая губка. – М.: Агопромиздат, 1986. – 197 с.

280. Недвецкий Н. А. Особенности дифференциации сосны в культурах первого десятилетия на осушенных площадях // Лесоведение. – 1973. – № 5. – С. 51-57.

281. Нестеров В. Г. Основные черты процесса усыхания сосны // Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 1. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 65-78.

282. Нестеров В. Г. Итоги лесокультурного дела за столетие и обоснование проекта типов лесных культур для Бузулукского бора. – Там же. – С. 221-257.

283. Новосельцева А. И. Рост и продуктивность культур сосны 1-го класса возраста в лесостепи ЦЧО: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Воронеж, 1965. – 19 с.

284. Новые способы облесения бугристых песков / Н. К. Загайкевич [и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 251 с.

285. Нуслейн Ф. Экономическая ценность продукции охотничьего хозяйства и облесенных пространств Европы // Доклад на VII Мировом лесном конгрессе. – Буэнос-Айрес: изд. секретариата конгресса, 1972. – С. 7-9.

286. Об определении транспирационного расхода древостоем леса / Л. А. Иванов [и др.] // Бот. Журнал. – 1951. – Т. 36 – № 1.

287. Огиевский В. В. Опыт лесоразведения на аренах Юго-Востока // Науч. записки ВЛТИ. – Воронеж, 1940. – Т. 6. – 60 с.

288. Огиевский В. В. Влияние условий местопроизрастания на строение корневых систем в 17-20-летних культурах сосны (*Pinus silvestris* L.) Ленинградской обл. // Биологический журнал. – 1958. – Т. 43. – № 11. – С. 1613-1618.

289. Оловянникова И. Н. Взаимоотношение сосны и травянистой растительности в культурах ленточных боров Прииртышья // Молодые лесоводы сорокалетию Великого Октября. – М., 1957. – С. 59-69.

290. Онучин А. А., Спицина Н. Т. Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 48-58.

291. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны / К. Н. Кулик [и др.] – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. – 86 с.

292. Опыт лесомелиорации и проблемы повышения продуктивности и устойчивости деградированных кормовых угодий Прикаспия. Социально-экономические и природоохранные аспекты развития сельских муниципальных образований // Социально-производственное развитие сельских муниципальных образований аридных территорий: материалы Международ. науч.-практ. конф. / Ред.-сост.: В. П. Зволинский, Т. В. Воронцова, О. В. Зволинская, Н. И. Матвеева. – М.: Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2010. – С. 170-174.

293. Орлов А. Я. Рост и жизнеспособность корней сосны, ели и березы в условиях затопления корневых систем // Влияние избыточного увлажнения на продуктивность лесов. – М.: Наука, 1966. – С. 5-27.

294. Орлов А. Я. Накопление азота в хвое сосны при разном режиме увлажнения почвы // Лесоведение. – 1973. – № 5. – С. 3-9.

295. Орлов А. Я., Абатуров Ю. Д., Матвеева А. А. Состояние сосны после засухи 1972 г. в молодых культурах на юго-востоке Московской области // Лесоведение. – 1974. – № 6. – С. 35-46.

296. Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны. – М.: Наука, 1971. – 323 с.

297. Орлов М. А. Пески Астраханской полупустыни, методы их укрепления и хозяйственного использования. – М.: Гослестехиздат, 1940. – 136 с.

298. Охлябинин С. Д. Задержание кронами осадков в сосновом бору. Предисловие Г. Ф. Морозова // Лесной журнал. – 1913. – Вып. 5. – С. 793-810.

299. Панков Я. В. Фитомелиорация нарушенных земель КМА // Лесная рекультивация нарушенных земель. – Воронеж: ВГУ, 1991. – С. 6-34.

300. Петров В.И. Солевой режим и комплексное освоение песков Северного Прикаспия // Повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий Прикаспия методами лесомелиорации: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1986. – Вып. 3(89). – С. 54-70.

301. Петров В. И. Лесомелиорация Прикаспия: автореф. дис. … д. с.-х. н. – Волгоград, 1989. – 32 с.

302. Петров В. И. Лесомелиорация аридных территорий // Агролесомелиоративная наука в XX веке. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. – С. 162-198.

303. Петров В. И., Кузин А. Н., Филимонов И. А. Эколого-

морфологические особенности и лесомелиоративное освоение современных очагов дефляции в Северо-Западном Прикаспии // Закрепление, облесение и сельскохозяйственное освоение песков: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1979. – Вып. 2(30). – С. 4-8.

304. Петров В. И., Кулик К. Н. Методические основы лесомелиоративной классификации и картировании пастбищ Прикаспийской низменности // Теория и практика фитомелиорации и освоения малопродуктивных земель аридной зоны: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1985. – Вып. 1(44). – С. 3-8.

305. Петров В. И., Кулик К. Н. Лесомелиоративное районирование Черноземельских пастбищ // Лесомелиорация аридных пастбищ: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. – Вып. 2(91). – С. 5-16.

306. Петров М. П. Подвижные пески и борьба с ними. – М.: Географиздат, 1950. – 454 с.

307. Погребняк П. С. Основы лесной типологии. – Киев: АН СССР, 1955. – 456 с.

308. Попов В. К. Сосново-березовые культуры центральной лесостепи. – Воронеж: Квадрат, 1997. – 223 с.

309. Попов К. П. Эффективность осадков и сезонные миграции почвенной влаги на юге Средней Азии // Проблемы освоения пустынь. – 1980. – № 3. – С. 24-30.

310. Попова В. Е. Влияние погодных условий на суммарное испарение влаги в лесу и поле // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев, 1983. – Вып. 67. – С. 12-17.

311. Проблемы рационального природопользования аридных зон Евразии / Ред.-сост.: В. П. Зволинский и Д. М. Хомякова. – М.: Моск. ун-т, 2000. – 416 с.

312. Прозоров Н. А. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в условиях сухой степи // Экологические исследования в агролесомелиорации: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1989. – Вып. 2(97). – С. 139-150.

313. Прозоров Н. А. Радиальный прирост сосны обыкновенной как один из показателей изменчивости экологических условий ее произрастания на песках степной зоны // Лесомелиорация и ландшафт: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. – Вып. 1(105). – С. 145-157.

314. Рахманов В. В. Водоохранная роль лесов. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 136 с.

315. Рахманов В. В. Водорегулирующая роль лесов // Труды Гидрометцентра СССР. – М., 1975. – Вып. 53. – 192 с.

316. Рахтеенко И. Н. Рост и формирование корневой системы сосны в различных типах леса // Дендрология и лесоведение. –

Минск, 1967. – С. 100-118.

317. Рекомендации по комплексному использованию Терско-Кумских песков / В. И. Петров [и др.]. – М.: ВАСХНИЛ, 1987. – 34 с.

318. Рекомендации по комплексному освоению песков юга и юго-востока европейской части СССР / В. Н. Виноградов [и др.]. – М.: Колос, 1978. – Ч. 1 и 2. – 54 с.

319. Рекомендации по лесовыращиванию на бугристо-котловинных песках Западного Казахстана / А. С. Манаенков [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1997. – 35 с.

320. Рекомендации по технологии создания мелиоративных, рекреационных и других лесных насаждений на песках юго-востока европейской части СНГ / А. С. Манаенков [и др.]. – М.: РАСХН, 1993. – 43 с.

321. Репшас Э. А. Культуры сосны на приморских эоловых песках Южной Прибалтики: автореф. дис. … к. с.-х. н. – М., 1973. – 25 с.

322. Робонек Е. В., Чернобровкина Н. П., Колосова С. В. Скорость водного потока в стволе сосны обыкновенной при затоплении корней и разной концентрации CO^2 в почвенном воздухе // Лесоведение. – 2002. – № 1. – С. 18-23.

323. Романовский М. Г., Мамаев В. В. Грунтовые воды нагорных дубрав Теллермановского леса // Лесоведение. – 2002. – № 5. – С. 6-11.

324. Ротмистров В. Г. Районы распространения корней у однолетних культурных растений // Опытная агрономия. 1908. – Кн. 9. – С. 1-26.

325. Рубцов В. И. К вопросу о первоначальной густоте лесных культур // Лесное хоз-во. – 1957. – № 1. – С. 25-27.

326. Рубцов В. И. Культуры сосны в лесостепи. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 285 с.

327. Рубцов В. И., Нартов П. С. О размещении посадочных мест при механизированном уходе за лесокультурами // Лесное хоз-во. – 1958. – № 9. – С. 30-36.

328. Рубцов В. И., Рубцов В. В. Биологическая продуктивность 20-летних культур сосны при разной густоте посадки // Лесоведение. – 1975. – № 1 – С. 28-36.

329. Руднев Н. И. Радиационный баланс леса. – М.: Наука, 1977. – 126 с.

330. Рутковский В. И. Гидрологическая роль леса. М.: Гослеспромиздат, 1949. – 35 с.

331. Рутковский В.И. Влияние динамики климатических и гидрологических условий на лесные культуры // Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 4.– М. – Л.: Гослесбумиздат, 1950. – 144 с.

332. Рысин Л. П. Кадастр типов сосновых лесов России // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: тез. Всерос. конф. – Воронеж, 1993. – Секция 1. – С. 20-22.

333. Рябоконь А. П. Перспективные технологии выращивания сосновых насаждений // Лесоведение. – 1992. – № 1. – С. 11-21.

334. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. – М.: АН СССР, 1955. – 512 с.

335. Савченко А. И., Василевская Л. С. Создание жизнестойких сосновых насаждений // Лесное хоз-во. – 1977. – № 5. – С. 28-31.

336. Светлищев Н. М. Водный и температурный режим почвогрунтов под культурами сосны Етеревского песчаного массива: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Волгоград, 1964. – 23 с.

337. Светлищев Н. М. Нагрузка стволов на единицу площади в культурах сосны // Лесное хозяйство. – 1965. – № 9. – С. 21-22.

338. Светлищев Н. М. Водный и температурный режим песчаных почв бассейна Среднего Дона под культурами сосны // Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1969. – Т. XI. – Вып. 5. – С. 139-149.

339. Светлищев Н. М. Некоторые особенности водного режима песчаных почвогрунтов под полосами молодых культур сосны // Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1970. – Т. XI. – Вып. 6. – С. 71-78.

340. Свинцов И. П. Лесомелиорация песков // Опыт борьбы с опустыниванием в СССР. – М.: Наука, 1981. – С. 86-105.

341. Свинцов И. П., Чередниченко В. П. Изучение дефляционных процессов и переноса песка // Принципы и методы закрепления подвижных песков / Под ред. А. Г. Бабаева. – М.: ЦМП ГКНТ, 1986. – С. 84-96.

342. Сельчуков В. И., Годнев Е. Д. 50 лет научных исследований в Бузулукском бору // Лесное хоз-во. – 1953. – № 6. – С. 56-61.

343. Семенов К. А. Влияние агротехнических приемов на водный режим однолетних культур сосны на Чирском песчаном массиве (Придонские пески) // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1977. – Вып. 1(23). – С. 20-22.

344. Семенов К. А. Особенности водного баланса и роста 2-3-летних сосновых культур на Чирском песчаном массиве (Придонские пески). – Там же. – С. 23-26.

345. Сеннов С. Н. Итоги 60-летних наблюдений за динамикой леса. – СПб: СПб НИИЛХ, 1999. – 96 с.

346. Сеннов С. Н. Результаты длительных опытов с рубками ухода за лесом // Лесное хоз-во. – 2001. – № 2. – С. 28-29.

347. Сеннов С. Н. О перспективах роста деревьев разного размера и методах рубок ухода // Лесное хоз-во. – 2002. – № 4. – С. 28-29.

348. Сенькина С. Н. Водный режим древесного и травяно-кустарничкового яруса в средней подзоне тайги // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула, 2001. – С. 380-381.

349. Сенькина С. Н. Изменение водного режима хвои сосны в за-

висимости от условий произрастания // Лесоведение. – 2002. – № 1. – С. 24-29.

350. Сиваков В. Г. Определение расчетного количества песка, поднесенного к дороге // Проблемы освоения пустынь. – 1975. – № 6. – С. 83-86.

351. Сидельник Н. А. Изучение устойчивости лесных биогеоценозов (естественных и искусственных) в степной зоне Украины // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 49-55.

352. Скородумов А. С. Типы лесорастительных условий государственной лесной полосы Белгород-Дон // Полезащитное и противоэразионное лесоразведение. – Киев, 1952.

353. Смирнов Н. А. Закрепление подвижных Терско-Кумских песков // Итоги работы института, опытных станций и пунктов (ВНИАЛМИ). – Волгоград: Волгоградское кн. изд-во, 1961. – Т. 1. – Вып. 35. – С. 296-310.

354. Смирнов Н. А. Закрепление подвижных Терско-Кумских песков // Защитное лесоразведение. – Волгоград, 1962. – Вып. 37. – С. 235-238.

355. Смирнов Н. А. Транспирационный расход воды древесно-кустарниковыми породами на Бажиганских песках // Сб. науч. тр. по освоению Терско-Кумских песков. – Ставрополь, 1963. – С. 90-106.

356. Создание лесопастбищ на подвижных песках юго-востока европейской части СССР (рекомендации) / Н. С. Зюзь [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 25 с.

357. Созыкин Н. Ф. Влияние леса на водные свойства почв // Сб. науч. тр. ВНИИЛХ. – Пушкино, 1940. – Вып. 18. – С. 197-232.

358. Справочник агролесомелиоратора / Г. Я. Маттис [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 248 с.

359. Степанова З. А., Манаенков А. С. Влияние весенне-летних паводков на состояние лесных культур Волго-Ахтубинской поймы // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1982. – Вып. 3(39). – С. 53-56.

360. Степанчик В. В. Санитарное состояние культур сосны в условиях атмосферного загрязнения // Лесное хоз-во. – 1998. – № 1. – С. 28-29.

361. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года / К. Н. Кулик [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008.– 34 с.

362. Суворов В. И. Влияние метеорологических элементов на рост по диаметру сосны обыкновенной в чистых культурах различной густоты // Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1958. – Вып. 37. – С. 154-169.

363. Судаков А. В. Водный режим песчаных почв в ленточных

борах Прииртышья // Почвоведение. – 1961. – № 5. – С. 54-60.

364. Судаков А. В. Транспирация и транспирационный расход насаждений сосны на Нижнеднепровских песках // Ботан. Журнал. – 1961. – Т. 46. – № 12. – С. 1807-1811.

365. Судницын И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. – М.: МГУ, 1979. – 254 с.

366. Судницин И. И., Муромцев Н. А., Чан Конг-Тау. Психрометрический метод определения потенциала влаги в почве и растениях // Почвоведение. – 1971 – № 4. – С. 47-55.

367. Судницын И. И., Шеин Е. В., Гаель А. Г. Влияние концентрации корней сосны на поглощение почвенной влаги // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 9-17.

368. Сукачев В. Н. Идеи развития в фитоценологии / Избранные труды. – Л.: Наука, 1972. – Т. 1– С. 201-213.

369. Сукачев В. Н. Основы теории биогеоценологии. – Там же. – С. 228-241.

370. Сурмач Г. П. О распределении растительных формаций и серых лесных и черноземовидных почв лесостепи в связи с особенностями литологического строения лёссовидных пород // Почвоведение. – 1987. – № 1. – С. 7-16.

371. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1992. – 174 с.

372. Сухов И. В. Закономерности роста и продуктивности опытных культур сосны разной густоты в Воронежской области // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования. – Воронеж, 1993. – Секция 2-3. – С. 40-41.

373. Танфильев Г. И. Главнейшие черты растительности России Там же. – С. 509-648.

374. Танфильев Г. И. Пределы лесов на юге России. // Географические работы. – М.: Географиздат, 1953. – С. 227-348.

375. Танфильев Г. И. Доисторические степи Европейской России. – Там же. – С. 349-367.

376. Тимофеев В. П. Творческий дарвинизм – научная основа рубок ухода за лесом // Лесное хоз-во. – 1949. – № 1 – С. 72-78.

377. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. – Л.: Гослестехиздат, 1939. – 746 с.

378 . Тольский А. П. Материалы по изучению строения и жизнедеятельности корней сосны // Труды по лесному опытному делу в России. – СПб., 1907. – Вып. 3. – 118 с.

379. Тольский А. П. К вопросу о влиянии леса на влажность почвы в Бузулукском бору. // Труды по лесному опытному делу в

России. – СПб, 1911. – Вып. 33. – 39 с.

380. Тольский А. П. К вопросу о влиянии метеорологических условий на развитие сосны в Бузулукском бору // Труды по лесному опытному делу в России. – СПб, 1913. – Вып. 47. – 107 с.

381. Тольский А.П. Усыхание Бузулукского бора // Лесоведение и лесоводство. – 1926. – Вып. 2. – С. 16-27.

382. Томчук Р. И., Томчук Г. Н. Древесная зелень и ее использование в народном хозяйстве. – М.: Лесн. пром-ть, 1973. – 360 с.

383. Тот Ш. Проблемы и методы управления лесными площадями для оказания услуг в области отдыха // Доклад на VII Мировом лесном конгрессе. – Буэнос-Айрес: изд. секретариата конгресса, 1972. – С. 4-6.

384. Трещевская Э. И. Формирование двухчленных субстратов при выращивании культур сосны // Лесная рекультивация нарушенных земель. – Воронеж: ВГУ, 1991. – С. 140-144.

385. Трещевская Э. И. Формирование защитных лесных насаждений на техногенно нарушенных землях (на примере Курской магнитной аномалии): дис. … д. с.-х. н. – Воронеж, 2013. – 333 с.

386. Троян П. Экологическая биоклиматология (пер. с польск.). – М.: Высшая школа, 1988. – 208 с.

387. Улучшение сенокосов и пастбищ Казахстана / под ред. Жамбакина Ж. А. и Нурушева М. Н. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – 284 с.

388. Успенский В. В. Закономерности роста и продуктивность культур сосны (на примере ЦЧР): автореф. дис. … д. с.-х. н. – Л., 1991. – 35 с.

389. Федоров С. Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 264 с.

390. Фок А. Количество сыпучих песков в Европейской России // Лесной журнал. – 1893. – Вып. 5. – С. 743-750.

391. Франц Д., Торнли Д. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве (пер. с англ.). – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.

392. Хабаров А. В. Почвообразование на песках юго-востока Русской равнины. – М.: Наука, 1977. – 164 с.

393. Хлебникова Н. А., Маркова М. И. Транспирация молодых древесных растений в условиях Прикаспийской низменности // Труды Ин-та леса АН СССР, 1955. – С. 73-93.

394. Ходжаев А. А. Борьба с песчаными заносами на ж. д. – М.: Гос. трансп. ж.д. изд-во, 1947. – 103 с.

395. Цельникер Ю. Л. Зависимость показателей водного режима древесных растений от давления почвенной влаги // Почвоведение. – 1969. – № 2. – С. 39-74.

396. Цепляева А. Н. Структура основных типов леса Хреновско-

го бора по составу эфирного масла: автореф. дис. … к. с.-х. н. – Воронеж, 2002. – 23 с.

397. Чардымов Н. П. Чистые сосновые культуры на дюнных песках Бузулукского бора // Бузулукский бор. В 4-х т. – Т. 1. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – С. 143-212.

398. Чибисов Г. А., Минин Н. С. Фитомасса сосняков разной густоты после рубок // Лесное хоз-во. – 1997. – № 4. – С. 31-32.

399. Чора Г. Г. Влияние рубок ухода на запасы продуктивной влаги в сосновых полосах //Закрепление, облесение и сельскохозяйственное освоение песков: бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1979. – Вып. 2(30). – С. 33-35.

400. Шарафутдинов Р. Н., Черных В. Л. Продуктивность сосновых культур в зависимости от почвенно-грунтовых условий (на примере Марийского низменного Заволжья) // Лесное хоз-во Поволжья: межвуз сб. – Саратов, 1999. – Вып. 3. – С. 170-176.

401. Шаталов В. Г. О произрастании сосны обыкновенной в поймах рек // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: тез. Всерос. конф.– Воронеж, 1993. – Секция 1. – С. 115-117.

402. Швер Ц. А. Степень неравномерности осадков как показатель ландшафтной зональности // Труды ГГО им. Воейкова. – Л.: Гимиз, 1975. – С. 87-97.

403. Швер Ц. А. Закономерности распределения осадков на континентах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 285 с.

404. Шеппель П. А. Паводок и пойма.– Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1986. – 241 с.

405. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 302 с.

406. Шиманюк А. П. Строение корневых систем сосны в песках Подмосковья // Труды Ин-та леса АН СССР, 1950. – Т. 3. – С. 225-293.

407. Шинкаренко И. Б., Говорова Т. Т., Кравцова П. С. Влияние густоты сосновых культур на их продуктивность в условиях пристепных боров Украины // Лесоводство и агролесомелиорация: респуб. межвед. сб. – Киев, 1976. – Вып. 45. – С. 12-19.

408. Шуманов Е. А. Усыхание молодняков в Теллермановском лесу // Лесное хоз-во. – 1953. – № 6. – С. 91.

409. Шурыгин С. Г. Задержание осадков на кронах соснового и елово-лиственных осушенных древостоев // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула, 2001. – С. 462-464.

410. Эвальд Э. А. О генезисе буроземов и близких к ним бурых лесных почв // Почвоведение. – 1980. – № 4. – С. 46-58.

411. Юрковский А. А. Влияние рубок ухода на водный режим и фитомассу пристепных сосновых насаждений: автореф. дис. … с.-х. н. –

Харьков, 1978. – 18 с.

412. Юрченко В. В., Манаенков А. С. Дифференцированная оценка уровня пожарной опасности в сосняках засушливой зоны // Лесное хоз-во. – 2009. – № 3. – С. 35-37.

413. Язан П. Г. Терско-Кумские пески, их закрепление и использование в сельском и лесном хозяйстве. – Грозный: Грозненск. кн. изд-во, 1955. – 78 с.

414. Якубов Т. Ф. Песчаные пустыни и полупустыни Северного Прикаспия. – М.: АН СССР, 1955. – 532 с.

415. Якшина А. М., Гаель А. Г., Кондратьев Н. П. Результаты облесения Урдинских песков в полупустынном Заволжье // Повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий Прикаспия методами лесомелиорации: сб. науч. тр. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1986. – Вып. 3(89). – С. 27-44.

416. Ящерицина Л. А. Охвоение деревьев и продуктивность хвои в культурах сосны на Арчединских песках // Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1974. – Вып. 15(69). – С. 40-42.

417. Ящерицына Л. А. Фитомасса и ее связь с устойчивостью сосны обыкновенной. – Там же. – С. 43-44.

418. Ящерицина Л. А. Рост и состояние сосны обыкновенной в полезащитных лесных полосах при изреживании и подчистке в молодом возрасте // Бюл. ВНИАЛМИ, 1982. – Вып. 3(39). – С. 29-31.

419. Ящерицина Л. А. Современные рубки ухода по запасам транспирационной массы как способ повышения засухоустойчивости сосны.– Волгоград: ЦНТИ, 1985. – 4 с.

420. Baumgartner Von A. Entwicklungslinien der forstlichen Meteorologie // Forst-Wissenschaftliches Lentralbla. – 1967 – № 3. – S. 156-178.

421. Bierheizen J. F. Some observations on the relation between transpiration and soil moisture //Netherl. J. Agric. Scien. – 1958. – Vol. – 6. – № 2. – P. 94-98.

422. Costin E. Rerimul de umiditade, a nisipurilor litorate din R.P.R. si stabirea unei metode pentru determinarea silvotehnicii pe bale ecologice // Revista padurilor. – 1961. – № 3.

423. Finer Luna, Laine Yukka. Root dynamics at drained peatland sites of different fertility in southern Finland // Plant and Soil. – 1998. – № 1. – P. 27-36.

424. Grodwski W. Threat to mountain forests in Poland by bark beetles. Anautline. Wartszawa, 1997. – P. 167-172.

425. Kiki M. C Вилив інтенсивності рубок догляду в соснових культурах на іх ріст і продуктивність у різних едафічних умовах Ізюмского пристепнового бору // Лісівництво і агролісомеліорация. – Харьків, 2000. – Вып. 98. – С. 120-124.

426. Löf M. Establishment and growth in seedlings of Fagus sylvatica and Quercus robur: Sylvatica of interference from herbaceous vegetation // Can. J. Forest Res. – 2000. – № 6. – P. 855-864.

427. Newman E. I. Root and soil-water relations // The Plant Root and its Environment, ed. Carson E. W. – Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. – P. 363-440.

428. Oberhuber W., Kofler W. Effects of site related environmental stresses on radial growth of Scots pine stands Pinus silvestris L. // Pap. 4th EVROSILVA WORKSOP, Gozd Martuljek, Sept.9-12, 1999. – Phuton, 2000. – № 4. – P. 149-152.

429. Ogata E. Y., Richards Z. A., Eyardner W. R. Transpiration of alfalfa determined from soil water content changes // Soil Sci. 1960. – № 89. – P. 179-182.

430. Parviainen J. Qualität und Qualitätsbeurteilung von Forstpflanzen // Forstpflanzer – Forst – Samen. – 1982. – № 22. – S. 30-42.

431. Patterus of water uptake and root distribution of soybeans (Glycine max.) in the presence of a water table-Agron / D. C. Reicosky, 1972. – J. 64. – P. 292-297.

432. Pereira H. C. Field measurements of water use irrigation control in Kenia coffe // J. agric. Sci. – 1957. – № 49. – P. 459-466.

433. Penman H. Z. Evaporation from forests: a comparison of theory and observation // Forest Hydrology. – Oxford – London – Edinburgh – New Jork – Toronto – Sidney – Paris – Braunschweig: Pergamon Press. – 1967. – P. 218-235.

434. Plamboeck A. H., Yrip H, Nygren V. A hydrological tracer study of water uptake depth in a Scots pine forest under two different water regimes // Occologia, 1999. – 119, № 3. – P. 452-460.

435. Richards Z. A. and Wadleigh C.H. Soil phisical conditions and plant growth. – New York. – 1952. – Ch. 3. – 213 p.

436. Roberts J. Forest transpiration: a conservative hydrological process // J. Hydrol. – 1993. – № 1-4. – P. 133-141.

437. Slatyer R. O. Plant-water relationships. – London: Academic Press, 1967. – 366 p.

438. Turčani M., Novothi J. Bark beetles as injurious factor in protected areas of the Slovac Republic. Wartszawa, 1997. – P. 189–194.

439. Longleaf pine photosynthetik response to soil resource availability and elevated / ђ. B. Runion // Y. Environ. Qual. – 1999. – 28, № 3. – C. 880-887.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Латинские названия основных видов растений и животных, упомянутых в тексте

Растения	
1	2
Абрикос	*Armeniaca vulgaris* Lam.
Аморфа	*Amórpha fruticósa* L.
Амарант	*Amaranthus* L.
Арония	*Arónia melanocárpa* (*Michx.)* Elliott
Астрагал лисий	*Astragalus vulpinus* Willd.
Белокрыльник	*Calla palustris* L.
Бересклет	*Euonymus* L.
Боярышник однопестичный	*Crataegus monogyna* L.
Боярышник кроваво-красный	*Crataégus sanguínea* Pall.
Береза белая	*Betula alba* L.
Бирючина	*Ligustrum* L.
Бузина	*Sambucus* L.
Бурачок пустынный	*Alyssum desertorum* Stapf.
Вахта	*Menyanthes trifoliata* L.
Вейник наземный	*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth
Верблюдка	*Corispermum hyssopifolium* L.
Вишня степная	*Cerasus fruticosa* Pall.
Волоснец ситниковый	*Pilostemon iljin*
Вяз приземистый	*Ulmus pumila* L.
Вяз обыкновенный	*Ulmus laevis* Pall.
Гвоздика изменчивая	*Dianthus polymorphus* Bieb.
Груша	*Pyrus communis* L.
Гулявник	*Descurainia Sofia* L.
Дереза обыкновенная	*Lycium halimifolium* Mill.
Джузгун безлистный	*Calligonum aphyllum* Mill.
Донник белый	*Melilotus albus* Desp.
Донник волжский	*Melilotus wolgicus* Poir.
Дуб черешчатый	*Quercus robur* L.
Дурнишник колючий	*Xanthium spinosum* L.
Ежа сборная	*Dactylis glomerata* Exs.
Жимолость	*Lonicera* L.
Житняк (пырей гребневидный)	*Agropyrum pectiniforme* R. Et Sch.
Житняк сибирский	*Agropyrum fragile (Roih)* P. Candargy
Ива белая	*Salix alba* L.
Ива каспийская	*Salix caspica* Pall.
Ива ломкая	*Salix fragilis* L.
Ива розмаринолистная	*Salix rosmarinipholia* Pall.
Калина обыкновенная	*Viburnum opulus* L.
Калина гордовина	*Viburnum lantana* L.
Камыш	*Scirpus* L.
Карагана	*Caragana arborescens* Litu.
Кермек	*Limonium* Mill.

1	2
Кизил	*Cornus* L.
Кипрей	*Epilobium angustipholium*
Клевер красный	*Trifolium sativum* Grome
Клен татарский	*Acer tataricum* L.
Клен ясенелистный	*Acer negundo* L.
Ковыль волосатик	*Stipa capillata* L.
Ковыль кавказский	*Stipa caucasica* Schmalh.
Ковыль Лессинга	*Stipa lessingiana* Trin.
Козлобородник	*Tragopogon pratensis* L.
Колосняк гигантский (кияк)	*Elymus giganteus* Vahl.
Колючка верблюжья	*Alhagi camelorum* Fisch.
Костер безостый	*Bromus inermis* Leyss.
Костер кровельный	*Bromus tectorum* L.
Костер растопыренный	*Bromus sguarrosus* L.
Крушина	*Frangula alnus* MILL.
Кумарчик песчаный	*Agriophyllum arenarium* Bieb ex C.A. Mey
Лапчатка песчаная	*Potentilla arenaria* Borkh.
Лещина обыкновенная	*Corylus avellana* L.
Липучка ежевидная	*Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort
Лох узколистный	*Elaeagnus angustifolia* L.
Лох серебристый	*Elaeagnus argentea* Pursh.
Люцерна голубая	*Medicago coerulea* Less. ex Ledeb
Люцерна желтая	*Medicago lupulina* L.
Могильник (гармала)	*Peganum harmala* L.
Можжевельник казацкий (арча)	*Juniperus sabina* L.
Можжевельник Облонга	*Juniperus Oblonga*
Можжевельник	*Juniperus communis* L.
Молокан	*Mulgedium tataricum*
Молочай Сегье	*Euphorbia sequieriana* Neck.
Мортук восточный	*Eremopyrum orientale* J. et Sp.
Мятлик луковичный	*Poa bulbosa* L.
Облепиха	*Hippophae* L.
Овсяница восточная	*Festuca orientalis* Kerner
Овсяница луговая	*Festuca pratensis* Hundst
Овсяница тростниковая	*Festuca arundinacea* Schreb
Овсяница валлисская (типчак)	*Festuca valesiaca* SCHLEICH. EX GAUDIN
Ольха черная	*Alnus glutinosa* Gaertn.
Осина	*Populus tremula* L.
Осока колхидская	*Carex colchica* Gay.
Осокорь	*Populus nigra* L.
Осот розовый	*Cirsium arvense* (L.) SCOP.
Песчаная акация	*Ammodendron* FISCH. EX DC.
Полынь австрийская	*Artemisia austriaca* Jacq.
Полынь белая	*Artemisia glauca* Pall.

1	2
Полынь песчаная	*Artemisia arenaria* DC.
Полынь черная (солончаковая)	*Artemisia salina* Willd.
Прутняк	*Cohia prostrata* L.
Пырей сизый	*Agropyrum elongatum pruiniferum* (Nevski)
Пырей удлиненный солончаковый	*Agropyrum elongatum* (Host.)
Ракитник днепровский	*Cytisus borysthenicus* Grun.
Ракитник русский	*Cytisus ruthenicus* Fisch.
Робиния псевдоакация	*Robinia pseudoacacia* L.
Рогач песчаный (эбелек)	*Ceratocarpus arenarius* L.
Рогоз	*Typha* L.
Рябина обыкновенная	*Sorbus aucuparia* L.
Саксаул черный	*Haloxylon aphyllum* Minkw.
Скумпия	*Cotinus* Mill.
Смолевка средняя	*Silene media* Kleop.
Смородина золотая	*Ribes aureum* Purch.
Солодка	*Glycyrrhiza* L.
Солянка русская	*Salsola ruthenica* Iljin.
Сосна обыкновенная	*Pinus silvestris* L.
Сосна крымская	*Pinus pallasiana* D. Don.
Стрелолист	*Sagittaria* L.
Таволга зверобоелистная	*Spirea hypericifolia* L.
Тамарикс ветвистый	*Tamarix ramosissima* Redeb.
Тамарикс рыхлый	*Tamarix laxa* Willd.
Терескен серый	*Eurotia ceratoides* C. A. Mey.
Терн	*Prunus spinosa* L.
Типчак	*Festuca sulkata* Hack.
Тонконог	*Koeleria glauca* DC.
Тополь бальзамический	*Populus balsamifera* L.
Тополь белый	*Populus alba* L.
Тростник	*Phragmites communis* ADANS
Тысячелистник Гербера	*Achillea Gerberi* Bieb.
Тюльпан	*Tulipa* L.
Хвойник двухколосковый	*Ephedra distachya* L.
Хвощ	*Equisetum* L.
Хеномелес	*Chaenomeles japonica* (THUNB.) LINDL. EX SPACH
Цмин песчаный	*Helichrysum arenarium* Moench.
Чабрец Палласа	*Thymus pallasianus* H.Br.
Черемуха	*Prunus padus* L.
Чингиль серебристый	*Halimodendron halodendron* Pall.
Шиповник	*Rosa* L.
Шелковица белая	*Morus alba* L.
Шелковица черная	*Morus nigra* L.
Шелюга белая	*Salix daphnoides* Vill.

1	2
Юринея	*Jurinea* Cass.
Эриантера	*Erianthera* Beuth.
Яблоня	*Malus silvestris* Mill., L.
Ясень	*Fráxinus excélsior* L.
Животные	
Европейский лось	*Alces alces* L.
Европейская лань	*Dama dama* L.
Благородный олень	*Cervus elaphus* L.
Косуля	*Capreolus capreolus* L.
Кабан	*Sus scrofa* L.
Сайгак	*Saiga tatarica* L.
Заяц-русак	*Lepus europaeus* Pall.
Заяц-толай	*Lepus tolai* Pall.
Барсук	*Meles* L.
Байбак	*Marmota bobak* Stat. Müller
Рыжая лисица	*Vulpes vulpes* L.
Корсак	*Vulpes corsac* L.
Степной хорь	*Mustela eversmanni* LESSON
Фазан	*Phasianus colchicus* L.
Стрепет	*Tetrax tetrax* L.
Серая куропатка	*Perdix perdix* L.
Обыкновенный перепел	*Coturnix coturnix* L.
Обыкновенная горлица	*Streptopelia turtur* L.

Приложение 2

Содержание физической глины и НВ почв на Медведицких песках (по данным А. Г. Гаеля [85])

№№ п/п	Содержание ФГ, %	НВ, %	№№ п/п	Содержание ФГ, %	НВ, %
1	3,5	4,5	15	7,0	7,0
2	3,0	4,0	16	5,0	5,0
3	1,0	3,5	17	15,0	12,0
4	6,0	5,0	18	18,0	13,0
5	5,0	4,5	19	24,0	16,0
6	3,0	4,2	20	9,0	10,0
7	2,0	4,0	21	7,0	6,0
8	8,0	6,0	22	20,0	14,0
9	7,0	5,0	23	28,0	15,0
10	4,0	5,0	24	30,0	19,0
11	3,0	4,0	25	25,0	19,0
12	10,0	9,0	26	25,0	20,0
13	12,0	8,0	27	25,0	21,0
14	18,0	12,0	28	25,0	20,0

Приложение 3

Влажность завядания легких почвогрунтов засушливой зоны различного гранулометрического состава (по литературным данным*)

№№ п/п	Содержание ФГ, %	Влажность завядания, %	№№ п/п	Содержание ФГ, %	Влажность завядания, %
1	4,0	0,5	16	40,0	13,0
2	5,0	0,6	17	50,0	15,0
3	5,5	0,7	18	1,8	0,3
4	10,0	1,5	19	8,8	2,3
5	11,0	2,2	20	8,1	2,1
6	12,0	2,5	21	13,0	1,2
7	12,0	3,0	22	6,3	1,6
8	13,0	3,5	23	4,1	1,5
9	14,0	4,0	24	26,5	4,0
10	15,0	5.0	25	2,0	0,7
11	4,0	0,5	26	2,4	0,7
12	5,0	0,6	27	3,0	0,9
13	6,0	0,8	28	7,1	1,2
14	20,0	7,0	29	8,2	1,3
15	30,0	10,0	30	12,4	2,1

**№ 1-18 – по А. Г. Гаелю [84, 87], № 19 и 20 – по А. С. Манаенкову [201], № 21-24 – по И. С. Матюку [240], № 25-30 – по Н. А. Воронкову [62].*

Приложение 4

Многолетняя норма осадков и коэффициент вариации их годовых сумм (С) на юге Русской равнины (по литературным данным*)

№№ п/п	Осадки, мм/год	С, %	№№ п/п	Осадки, мм/год	С, %
1	299	28,0	11	345	29,5
2	382	27,0	12	328	25,7
3	470	22,0	13	193	37,5
4	470	23,0	14	431	23,0
5	533	17,3	15	388	23,0
6	524	18,0	16	438	23,6
7	460	22,8	17	651	11,0
8	438	19,2	18	558	16,0
9	427	24,2	19	435	22,0
10	380	28,3	20	249	33,0

**№ 1-4 – по Ф. З. Батталову [62], № 5-13 – [150], № 14-15 – [3123], № 16 – [181], № 17-20 – [403].*

Приложение 5

Продуктивная влага осадков холодного периода в почвогрунте под сомкнутыми насаждениями сосны на юге ЕТР, мм

Запас сырой хвои, т/га	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Продуктивная влагоемкость 2-метрового слоя, мм	Поступление продуктивной влаги, мм			Гравитационный сток влаги (+), дефицит насыщения (-), мм			Продуктивное влагонасыщение 2-метрового слоя, мм		
			мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	сред.	макс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Норма осадков 300 мм/год											
7,5	3	115	39	97	155	–76	–18	40	39	97	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–95	–37	21	39	97	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–113	–55	3	39	97	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–141	–83	–25	39	97	155
	15	226	- " -	- " -	- " -	–187	–129	–71	39	97	155
	20	272	- " -	- " -	- " -	–233	–175	–117	39	97	155
	25	316	- " -	- " -	- " -	–277	219	161	39	97	155
	30	365	- " -	- " -	- " -	–326	–268	–210	39	97	155
10	3	115	38	96	154	–77	–19	39	38	96	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–96	–38	20	38	96	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–114	–56	2	38	96	152-
	10-30	180-365	- " -	- " -	- " -	–142…–327	–84…–269	–25…–211	38	96	154
15	3	115	37	93	149	–78	–22	34	37	93	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–97	–41	15	37	93	134-
	7-30	152-365	- " -	- " -	- " -	–115…–327	–59…–272	–3…216	37	93	149
20	3	115	37	92	147	–78	–23	32	37	92	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–97	–42	13	37	92	134-
	7…30	152-365	- " -	- " -	- " -	–115…–327	–60…–273	–5…218	37	92	147
25	3	115	36	90	144	–79	–25	29	36	90	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–98	–44	10	36	90	134-
	7-30	152-65	- " -	- " -	- " -	–116...–328	–62...75	–8...221	36	90	144

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Норма осадков 400 мм/год											
7.5	3	115	62	124	186	–53	9	71	62	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–72	–10	52	62	124	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–90	–28	34	62	124	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–118	–56	6	62	124	180-
	15-30	226-365	- " -	- " -	- " -	–164…–303	–102…–241	–40…–179	62	124	186
10	3	115	61	122	183	–54	7	68	61	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–73	–12	49	61	122	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–91	–30	31	61	122	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–119	–58	3	61	122	180-
	15-30	226-365	- " -	- " -	- " -	–165…–304	-114…-243	–43…–182	61	122	183
15	3	115	60	120	180	–57	5	65	60	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–74	–14	46	60	120	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–92	–32	28	60	120	152-
	10-30	180-365	- " -	- " -	- " -	–120…–305	–60…–245	0…–185	60	120	180
20	3	115	58	117	176	–57	2	60	58	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–76	–17	42	58	117	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–94	–35	24	58	117	152-
	10-30	180-365	- " -	- " -	- " -	–122…–307	–63…–248	–4…–189	58	117	176
25	3	115	57	114	171	–58	–1	56	57	114	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–77	–20	37	57	114	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–95	–38	19	57	114	152-
	10-30	180...65	- " -	- " -	- " -	–123…–308	–66…–251	–9…–194	57	114	171

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Норма осадков 500 мм/год											
7,5	3	115	89	146	203	–26	31	88	89	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–45	12	69	89	134-	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–63	–6	51	89	146	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–91	–34	23	89	146	180-
	15-30	226-365	- " -	- " -	- " -	–127…–276	–80…–219	–23…–162	89	146	203
10	3	115	87	143	199	–28	28	84	87	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–47	9	65	87	134-	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–65	–9	46	87	143	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–93	-36	19	87	143	180-
	15-30	226-365	- " -	- " -	- " -	–129…–278	–83…–222	–27…–166	87	143	199
15	3	115	85	140	195	–30	25	80	85	115-	115-
	5	134	- " -	- " -	- " -	–49	16	61	85	134-	134-
	7	152	- " -	- " -	- " -	–67	–11	43	85	140	152-
	10	180	- " -	- " -	- " -	–95	–40	15	85	140	180-
	15-30	226-365	- " -	- " -	- " -	–131…–280	–86…–225	–31…–170	85	140	195

Примечание. 115-134- и т. д. – запас почвенной влаги за минусом гравитационного стока.

Приложение 6

Гравитационный сток продуктивной влаги осадков первых 2-х месяцев вегетационного периода из верхнего 2-метрового слоя почвогрунта в сомкнутых насаждениях сосны на юге ЕТР

Осадки, мм/год/ запас сырой хвои, т/га	Содержание ФГ в 2 метровом слое, т/га	Продуктивная влагоемкость 2-метрового слоя, мм	Дефицит (–) продуктивного влагонасыщения 2-метрового слоя осадками холодного периода, мм			Продуктивная влага осадков 2-х первых мес. вегетационного периода, мм			Потребление влаги насаждением в первые 2 месяца, мм	Гравитационный сток продуктивной влаги из 2-метрового слоя, мм		
			макс.	средн.	мин.	мин.	средн.	макс.		мин.	средн.	макс.
300/7,5	3	115	–76	–18	0	11	17	45	68	0	0	0
400/7,5	3	115	–53	0	0	21	42	63	68	0	0	0
	5	134	–72	–10	0	- " -	- " -	- " -	63	0	0	0
	7	152	–90	–28	0	- " -	- " -	- " -	59	0	0	4
	10	180	–118	–56	0	- " -	- " -	- " -	56	0	0	7
	15	226	–164	–102	–40	- " -	- " -	- " -	52	0	0	0
500/7,5	3	115	–26	0	0	31	51	71	68	0	0	3
	5	134	–45	0	0	- " -	- " -	- " -	63	0	0	8
	7	152	–63	0	0	- " -	- " -	- " -	59	0	0	12
	10	180	–91	–34	0	- " -	- " -	- " -	56	0	0	15
	15	226	–127	–80	–23	- " -	- " -	- " -	52	0	0	0
600/7,5	3	115	0	0	0	52	72	90	68	0	4	22
	5	134	9	0	0	- " -	- " -	- " -	63	0	9	27
	7	152	–27	0	0	- " -	- " -	- " -	59	0	13	31
	10	180	–55	–6	0	- " -	- " -	- " -	56	0	10	34
	15	226	–101	–52	–3	- " -	- " -	- " -	25	0	0	35
	20	272	–147	–98	–49	- " -	- " -	- " -	49	0	0	0
600/10	3	115	0	0	0	50	70	90	91	0	0	0
	5	134	–10	0	0	- " -	- " -	- " -	84	0	0	6
	7	152	–28	0	0	- " -	- " -	- " -	79	0	0	11
	10	180	–56	–8	0	- " -	- " -	- " -	74	0	0	16
	15	226	–102	–56	–6	- " -	- " -	- " -	70	0	0	14
	20	272	–148	–100	–52	- " -	- " -	- " -	65	0	0	0

Приложение 7

Продуктивная влага осадков вегетационного периода в 2-метровом слое почвогрунта под сомкнутыми насаждениях сосны на юге Русской равнины

Запас сырой хвои, т/га	Содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Поступление продуктивной влаги осадков вегетационного периода, мм			Гравитационный сток продуктивной влаги осадков вегетационного периода, мм			Продуктивное влагонасыщение 2-метрового слоя почвогрунта, мм		
		мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.
Норма осадков 300 мм/год										
7,5	3-30	43	108	173	0	0	0	43	108	173
10,0	3-30	42	104	166	0	0	0	42	104	166
15,0	3-30	39	97	155	0	0	0	39	97	155
20,0	3-30	36	90	144	0	0	0	36	90	144
25,0	3-30	33	88	133	0	0	0	33	88	133
Норма осадков 400 мм/год										
7,5	3	72	145	217	0	0	0	72	145	217
	5	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	72	145	217
	7	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	4	72	145	213-
	10	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	7	72	145	210-
	15-30	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	0	72	145	217
10,0	3-30	70	140	210	0	0	0	70	140	210
15,0	3-30	65	131	196	0	0	0	65	131	196
20,0	3-30	60	121	182	0	0	0	60	121	82
25,0	3-30	56	112	168	0	0	0	56	112	168
Норма осадков 500 мм/год										
7,5	3	113	185	257	0	0	3	113	185	254-
	5	- " -	- " -	- " -	0	0	8	113	185	249-
	7	- " -	- " -	- " -	0	0	12	113	185	245-
	10	- " -	- " -	- " -	0	0	15	113	185	242-
	15-30	- " -	- " -	- " -	0	0	0	113	185	257
10,0	3-30	109	179	249	0	0	0	109	179	249
15,0	3-30	102	167	232	0	0	0	102	167	232
20,0	3-30	95	155	215	0	0	0	95	155	215
25,0	3-30	87	143	199	0	0	0	87	143	199
Норма осадков 600 мм/год										
7,5	3	159	221	283	0	4	22	159	217	261-
	5	- " -	- " -	- " -	0	9	27	159	212	256-
	7	- " -	- " -	- " -	0	13	31	159	208	252-
	10	- " -	- " -	- " -	0	10	34	159	211	249-
	15	- " -	- " -	- " -	0	0	35	159	221	248-
	20-30	- " -	- " -	- " -	0	0	0	159	221	283
10	3	153	213	273	0	0	0	153	213	273
	5	- " -	- " -	- " -	0	0	6	153	213	267-
	7	- " -	- " -	- " -	0	0	11	153	213	262-
	10	- " -	- " -	- " -	0	0	16	153	213	257-
	15	- " -	- " -	- " -	0	0	14	153	213	259-
	20-30	- " -	- " -	- " -	0	0	0	153	213	273
15	3-30	143	199	255	0	0	0	143	199	255
20	3-30	133	185	237	0	0	0	133	185	237
25	3-30	122	170	218	0	0	0	122	170	218

Примечание. 213- и т. д. – за минусом гравитационного стока.

Приложение 8

Продуктивное влагонасыщение (*Пр.вн*, мм) 2-метрового слоя почвогрунта осадками в сомкнутых насаждениях сосны на юге Русской равнины

Запас сырой хвои, т/га	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Норма осадков, мм/год											
		300			400			500			600		
		минимальное	среднее	максимальное	минимальное	среднее	максимальное	минимальное	среднее	максимальное	минимальное	среднее	максимальное
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7,5	3	82	205	288-	134	260-	332-	202	300-	369=	274-	332=	376=
	5	82	205	307-	134	269	351-	202	319-	383=	284	346=	390=
	7	82	205	325-	134	269	365=	202	331	397=	284	360=	404=
	10	82	205	328	134	269	390=	202	331	422=	284	385-л	430=
	15	82	205	328	134	269	403	202	331	460	284	395	471-л
	20-30	82	205	328	134	269	403	202	331	460	284	395	506
10,0	3	80	200	281-	131	255-	325-	196	294-	364-	268-	328-	388=
	5	80	200	300-	131	262	344-	196	313-	383-	277	347-	401=
	7	80	200	318-	131	262	362-	196	322	401-	277	365-	414=
	10	80	200	320	131	262	390-	196	322	429-	277	385	437=
	15	80	200	320	131	262	393	196	322	448	277	385	479-л
	20-30	80	200	320	131	262	393	196	322	448	277	385	493
15,0	3	76	190	270-	125	246-	311-	187	282-	347-	258-	314-	370-
	5	76	190	289-	125	251	330-	187	301-	366-	264	333-	389-
	7	76	190	304	125	251	348-	187	307	374-	264	351-	407-
	10	76	190	304	125	251	376	187	307	412-	264	367	435-
	15-30	76	190	304	125	251	376	187	307	427	264	367	470
	3	73	182	259-	118	236-	297-	178	270-	330-	248-	300-	352-
	5	73	182	278-	118	238	316-	178	289-	349-	251	319-	371-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20,0	7	73	182	291	118	238	334-	178	291	367-	251	337-	389-
	10	73	182	291	118	238	358	178	291	395-	251	349	417-
	15-30	73	182	291	118	238	358	178	291	404	251	349	447
	3	69	178	248-	113	226	283-	168	258-	314-	236	285-	333-
	5	69	178	267-	113	226	302-	168	276	333-	236	304-	352-
25,0	7	69	178	277	113	226	320-	168	276	351-	236	322-	370-
	10	69	178	277	113	226	339	168	276	379-	236	329	398-
	15-30	69	178	277	113	226	339	168	276	384	236	329	422

Примечание. - сток зимних осадков; = сток зимних и летних осадков; -л -сток летних осадков.

Приложение 9

Эффективное влагонасыщение (*Эвн = Пр. вн. – К$_{ист}$*, мм) осадками 2-метрового слоя почвогрунта в сомкнутых насаждениях сосны на юге Русской равнины

Запас сырой хвои, т/га	Средневзвешенное содержание ФГв 2-метровом слое, %	Норма осадков, мм/год											
		300			400			500			600		
		мини-мальное	среднее	макси-мальное	мини-мальное	среднее	макси-мальное	мини-мальное	среднее	макси-мальное	мини-мальное	среднее	макси-мальное
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7.5	3	66	164	230	107	208	266	162	240	295	219	266	301
	5	67	168	252	110	221	288	166	262	314	233	284	320
	7	68	171	272	112	225	309	168	276	331	237	301	337
	10	70	174	279	114	228	337	170	281	359	242	327	366
	15	73	182	292	119	239	359	180	295	409	254	352	419
	20	76	191	305	124	250	376	188	308	428	265	367	471
	25	80	199	318	130	261	392	192	320	446	276	383	491
	30	82	205	328	134	269	403	202	331	460	284	395	506
10,0	3	64	160	225	105	204	260	157	235	291	214	262	310
	5	66	164	246	107	215	282	161	257	314	227	285	329
	7	67	167	266	109	219	303	163	269	335	231	305	346
	10	68	170	272	111	223	335	168	274	365	235	327	371
	15	71	178	285	116	234	352	174	287	399	247	343	426
	20	74	186	298	121	243	365	182	299	416	258	358	458
	25	77	194	311	127	254	381	191	312	435	269	374	478
	30	80	200	320	131	262	393	196	322	448	277	385	493

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15,0	3	61	152	216	100	197	249	150	226	278	206	251	296
	5	62	156	237	102	206	271	154	247	300	216	273	319
	7	63	159	254	104	210	291	156	256	312	220	293	340
	10	65	161	258	106	213	320	160	261	350	225	312	370
	15	67	169	271	111	224	337	167	274	380	235	327	419
	20	70	176	283	117	234	351	173	286	397	245	341	437
	25	74	184	295	121	243	365	182	298	414	256	356	456
	30	76	190	304	125	251	376	187	307	427	264	367	476
20,0	3	58	146	207	94	189	238	142	216	264	198	240	282
	5	60	149	228	98	195	259	146	237	286	206	262	304
	7	61	152	243	99	199	279	149	243	306	210	281	325
	10	62	155	248	101	202	304	151	247	336	213	297	354
	15	65	162	259	106	212	318	158	259	360	224	311	398
	20	69	170	271	110	222	334	166	271	376	234	325	416
	25	70	176	282	114	230	345	173	282	392	243	338	433
	30	73	182	291	118	238	358	178	291	404	251	349	447
25,0	3	55	142	198	90	181	226	134	206	251	189	228	266
	5	57	146	219	92	185	248	138	226	273	193	249	289
	7	58	149	231	94	189	267	140	230	293	198	269	309
	10	60	151	236	96	192	289	143	238	322	202	280	338
	15	62	158	246	100	201	302	150	246	342	211	293	376
	20	65	166	257	105	210	315	156	257	357	221	306	391
	25	67	173	268	109	220	331	162	268	372	229	318	407
	30	69	178	277	113	226	339	168	276	384	236	329	422

Приложение 10

Скорректированные значения годового коэффициента транспирационной активности (*Кт.а.*) насаждений сосны на юге Русской равнины по фактору продолжительности вегетационного периода в расчете на сырую хвою

Норма осадков, мм/год	Продолжительность вегетационного периода с температурой воздуха выше 5°С, дней	*Кт.а.* при средневзвешенном содержании ФГ (%) в 2-метровом слое почвогрунта							
		3	5	7	10	15	20	25	30
300	205	207	191	180	170	159	151	146	142
350	198	200	184	174	164	153	146	141	137
400	196	198	182	172	162	151	144	139	135
500	179	181	166	157	148	138	132	127	124
600	167	169	155	147	138	129	123	119	116

Приложение 11

Нормальная физиологическая потребность во влаге (*Фп, мм/год*) сомкнутых насаждений сосны на юге Русской равнины

Запас сырой хвои в насаждении, т/га	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое почвогрунта, %	Норма осадков, мм / год			
		300	400	500	600
7,5	3	155	149	136	127
	5	143	137	125	116
	7	135	129	118	110
	10	128	122	111	104
	15	119	113	104	97
	20	113	108	99	92
	25	110	104	95	89
	30	107	101	93	87
10	3	207	198	181	169
	5	191	182	166	155
	7	180	172	157	147
	10	170	162	148	138
	15	159	151	138	129
	20	151	144	132	123
	25	146	139	127	119
	30	142	135	124	116
15	3	311	297	272	254
	5	287	273	249	233
	7	270	258	236	221
	10	255	243	222	207
	15	239	227	207	194
	20	227	216	198	185
	25	219	209	191	179
	30	213	203	186	174
20	3	414	396	362	338
	5	382	364	332	310
	7	360	344	314	294
	10	340	324	296	276
	15	318	302	276	258
	20	302	288	264	246
	25	292	278	254	238
	30	284	270	248	232
25	3	518	495	453	423
	5	478	455	415	388
	7	450	430	393	368
	10	425	405	370	345
	15	398	378	345	323
	20	378	360	330	308
	25	365	348	318	298
	30	355	338	310	290

Приложение 12

Наиболее вероятная (в средние годы), допустимая (по критерию 50% влагообеспеченности в острозасушливые годы) и возможная (после серии влажных лет) масса сырой хвои (т/га/% к допустимой) в сомкнутых насаждениях сосны "кризисного возраста" на автоморфных почвогрунтах юга Русской равнины

Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое	Норма осадков, мм/год											
	300			400			500			600		
	вероятная	допустимая	возможная	вероятная	допустимая	возможная	вероятная	допустимая	возможная	вероятная	допустимая	возможная
3	7,8/121,8	6,4/100	11,1/173,4	10,3/96,3	10,7/100	13,1/122,7	12,8/76,6	16,7/100	15,6/93,4	14,9/60,1	24,7/100	17,5/70,9
5	8,7/122,5	7,1/100	13,2/185,9	11,6/98,3	11,8/100	15,3/129,4	14,9/80,5	18,5/100	18,1/97,8	17,5/63,3	27,6/100	20,0/72,5
7	9,4/123,7	7,6/100	14,9/195,9	12,6/100	12,6/100	17,4/183,1	16,1/81,1	19,9/100	19,8/99,5	19,5/66,7	29,5/100	22,5/76,3
10	10,2/124,4	8,2/100	16,2/197,3	13,6/100	13,6/100	20,1/147,8	17,4/81,5	21,4/100	23,9/111,7	21,4/67,7	31,6/100	24,9/78,8
15	11,3/124,2	9,1/100	17,9/197,0	15,0/100	15,0/100	22,3/148,4	19,2/81,7	23,5/100	26,4/112,2	23,6/69,3	34,0/100	28,7/84,4
20	12,2/124,5	9,8/100	19,7/201,0	16,3/100	16,3/100	24,4/149,5	20,7/82.1	25,2/100	28,5/113	25,2/69,2	36,4/100	31,8/87,3
25	13,1/124,8	10,5/100	21,3/202,9	17,1/100,7	17,1/100	25,7/150,3	22,0/82.4	26,7/100	30,8/115.4	26,7/69,4	38,5/100	34,2/88,8
30	13,8/125,5	11,0/100	22,4/203,6	18,0/100,6	17,9/100	27,0/151,0	22,7/82,5	27,5/100	31,8/115.6	28,4/70,0	40,2/100	36,4/90,5

Приложение 13

Норматив безопасного в аномальную засуху водопотребления (*Нвп)* сомкнутыми насаждениями сосны при атмосферном водном питании на юге Русской равнины

Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Норма осадков, мм/год			
	300	400	500	600
	Норматив водопотребления (Нвп), мм / % от нормы осадков			
3	132/41,1	212/53,0	302/60,5	417/70
5	136/45,2	215/53,7	307/61,4	428/71,3
7	137/45,6	217/54,2	312/62,5	434/72,3
10	139/46,5	220/55,1	317/63,3	436/72,7
15	145/48,2	223/55,9	324/64,9	439/73,1
20	148/49,3	235/58,7	333/66,5	448/74,6
25	153/51,1	238/59,4	339/67,8	458/76,4
30	156/52,1	241/60,3	341/68,2	466/77,7

Приложение 14

Потенциальная лесопроизводительность земель при выращивании массивов сосны обыкновенной на юге Русской равнины ($Л_I$ = *Нвп/Фп*$_{мин}$)

Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое почвогрунта, %	Норма осадков, мм/год			
	300	400	500	600
	Индекс лесопроизводительности земель			
3	0,85	1,42	2,15*	2,96*
5	0,94	1,57	2,51*	3,36*
7	1,01	1,68	2,61*	3,67*
10	1,09	1,80	2,86	4,13*
15	1,22	1,97	3,12	4,53
20	1,31	2,18	3,36	4,87
25	1,39	2,29	3,57	5,15
30	1,46	2,39	3,67	5,36

*Примечание. *не по Нвп (теоретическому), а по Эвн макс. (здесь Нвп > Эвн макс.).*

Приложение 15

Стабильность влагонасыщения ризосферы сомкнутых насаждений сосны на легких автоморфных почвогрунтах юга Русской равнины ($Л_2 = Эвн_{мин}/Эвн_{макс}$)

Запас сырой хвои, т/га	Содержание ФГ в 2-метро-вом слое, %	Норма осадков, мм/год			
		300	400	500	600
7,5	3	0,308	0,433	0,584	0,716
	5	0,289	0,412	0,566	0,738
	7	0,275	0,394	0,542	0,759
	10	0,251	0,369	0,510	0, 707
	15	0,250	0,334	0,459	0,638
	20	0,252	0,332	0,439	0,576
	25	0,252	0,332	0,440	0,561
	30	0,251	0,333	0,438	0,560
10,0	3	0,312	0,431	0,571	0,673
	5	0,292	0,411	0,546	0,695
	7	0,270	0,388	0,523	0,709
	10	0,250	0,377	0,485	0,674
	15	0,249	0,335	0,438	0,609
	20	0,250	0,333	0,437	0,561
	25	0,251	0,332	0,436	0,563
	30	0,249	0,333	0,438	0,563
15,0	3	0,300	0,432	0,580	0,679
	5	0,283	0,414	0,536	0,692
	7	0,269	0,384	0,520	0,688
	10	0,252	0,354	0,483	0,646
	15	0,246	0,331	0,437	0,576
	20	0,246	0,333	0,435	0,563
	25	0,252	0,333	0,438	0,559
	30	0,252	0,335	0,439	0,563
20,0	3	0,316	0,435	0,576	0,684
	5	0,289	0,400	0,541	0,696
	7	0,267	0,378	0,523	0,685
	10	0,247	0,346	0,480	0,641
	15	0,250	0,328	0,438	0,571
	20	0,250	0,331	0,438	0,560
	25	0,250	0,326	0,440	0,559
	30	0,255	0,331	0,442	0,560
25,0	3	0,295	0,434	0,578	0,689
	5	0,275	0,410	0,540	0,714
	7	0,257	0,378	0,518	0,681
	10	0,246	0,350	0,474	0,680
	15	0,243	0,333	0,432	0,562
	20	0,247	0,330	0,440	0,562
	25	0,250	0,330	0,438	0,556
	30	0,244	0,330	0,435	0,555

Приложение 16

Матрица расчетных значений коэффициентов пропорциональности (*γ*) (в зависимости: *Кст.вн.* = *γОС/Э*В) и стабильности влагонасыщения 2-метрового слоя почвогрунта осадками в сомкнутых насаждениях сосны на юге Русской равнины

Норма осадков, мм/год	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое почвогрунта, %	Эффективная влагоемкость 2-метрового слоя, мм	Коэффициент пропорциональности	Коэффициент стабильности влагонасыщения ризосферы насаждений
300	3	93	0,096	0,308
	5	109	0,095	0,289
	7	127	0,116	0,275
	10	154	0,128	0,251
	15	202	0,168	0,250
	20	253	0,213	0,249
400	3	93	0,100	0,433
	5	109	0,111	0,412
	7	127	0,123	0,394
	10	154	0,142	0,369
	15	202	0,166	0,334
	20	253	0,210	0,332
500	3	93	0,109	0,584
	5	109	0,123	0,566
	7	127	0,138	0,542
	10	154	0,157	0,510
	15	202	0,185	0,459
	20	253	0,222	0,439
600	3	93	0,110	0,716
	5	109	0,134	0,738
	7	127	0,161	0,759
	10	154	0,182	0,707
	15	202	0,215	0,638
	20	253	0,245	0,576

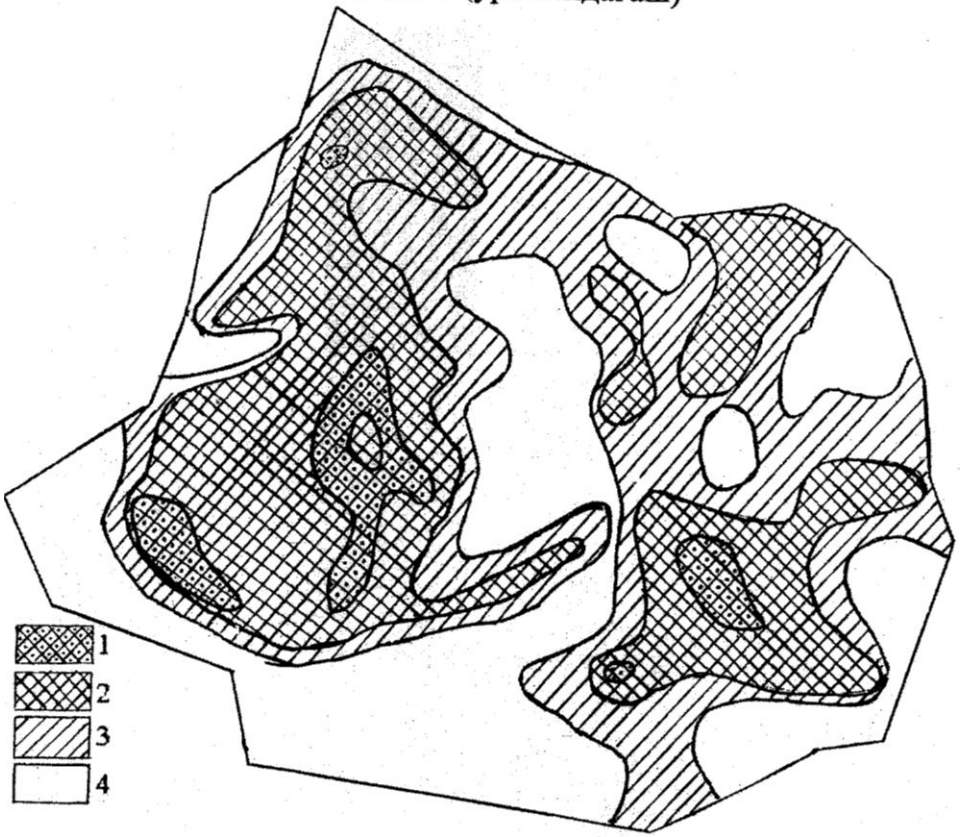
Приложение 17

Матрица расчетных значений коэффициента стабильности влагообеспеченности сомкнутых насаждений сосны (*Кст.об.Фп = Ос · 100%/ЭВ·Фп*) на автоморфных почвогрунтах юга Русской равнины

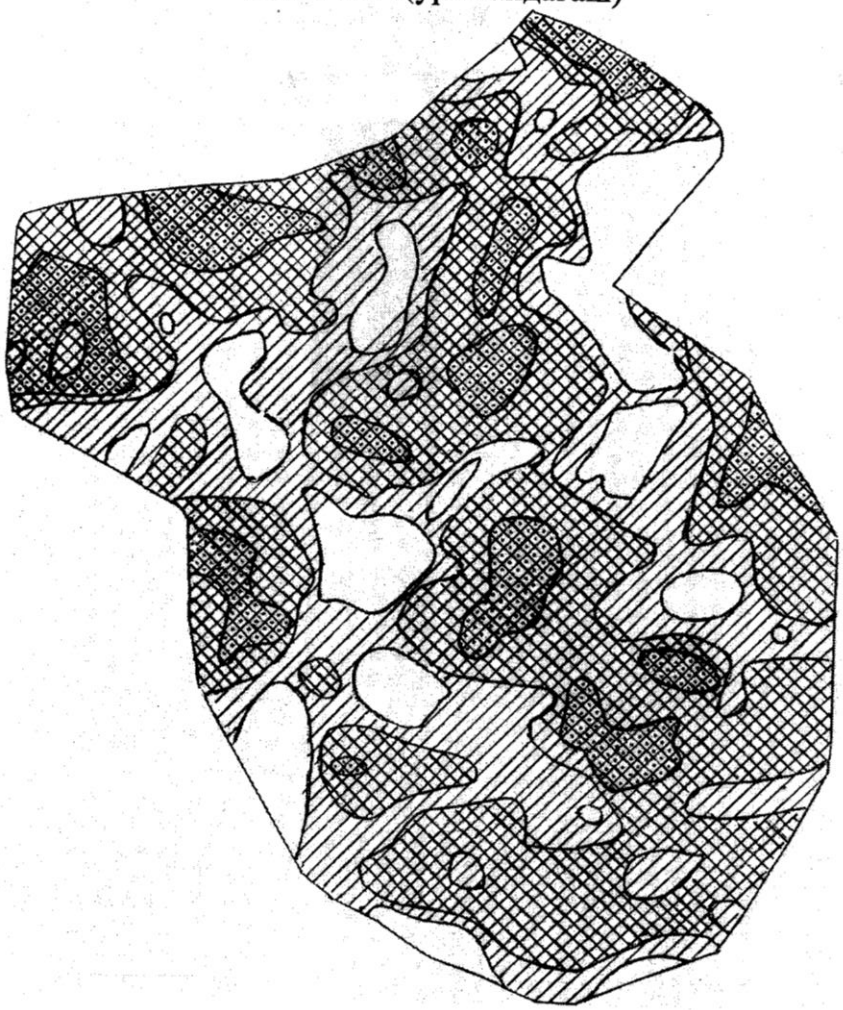
Запас сырой хвои, т/га	Содержание ФГ в 2-метровом слое почвогрунта, %	Норма осадков, мм/год			
		300	400	500	600
7,5	3	2,08	2,89	3,95	5,08
	5	1,92	2,68	3,67	4,75
	7	1,75	2,44	3,34	4,29
	10	1,53	2,13	2,93	3,75
	15	1,25	1,75	2,38	3,06
	20	1,05	1,46	2,00	2,58
	25	0,89	1,25	1,71	2,20
	30	0,77	1,09	1,47	1,89
10,0	3	1,56	2,17	2,97	3,82
	5	1,44	2,02	2,76	3,55
	7	1,31	1,83	2,51	3,21
	10	1,15	1,60	2,19	2,82
	15	0,93	1,31	1,79	2,30
	20	0,79	1,10	1,50	1,93
	25	0,67	0,94	1,28	1,64
	30	0,59	0,81	1,10	1,42
15,0	3	1,04	1,45	1,98	2,54
	5	0,96	1,34	1,84	2,38
	7	0,88	1,22	1,67	2,15
	10	0,76	1,07	1,47	1,88
	15	0,61	0,88	1,19	1,53
	20	0,53	0,73	1,00	1,29
	25	0,45	0,63	0,86	1,10
	30	0,38	0,55	0,74	0,95
20,0	3	0,78	1,09	1,49	1,91
	5	0,72	1,01	1,38	1,78
	7	0,66	0,92	1,26	1,61
	10	0,58	0,80	1,10	1,41
	15	0,47	0,66	0,90	1,15
	20	0,70	0,55	0,75	0,97
	25	0,34	0,47	0,64	0,82
	30	0,30	0,41	0,55	0,71
25,0	3	0,62	0,87	1,19	1,53
	5	0,58	0,81	1,10	1,42
	7	0,52	0,73	1,00	1,28
	10	0,46	0,64	0,88	1,13
	15	0,37	0,52	0,72	0,92
	20	0,32	0,44	0,60	0,77
	25	0,27	0,38	0,51	0,66
	30	0,24	0,32	0,44	0,57

Распределение площади ключевых участков по глубине залегания ГВ:
1 – до 1,5 м; 2 – 1,5-3,5; 3 – 3,5-5,5; 4 – глубже 5,5 м

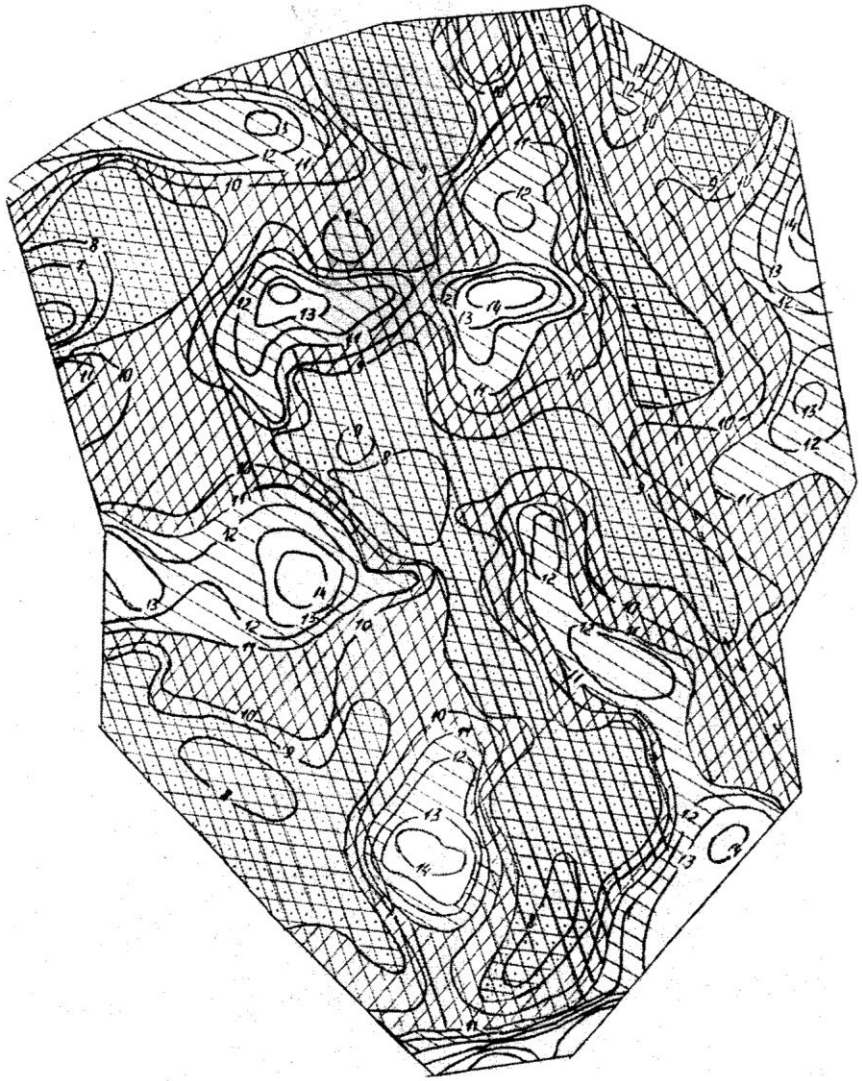
Ключ № 1 (ур. Кандагаш)



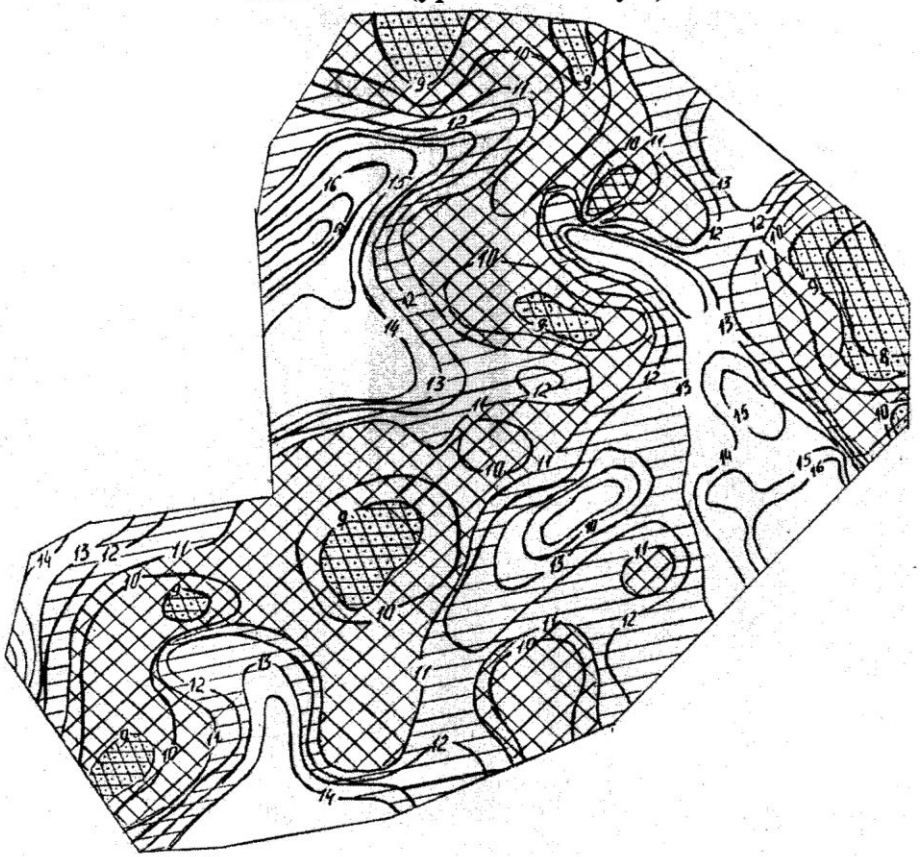
Ключ № 2 (ур. Кандагаш)



Ключ № 3 (ур. Жаскус)



Ключ № 4 (ур. Мечеть-Кум)



Приложение 19

Климатические показатели по данным метеостанции п. Урда

Показатель	Год	Месяц												Гидрологический год
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Температура воздуха (°С) средняя	Многолетняя	7,5	0,2	–6,4	–10,2	–10,0	-2,4	9,6	17,8	22,1	24,4	23,0	16,2	9,5
	1990/1991	9,7	3,6	–4,2	–5,0	–8,3	-0,9	11,4	18,6	24,2	26,4	22,5	16,0	9,5
	1991/1992	11,6	0,3	–7,1	–4,8	–5,5	0,5	3,4	15,1	22,6	23,3	22,0	16,2	6,0
	1992/1993	7,0	0,6	–2,8	–12,5	–5,2	-11,8	8,8	17,0	20,0	24,3	22,3	13,4	7,2
	1993/1994	7,5	-	-	–4,6	–16,6	-4,2	11,0	16,2	20,5	21,9	22,3	16,6	-
Осадки, мм	Многолетние	26,0	24,0	21,0	19,0	13,0	18,0	21,0	19,0	31,0	27,0	23,0	17,0	259,0
	1990/1991	5,4	57,6	7,5	36,2	7,5	3,4	128,8	26,8	63,7	50,0	14,5	3,2	404,6
	1991/1992	20,1	9,7	8,1	26,8	34,3	6,1	18,5	10,5	27,5	22,8	19,2	60,1	263,7
	1992/1993	39,7	38,9	12,8	39,9	4,7	11,1	23,3	21,6	55,7	21,3	22,8	20,7	312,5
	1993/1994	18,8	7,1	18,9	18,4	16,3	33,0	2,2	24,5	23,9	15,0	11,0	0	189,1
Относительная влажность воздуха, %	Многолетняя	69,0	77,0	84,0	84,0	82,0	79,0	58,0	48,0	44,0	46,0	48,0	56,0	65,0
	1990/1991	60,0	80,0	84,0	86,0	84,0	76,0	68,0	43,0	51,0	44,0	44,0	54,0	64,0
	1991/1992	62,0	83,0	80,0	83,0	82,0	72,0	70,0	49,0	40,0	48,0	48,0	65,0	65,0
	1992/1993	73,0	83,0	84,0	91,0	79,0	77,0	65,0	47,0	65,0	53,0	57,0	64,0	70,0
	1993/1994	56,0	-	-	80,0	81,0	73,0	57,0	55,0	54,0	49,0	50,0	44,0	-

Приложение 20

Запасы продуктивной влаги (мм) в песке на различных элементах рельефа Урдинского массива. Ур. Кандагаш, 1992 г.

Глубина, слоя песка, см	Дно котловины			Подножие восточного склона			Середина восточного склона			Вершина бугра			Середина западного склона			Подножие западного склона			Дно котловины		
	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X	08. IV	01. VII	02. X
0-5	0	0,5	5,2	0	0,2	4,0	0	0,2	0,8	0	0	3,5	0	0,3	3,4	0	0	4,0	0	0,6	6,1
5-30	13,0	11,0	4,8	7,7	4,2	11,0	6,7	8,0	2,9	8,0	9,9	7,0	5,4	9,6	8,6	9,9	8,6	9,9	14,0	12,0	11,0
30-50	25,0	24,0	12,0	13,0	4,6	7,4	9,0	9,6	5,1	10,0	14,0	9,3	7,0	13,0	9,9	7,4	9,6	13,0	55,0	62,0	22,0
50-70	40,0	56,0	21,0	12,0	20,0	17,0	12,0	11,0	6,1	7,0	8,3	12,0	7,7	17,0	12,0	9,9	7,3	16,0	-	-	-
70-90	63,0	64,0	57,0	13,0	42,0	45,0	11,0	16,0	4,8	5,8	11,0	13,0	11,0	19,0	14,0	13,0	17,0	11,0	-	-	-
90-110	-	-	-	52,0	66,0	51,0	16,0	8,0	9,3	12,0	7,7	11,0	8,3	15,0	13,0	12,0	22,0	9,6	-	-	-
110-130	-	-	-	-	-	-	13,0	7,4	7,4	14,0	8,0	8,3	12,0	8,3	16,0	12,0	15,0	12,0	-	-	-
130-150	-	-	-	-	-	-	17,0	9,3	6,4	6,4	9,3	7,4	15,0	8,0	6,8	12,0	13,0	9,6	-	-	-
150-170	-	-	-	-	-	-	16,0	8,3	6,4	6,4	9,9	5,1	14,0	9,3	8,0	11,0	11,0	14,0	-	-	-
170-190	-	-	-	-	-	-	20,0	9,3	7,0	9,0	12,0	8,3	16,0	8,0	8,3	44,0	47,0	9,3	-	-	-
190-210	-	-	-	-	-	-	17,0	11,0	8,6	7,4	4,5	8,3	8,3	9,6	7,7	-	-	-	-	-	-
210-230	-	-	-	-	-	-	20,0	9,9	9,0	7,0	11,0	8,6	8,6	8,0	9,9	-	-	-	-	-	-
230-250	-	-	-	-	-	-	13,0	8,6	8,0	7,7	9,3	7,7	12,0	9,3	11,0	-	-	-	-	-	-
250-270	-	-	-	-	-	-	4,8	7,4	6,7	7,4	7,4	8,3	7,4	9,9	10,0	-	-	-	-	-	-
270-290	-	-	-	-	-	-	6,1	10,0	6,1	6,4	6,8	8,6	11,0	9,3	11,0	-	-	-	-	-	-
290-310	-	-	-	-	-	-	7,4	10,0	7,4	6,4	7,7	8,6	8,6	11,0	9,3	-	-	-	-	-	-
Сумма	141,0	156,0	100	98,0	137,0	135,0	189,0	144,0	102,0	121,0	137,0	135,0	152,0	165,0	159,0	131,0	151,0	108,0	69,0	75,0	39,0

Приложение 21

Влажность (%) песка на различных элементах рельефа Урдинского массива. Ур. Кандагаш, 1993 г.

Глубина, см	Дно котловины		Подножие восточного склона		Середина восточного склона		Вершина бугра		Середина западного склона		Подножие западного склона		Дно котловины	
	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII
0-5	0,7	4,0	0,6	2,7	0,5	4,7	0,3	3,6	0,4	4,0	0,2	4,2	3,9	5,1
20	4,1	5,2	3,0	4,6	3,2	4,3	3,1	4,4	3,1	5,4	3,1	4,4	6,5	7,8
40	13,7	9,3	3,1	5,0	2,8	5,3	3,5	6,1	3,0	5,1	3,2	5,8	22,3	22,5
60	20,5	9,6	3,9	7,2	3,0	5,9	3,1	5,6	4,3	5,8	3,3	4,7	-	-
80	-	20,6	8,0	12,2	3,3	4,4	3,3	4,1	4,0	5,3	3,4	4,5	-	-
100	-	-	17,4	19,7	3,3	4,5	4,5	3,8	5,3	3,5	4,5	4,7	-	-
120	-	-	-	-	4,8	4,7	3,3	4,7	5,2	3,0	5,2	4,0	-	-
140	-	-	-	-	5,2	3,2	2,3	4,8	5,0	4,8	5,2	3,8	-	-
160	-	-	-	-	5,8	3,3	3,2	4,7	5,2	3,5	5,0	4,4	-	-
180	-	-	-	-	5,8	3,3	3,6	4,6	6,4	2,7	4,0	11,0	-	-
200	-	-	-	-	-	-	3,6	3,8	5,6	3,5	-	-	-	-
220	-	-	-	-	4,4	4,1	4,0	3,2	5,7	5,0	-	-	-	-
240	-	-	-	-	4,5	4,1	4,5	3,4	6,1	2,7	-	-	-	-
260	-	-	-	-	4,3	5,2	4,4	3,3	6,4	3,4	-	-	-	-
280	-	-	-	-	3,9	3,9	4,0	3,5	3,5	4,7	-	-	-	-
300	-	-	-	-	4,3	4,5	4,5	3,7	4,0	3,7	-	-	-	-

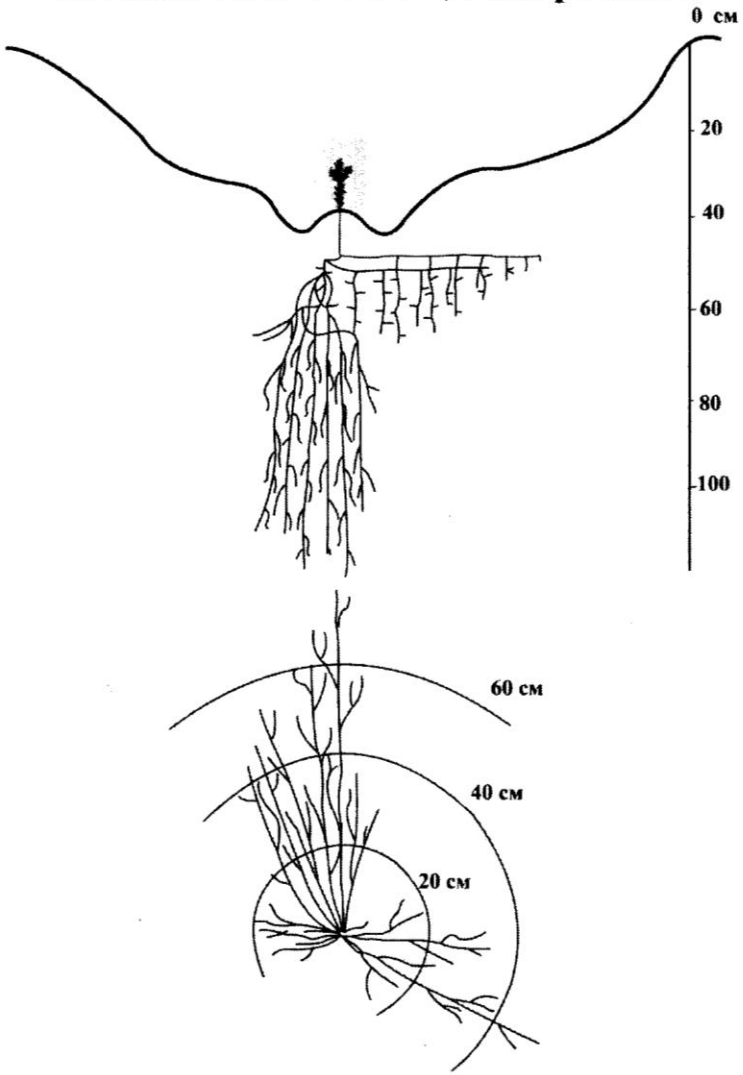
Приложение 22

Запас влаги (мм) в песке на различных элементах рельефа Урдинского массива. Ур. Кандагаш, 1993 г.

Глубина, см	Дно котловины		Подножие восточного склона		Середина восточного склона		Вершина бугра		Середина западного склона		Подножие западного склона		Дно котловины	
	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII	10.IV	02.VII
0-5	1,1	6,4	1,0	4,3	0,8	7,5	0,5	5,8	0,6	3,0	0,3	6,7	6,2	8,2
5-30	13,1	16,6	9,6	14,7	10,2	13,8	9,9	14,1	9,9	17,3	9,9	14,1	20,8	25,0
30-40	43,8	29,8	9,9	16,0	9,0	17,0	11,2	14,5	9,6	16,3	10,2	18,6	66,7	67,5
50-70	65,6	30,7	12,5	23,0	9,6	18,9	9,9	17,9	13,8	18,6	10,6	15,0	-	-
70-90	-	65,9	25,6	39,0	10,6	14,1	10,6	13,1	12,8	17,0	10,9	14,4	-	-
90-110	-	-	55,7	63,0	10,6	14,4	14,4	12,2	17,0	11,2	14,4	15,0	-	-
110-130	-	-	-	-	15,4	15,0	10,6	15,0	16,6	9,6	16,6	12,8	-	-
130-150	-	-	-	-	16,6	10,2	7,4	15,3	16,0	16,4	16,6	12,2	-	-
150-170	-	-	-	-	18,6	10,5	10,2	15,0	16,6	11,2	16,0	14,1	-	-
170-190	-	-	-	-	18,6	10,5	11,5	14,7	20,5	8,6	12,8	35,2	-	-
190-210	-	-	-	-	16,0	13,1	11,5	12,2	17,9	11,2	-	-	-	-
210-230	-	-	-	-	14,1	13,1	12,8	10,2	18,2	16,0	-	-	-	-
230-250	-	-	-	-	14,4	13,1	14,4	10,9	19,5	8,6	-	-	-	-
250-270	-	-	-	-	13,8	16,1	14,1	10,6	20,5	10,9	-	-	-	-
270-290	-	-	-	-	12,5	12,5	12,8	11,2	11,2	15,0	-	-	-	-
290-310	-	-	-	-	13,8	14,4	14,4	11,8	12,8	11,8	-	-	-	-
Сумма	123,6	149,4	114,3	159,0	204,6	214,7	176,2	209,5	233,5	201,7	118,3	158,1	93,7	100,7

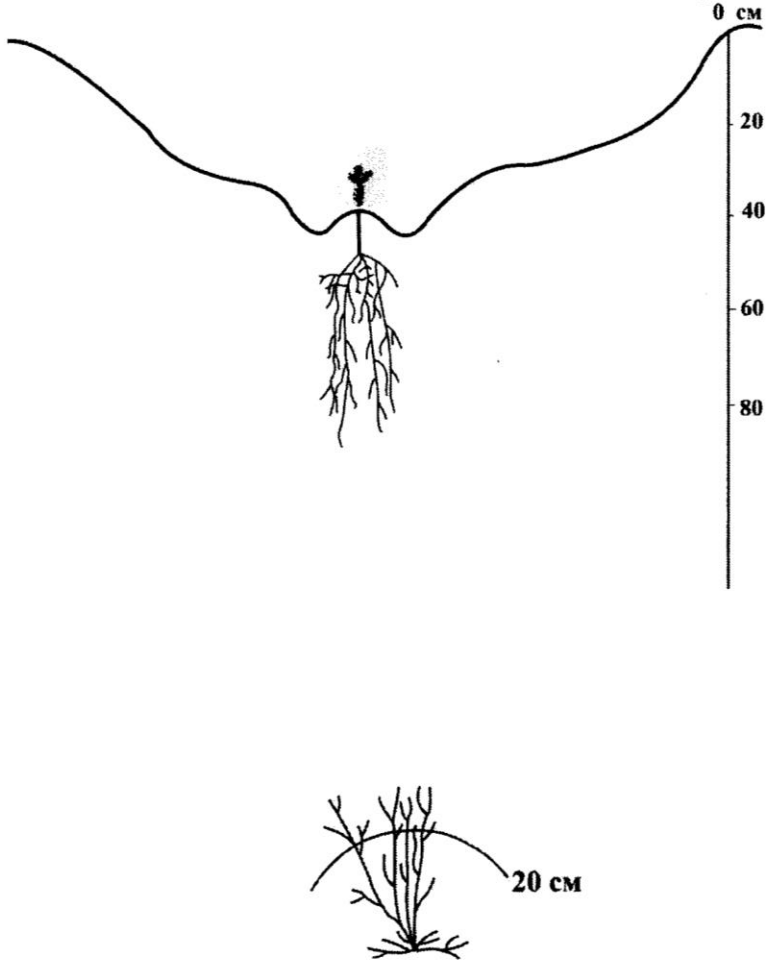
Приложение 23

Корневая система здорового саженца сосны посадки 1992 г. УГВ 2 м, октябрь 1992 г.



Приложение 24

Корневая система погибшего в конце июля – августе саженца сосны посадки 1992 г. УГВ 2 м, октябрь 1992 г.



Приложение 25

Матрица фактических значений продолжительности периода большого роста и периода возможного кризиса насаждений сосны вследствие засух на юге Русской равнины

Лесхоз, лесничество, номер модели	Возраст модели, лет	Годовая норма осадков, мм	Коэф. вариации нормы осадков, %	Содержание ФГ в 2-метровом слое, %	Возраст периода большого роста ($Z_h \geq 40$ см)		Период большого роста, лет ($Z_h \geq 40$)	Возраст начала смыкания крон, (лет) при ширине междурядий			Продолжительность кризисного периода (лет) при ширине междурядий ($Z_h \geq 40$)		
					начало	окончание		3,0 м	2,5 м	1,5 м	3,0 м	2,5 м	1,5 м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Даниловский л-з, 1	29	427	23,3	7,0	4	23	20	10	8	6	13	15	17
2	27	427	23,3	7,0	5	26	22	10	8	6	16	18	20
3	28	427	23,3	7,0	4	23	20	10	8	6	13	15	17
4	29	427	23,3	11,6	4	24	21	8	6	4	16	18	20
9	31	427	23,3	10,0	4	25	22	8	6	4	17	19	21
8	32	427	23,3	12,5	4	26	23	8	6	4	18	20	22
Жирновский л-з, 7 (УГВ – 3,2 м)	49	390	25,3	5,9	4	28	25	10	8	6	18	20	22
Арчединский л-з, 10 (УГВ — 3,3 м)	29	394	25,1	2,7	7	28	22	11	9	7	17	19	21
Михайловский л-з, 13	30	430	23,2	5,7	4	26	23	10	8	6	16	18	20
14	31	430	23,2	7,0	4	24	21	9	7	5	15	17	19
15	57	430	23,2	5,0	6	31	26	10	8	6	21	23	25
Даниловский л-з, 17	30	427	23,3	4,5	5	21	17	11	9	7	10	12	14
Серафимовичский л-з, 18	25	402	24,7	16,0	3	24	22	8	6	4	16	18	20
Вёшенский л-з, 19	44	444	22,4	3,4	3	31	29	11	9	7	20	22	24
Арчединский л-з, 22	70	394	25,1	2,5	4	22	19	11	9	7	11	13	15
Михайловский л-з, 1а	66	430	23,2	5,1	6	18	13	9	7	5	9	11	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Межхозяйственный л-з, 6а	54	430	23,2	2,7	5	20	16	11	9	7	9	11	13
7а	51	430	23,2	6,5	3	26	24	8	6	4	18	20	22
Михайловский л-з, 5а	59	430	23,2	1,9	10	25	16	12	10	8	13	15	17
2а	45	430	23,2	4,8	4	26	23	8	6	4	18	20	22
Фроловский межх. л-з, 1б	22	394	25,1	3,5	5	18	14	10	8	6	8	10	12
2б	33	394	25,1	3,3	8	27	20	11	9	7	16	18	20
Камышинский л-з***	55	400	24,8	30,0	5	30	26	10	8	6	20	22	24
	55	400	24,8	30,0	5	28	24	10	8	6	18	20	22
	55	400	24,8	4,0	5	23	19	10	8	6	13	15	17
ВПЭЛС (УГВ – 3,5)	50	355	27,2	2,0	7	22	16	10	8	6	12	14	16
Вёшенское л-во	56	450	22,1	1,0	7	22	16	11	9	7	11	13	15
	-	-	-	1,0	7	22	16	11	9	7	11	13	15
Обливский пункт**	32	400	24,8	15,0	7	25	22	8	6	4	17	19	21
Старооскольский л-з*	38	550	16,7	13,0	4	33	30	8	6	4	25	27	29
Владимирская обл.****	-	550	16,7	5,0	5	35	31	10	8	6	25	27	29
Липецкая обл.	-	550	16,7	5,0	5	30	26	10	8	6	20	22	24
Бузулукский бор	55	474	20,8	5,0	5	30	26	10	8	6	20	22	24
Городищенский л-з	60	480	20,5	8,0	5	25	21	8	6	4	17	19	21

*Примечание. *В. В. Миронов, А. Е. Иванов, И. С. Матюк [158]; **И. С. Матюк, В. В. Миронов [234]; *** Е. Д. Годнев [106];****В. В. Миронов [248].*

Приложение 26

Расчет величины критической суммы осадков для молодняков сосны кризисного периода жизни на юге Русской равнины

Географический пункт, годовая норма осадков	Показатель	Средневзвешенное содержание ФГ в 2-метровом слое, %							
		3	5	7	10	15	20	25	30
г. Волгоград, 355 мм	Возможный максимальный запас сырой хвои, т/га	12,2	14,4	16,3	18,3	19,4	22,3	23,7	24,8
	1/2 физиологической потребности насаждений во влаге, мм/год	122	132	142	150	157	163	167	170
	Критическая годовая сумма осадков, мм	241	260	273	288	294	294	294	294
	Число опасных засушливых периодов за 60 лет	7	10	16	16	17	17	17	17
г. Михайловка, Волгоградская обл., 430 мм	Возможный максимальный запас сырой хвои, т/га	13,3	16,1	18,7	21,2	23,5	25,6	27,2	28,4
	1/2 физиологической потребности насаждений во влаге, мм/год	128	142	156	167	173	179	184	187
	Критическая годовая сумма осадков, мм	263	282	307	322	330	343	343	343
	Число опасных засушливых периодов за 60 лет	5	7	10	12	13	15	15	15
г. Воронеж, 524 мм	Возможный максимальный запас сырой хвои, т/га	16,1	18,6	20,4	24,2	27,4	29,3	31,6	32,8
	1/2 физиологической потребности насаждений во влаге, мм/год	143	152	157	175	196	190	198	200
	Критическая годовая сумма осадков, мм	312	323	335	350	365	384	388	388
	Число опасных засушлив. периодов за 60 лет	0	0	1	2	3	5	6	6

Приложение 27

Матрица расчета адаптированных режимов рубок оптимизации влагообеспеченности насаждений и их затратности в культурах сосны на юге Русской равнины

Норма осадков, мм/год	Средневзвешен. содержание ФГ в верхнем 2-метровом слое почвогрунта, %	Продолжительность кризисного периода, лет	Ср. интервал между засухами, лет	Кол-во необходимых рубок	Норма изъятия сырой хвои и деревьев в один прием рубки		Суммарное (за все приемы рубки) изъятие хвои, т/га	Нормированная производительность насаждений, %	Нормированное распределение запасов древесины в 50-летних насаждениях, $м^3$/га	Коэффициент относительной затратности рубок, т(хвои)/$м^3$(стволовой древесины)
					хвоя, т/га	кол-во вырубаемых деревьев, %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
г. Волгоград										
355	3	11	9,0	1,2	3,4	27,9	4,2	100	70	0,060
	5	12	6,0	2,0	4,8	33,3	9,6	112	78	0,120
	7	12	4,0	3,0	6,1	37,4	18,3	121	85	0,220
	10	13	4,0	3,3	7,4	40,4	24,4	128	90	0,270
	15	14	3,5	4,0	8,1	40,5	32,4	143	100	0,320
	20	15	3,5	4,3	8,9	40,5	38,3	157	110	0,350
	25	16	3,5	4,6	9,5	40,5	43,7	166	116	0,380
	30	17	3,5	4,9	10,0	40,5	49,0	175	123	0,400
г. Михайловка										
430	3	15	12,0	1,3	0,7	5,0	0,9	100	120	0,008
	5	15	9,0	1,7	2,4	15,0	4,8	114	137	0,035
	7	16	6,0	2,7	4,0	21,0	10,8	123	148	0,073
	10	17	5,0	3,4	5,7	26,0	19,4	129	155	0,125
	15	18	5,0	3,6	6,1	26,1	22,0	145	174	0,126
	20	19	4,0	4,8	6,6	26,3	31,6	159	191	0,165
	25	21	4,0	5,3	7,2	26,5	38,2	168	202	0,189
	30	22	4,0	5,5	7,6	26,7	41,6	178	210	0,199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
г. Воронеж										
524	3	19	120,0	0,16	0,0	0	0	100	300	0,0007
	5	20	90,0	0,22	0,0	0	0	117	351	0,0008
	7	21	60,0	0,35	0,0	0,0	0	127	381	0,0010
	10	22	30,0	0,73	1,0	4,0	0,7	137	411	0,0020
	15	23	20,0	1,15	1,4	5,0	1,7	153	459	0,0040
	20	25	12,0	2,10	1,6	5,5	3,4	162	486	0,0070
	25	27	10,0	2,70	1,8	5,7	4,9	174	522	0,0090
	30	28	10,0	2,89	2,0	6,0	5,6	181	543	0,0100

Приложение 28

Шкалы дифференцированной оценки в баллах ЭХФ, определяющих хозяйственную пригодность песчаных земель (ЛС – лесистость, ЛП – лесопригодность)

ЛС, %	ЛП, %	Хозяйственное использование угодий											
		лесохозяйственное		лесоохотничье		лесоаграрное		лесопастбищное		рекреационное		пастбищное	
		ЛС	ЛП	ЛС	ЛП	ЛС	ЛП	ЛС	ЛП	ЛС	ЛП	ЛС	ЛП
1. Лесистость и лесопригодность													
< 5	≤ 15	Не пр.		Не пр.		5	0	Не пр.		0	0	5	5
	15-30			5	3		5				5		5
	> 30				5		5				10		5
5-10	≤ 15	Не пр.		20	0	30	0	20	0	10	2	10	0
	15-30				10		5		5		5		0
	> 30				15		5		5		10		0
11-20	≤ 15	Не пр.		35	5	20	0	40	0	20	3	Не пр.	
	15-30				10		2		0		5		
	> 30				10		2		0		5		
21-40	≤ 15	30	0	60	0	10	0	20	0	30	0	Не пр.	
	15-30		10		5		0		0		3		
	> 30		20		5		0		0		3		
41-60	≤ 30	50	10	40	0	0	0	5	0	45	0	Не пр.	
	> 30		20		0		0		0		0		
61-80	≤ 20	70	10	20	0	Не пр.		Не пр.		40	0	Не пр.	
	> 20		15		0						0		
> 80	0-20	90	5	15	0	Не пр.		Не пр.		20	0	Не пр.	
Оцениваемый фактор		Лесохозяйственное		Лесоохотничье		Лесоаграрное		Лесопастбищное		Рекреационное		Пастбищное	
1		2		3		4		5		6		7	
2. Площадь массива, тыс. га													
< 3		5		5		5		5		15		3	
3-10		30		20		20		25		30		10	
11-20		80		50		50		50		30		30	

1	2	3	4	5	6	7
2. Площадь массива, тыс. га						
21-30	100	80	60	50	30	50
31-50	100	80	60	50	30	60
> 50	100	80	60	50	30	60
3. Водопои						
Отсутствуют	0	0	0	0	0	0
Имеются на прилегающей территории	5	10	0	10	0	5
Имеются в недостаточном количестве	10	20	3	15	3	20
Имеются в достатке	20	25	5	30	5	30
4. Водоемы						
Отсутствуют	0	0	0	0	0	0
Имеются небольшие водоемы с заболоченными участками	10	20	5	5	20	5
Имеются крупные водоемы	20	40	10	10	50	10
5. Наличие пахотопригодных земель, % от площади массива						
< 1	2	0	Не пр.	0	0	0
1-5	5	10	Не пр.	5	0	5
6-10	5	10	Не пр.	15	0	15
11-20	5	10	10	20	0	20
21-40	5	Не исп.	50	Не исп.	0	Не исп.
>40	Не исп.	Не исп.	90	Не исп.	0	Не исп.
6. Преобладающий рельеф						
Волнистоувалистая равнина в комплексе с мелко-, среднебугристыми песками: бугр. песков до 10%	40	0	80	15	5	20
бугр. песков 11-30%	20	5	20	10	5	5
бугр. песков > 30%	0	10	Не пр.	5	10	0
Грядово-бугристый	0	15	Не пр.	0	20	Не пр.
Ложбинно-грядово-бугристый	10	20	0	5	25	0

1	2	3	4	5	6	7
7. Возможность контакта животных с поймами крупных и средних рек						
Отсутствует	0	0	0	0	0	0
Ограничена	2	5	0	2	2	2
Затруднена	5	12	0	5	5	5
Возможен свободный контакт	10	20	0	5	10	5
8. Почвенно-растительный покров уничтожен на площади, %						
> 50	–15	–20	Не пр.	–20	–20	–20
31-50	–10	–15	Не пр.	–15	–10	–15
10-30	–5	–10	–20	–10	0	–10
< 10	0	0	0	0	5	0
9. Наличие луговых и лугово-степных ассоциаций, % от общей площади						
≤ 5	5	5	5	0	0	0
6-10	10	10	10	5	8	10
11-20	15	20	15	20	10	20
21-30	15	25	20	35	10	30
> 30	15	25	20	40	10	40
10. Продуктивность песчано-степной растительности, ц/га сена						
< 3	0	5	0	0	0	0
3-5	2	10	1	5	1	10
5,1-7,0	5	15	3	20	2	30
> 7	7	20	5	30	3	55
11. Производительность лесных насаждений, $м^3$ /га древесины						
< 50	0	0	0	0	0	0
50-100	10	5	3	5	10	3
100-200	40	15	5	10	20	5
> 200	70	30	10	20	30	10
12. Состав и структура лесов						
Чистые сосняки	50	10	0	0	10	0
Сложные сосняки	60	30	5	10	20	3

1	2	3	4	5	6	7
Смешанные сосново-лиственные насаждения	30	40	5	20	30	5
Лиственные насаждения	0	25	0	15	20	10
13. Наличие кустарниковых зарослей вне лесов, % от общей площади						
≤ 5	5	10	0	5	0	10
6-20	10	30	10	20	10	15
21-50	0	10	0	0	15	0
51-80	–10	0	–10	–5	0	–10
> 80	Не пр.	–10	–20	–10	0	–20
14. Наличие ценных природных объектов, шт.						
Отсутствуют	0	0	0	0	0	0
Имеются относительно часто встречающиеся ценные объекты	5	10	0	0	15	0
Имеются редкие ценные объекты	10	20	0	0	30	0
Имеются уникальные объекты	15	30	0	0	50	0
15. Удаленность от объектов интенсивного сельскохозяйственного производства						
Небольшая (< 1 км)	0	0	0	15	0	15
Умеренная (1-5 км)	3	5	0	10	0	10
Большая (> 5 км)	5	10	0	0	0	0
16. Удаленность от средних и крупных населенных пунктов						
< 20 км	0	0	20	10	30	10
20-50 км	5	10	10	5	15	10
> 50 км	3	15	0	0	0	0

Примечание. Не пр. – не пригодны, Не исп. – не используются.

Приложение 29

Перспективные виды охотничье-промысловых зверей и птиц в степной и полупустынной зонах, краткая характеристика мест их обитания

Вид животного	Краткая характеристика мест обитания	Природные зона (подзона)
1	2	3
Европейский лось	Благоприятны слабооблесенные территории (лесистость около 18%) с незначительной заболоченностью (8%), где лиственные леса составляют 74-85% и молодняки или кустарники занимают 23-32% от общей площади угодий. Хорошо уживается в антропогенном ландшафте: в небольших искусственных лесах, кустарниковых зарослях, полезащитных полосах; тростниковых зарослях	Степная, сухостепная, полупустынная
Европейский благородный олень	Чрезвычайно разнообразны: от таежных, широколиственных и субтропических лесов до кустарниковых зарослей по берегам пустынных рек. Предпочитает участки, где много молодого подроста, кустарников и травянистых полян	То же
Косуля	Лучше других приспособлена к окультуренному ландшафту. Заселяет разнообразные ландшафты от полупустынь Северного Прикаспия и Центрального Казахстана до северной лиственной тайги (поля, луга, лесные опушки, заросли кустарников)	-"-
Кабан	Обладает широкой экологической пластичностью. Для местообитаний характерна мозаичность: они состоят из участков смешанного, хвойно-широколиственного и широколиственного леса, болот, лугов и полей, а также труднопроходимых зарослей тростника и кустарников (тальника, гребенщика, серебристого лоха)	-"-
Заяц-русак	Исходно степное животное. Любит открытые места и селится в степях, полях, особенно если там есть заросли бурьянов, густой травы или куртины кустарников. Предпочитает опушки леса	-"-
Заяц-толай (песчаник)	Предпочитает пустынные пространства с кустарником или куртинами высокой травы	Сухостепная, полупустынная
Сурок – степной байбак	Типичный степняк. Обитает в трех основных типах ландшафта: зональных степях (сухих, лугостепях, лесостепях), горных и высокогорных лугостепях и в каменистых биотопах. Избегает леса и кустарников, а селится по их опушкам и реже в разреженном лесу	Степная, сухостепная

1	2	3
Степной хорек	Селится в степях, лугах, полупустынях, где его расселение тесно связанно с численностью сусликов	Степная, сухостепная, полупустынная
Обыкновенный барсук	Обитатель, главным образом, смешанных лесов, холмистых, пересеченных оврагами и долинами речек. Селится в степях и полупустынях. Устраивает глубокие норы в склонах лесных оврагов, речных долин или холмов с сухим песчаным грунтом	То же
Корсак	Типичный обитатель полупустынь и сухих равнинных степей. Для жилья использует норы сурков, сусликов, изредка барсуков и обыкновенных лисиц	Сухостепная, полупустынная
Рыжая (обыкновенная) лисица	Населяет все ландшафтно-географические зоны, начиная с тундры и лесов вплоть до степей и полупустынь. Предпочитает открытую местность, а также отдельные рощи, перелески, холмы и овраги. Селится в норах на склонах оврагов и холмов с хорошо дренированным песчаным грунтом.	Степная, сухостепная, полупустынная
Стрепет	Населяет участки целинной степи и залежных земель, предпочитая слегка всхолмленную местность с разреженным травостоем. Любимые участки местообитания в Волго-Уральском междуречье – участки с высокой злаковой растительностью, преимущественно с ковылем и с отдельными кустами спиреи или миндаля	То же
Фазан	Излюбленные места обитания – пойменные леса, кустарниковые заросли, камыши и тростники вблизи водоемов	То же
Серая куропатка	Населяет степи, луга и поля, однако предпочитает селиться в таких местах, где открытые пространства сочетаются с зарослями бурьяна, кустарника или мелколесья. В полупустынях Заволжья зимой птицы собираются около балок, долин и лесных насаждений	То же
Обыкновенный перепел	Исключительно наземная птица, обитающая на открытых пространствах, однако не избегает опушек древесно-кустарниковых насаждений, начинающих зарастать лесосек, весьма многочисленна в полезащитных лесных полосах	То же
Обыкновенная горлица	Гнездится низко на ветвях деревьев или кустарников. Населяет разнообразные лиственные леса и кустарники близ воды. Характерный представитель фауны полезащитных полос	Степная, сухостепная

Приложение 30

Основные виды растений, употребляемые растительноядными животными в качестве корма (кора, ветви с листьями, корневища, луковицы, стебли с листьями, цветы, плоды, семена)

Растения	Европейский лось	Европейский благородный олень	Косуля	Кабан	Заяц-русак	Заяц-толай (песчаник)	Сурок (степной байбак)
1	2	3	4	5	6	7	8
Сосна	++	+	+				
Осина	++	+	++	+			
Ива	++	+	++	+	+	+	
Тополя	+			+			
Береза	+		+				
Дуб	+	+	+	+			
Ясень		+	+				
Клен	+	+			+	+	
Вяз					+		
Песчаная акация						+	
Груша		+	+	+	+	+	
Яблоня		+	+	+	+	+	
Рябина	+	+	++				
Калина	+	+					
Крушина	+			+			
Черемуха	+						
Лещина		+		+			
Бересклет	+	+					
Можжевельник	+	+	+				
Облепиха			+				

1	2	3	4	5	6	7	8
Кизил				+			
Саксаул						+	
Чингиль						++	
Тамарикс						++	
Болотные травы (рогоз, осока, камыш, тростник)	++	+	++	++			
Стрелолист, белокрыльник, вахта, таволга, хвощ и т. д.	++	+	++	++			
Злаки	+	++	++		++	++	++
Бобовые (в т. ч. ракитник)	+	++	++				
Сложноцветные (в т. ч. полынь)		+	++		+	+	
Зонтичные		+	++				
Лютиковые			++				++
Разнотравье				+			++
Эфемеры		+	++				
Грибы	+	+	+	+			
Лишайники	+	+					
Сельхозкультуры	+	+	+	+			
Сено	+	+	+	+			

Примечание: ++ составляет основу годового рациона; + периодически употребляется.

Приложение 31

Гранулометрический состав почвогрунта ДО очагов дефляции легких почв

Глубина, см	Размер фракций, мм						ФГ	Песок
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001		
Ур. "Родина", 1981 г.								
0-5	1,5	74,1	18,9	3,8	6,0	7,2	17,0	83,0
5-20	0,3	36,6	32,1	6,5	11,3	13,2	31,0	69,0
20-40	0,1	49,1	24,8	5,6	7,3	13,1	26,0	74,0
40-60	4,8	34,2	26,9	7,9	9,5	16,7	34,1	65,9
60-100	0,1	35,6	34,6	2,0	4,7	21,2	27,9	72,1
100-150	0,9	2,7	55,6	4,8	8,6	20,4	40,8	59,2
Ур. "Городовики", 1983 г.								
0-5	0,2	41,1	26,9	5,1	12,2	14,2	31,5	68,5
5-20	0	17,7	37,6	6,6	18,3	19,8	44,7	55,3
20-40	-"-	36,1	31,2	3,6	10,7	18,4	32,7	67,3
40-60	0,1	38,3	33,1	4,6	8,1	15,8	28,5	71,4
60-80	0	2,9	48,5	12,8	12,8	23,0	48,6	51,4
80-100	0,1	30,3	39,6	5,1	7,6	17,3	30,0	70,0
100-120	0	3,5	44,7	11,8	12,3	27,7	51,8	48,2
130-450	0,2	57,2	19,3	3,5	7,1	12,7	23,3	76,7

Приложение 32

Гранулометрический состав обнажения эродируемого почвогрунта в группе борозд-валов и песка барханов в ДАО очагов дефляции легких почв

Место взятия образца	Глубина, см	Размер фракций, мм						ФГ	Песок
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001		
Ур. "Городовики", 1983 г.									
Вал	5-10	0	29,5	33,7	4,6	14,3	17,9	36,8	63,2
	15-20	0,1	42,4	29,0	3,0	9,7	15,8	28,5	71,5
	30-35	0	29,6	33,1	5,1	13,3	18,9	37,3	62,7
	40-45	-"-	20,6	39,7	5,1	14,8	19,8	39,7	60,3
Борозда	5-10	0,5	74,7	10,6	1,0	6,1	7,1	14,2	85,8
	15-20	0,1	78,2	9,1	0,5	4,0	8,1	12,6	87,4
	30-35	0	33,0	34,0	4,1	11,2	17,7	33,0	67,0
	40-45	0	24,8	39,1	4,6	15,2	16,3	36,1	63,9
	50-55	0,1	15,9	43,8	7,1	12,7	20,4	40,2	59,8
	60-65	0,1	33,0	43,6	1,5	8,1	13,7	23,3	76,7
Ур. «Молодежный", 1985 г.									
Бархан	0-5	0,7	89,1	3,1	0,4	0,9	5,8	7,1	92,9
	20	0,2	91,3	1,3	0,9	1,8	4,5	7,2	92,8
	40	0,3	89,4	2,7	0,4	2,7	4,5	7,6	92,4
	60	0,6	87,0	4,0	0,4	2,2	5,8	8,4	91,6
	80	0,1	87,6	3,2	0,9	1,4	6,8	9,1	90,9

Приложение 33

Солевой режим почвогрунта на основных объектах опытов. Ур. "Родина", 1980 г.

Глубина, см	Ионы, %								
	щелочность		Cl^-	O_4^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма
	CO_3^{2-}	HCO_3^-							
Бугристые заросшие пески									
0-5	-	0,037	0,003	0,011	0,010	0,0030	0,0008	0,0060	0,070
20	-	0,035	0,003	0,002	0,009	0,0020	0,0008	0,0020	0,053
40	-	0,035	0,003	0,012	0,009	0,0040	0,0020	0,0006	0,065
60	-	0,035	0,010	0,011	0,013	0,003	0,0040	0,0005	0,076
80	-	0,030	0,026	0,014	0,013	0,0040	0,0110	0,0010	0,099
Очаг дефляции: деструктивная область (западная часть)									
0-5	-	0,043	0,003	0,020	0,011	0,0040	0,0070	0,0004	0,088
20	-	0,043	0,003	0,023	0,008	0,0060	0,0070	0,0004	0,090
40	-	0,040	0,003	0,019	0,007	0,0040	0,0100	0,0006	0,083
60	-	0,047	0,003	0,723	0,250	0,0320	0,0150	0,0020	1,072
80	-	0,043	0,003	0,565	0,196	0,022	0,0290	0,0020	0,851
100	-	0,037	0,004	0,881	0,245	0,0520	0,0550	0,0030	1,277
120	-	0,037	0,003	0,903	0,232	0,0470	0,0880	0,0020	1,312
150	-	0,050	0,005	0,267	0,030	0,0130	0,0880	0,0010	0,454
Деструктивная область (восточная часть)									
0-5	0,002	0,072	0,004	0,002	0,004	0,0020	0,0200	0,0020	0,106
20	0,005	0,105	0,004	0,012	0,008	0,0060	0,0260	0,0020	0,163
40	0,002	0,080	0,003	0,009	0,004	0,0010	0,0290	0,0010	0,127
60	0,005	0,072	0,005	0,039	0,006	0,0050	0,0320	0,0010	0,160
80	0,005	0,067	0,009	0,033	0,004	0,0020	0,0370	0,0050	0,152
100	0,005	0,055	0,029	0,019	0,004	0,0010	0,0420	0,0003	0,150
Деструктивно-аккумулятивная (барханная) область									
0-5	-	0,027	0,004	0,006	0,006	0,0030	0,0010	0,0010	0,048
20	-	0,030	0,003	0,004	0,007	0,0020	0,0010	0,0010	0,044
40	-	0,032	0,004	0,007	0,010	0,0020	0,0010	0,0003	0,056
60	-	0,035	0,003	0,016	0,011	0,0040	0,0020	0,0003	0,071
80	-	0,022	0,005	0,017	0,007	0,0040	0,0030	0,0005	0,058
100	0,007	0,085	0,005	0,005	0,002	0,0010	0,0320	0,0010	0,131
120	0,011	0,116	0,004	0,025	0,002	0,0006	0,0540	0,0010	0,202
150	0,011	0,116	0,007	0,057	0,004	0,0010	0,0650	0,0060	0,256

Приложение 34

Солевой состав почвогрунтов (%/мг-экв.) в крупном очаге дефляции. Ур. "Городовики", 1983 г.

Место взятия образца	Глубина, см	Ионы								Сумма
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	O_4^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
Барханная область (в группах борозд-валов)										
Вал	5-10	-	0,058 0,95	0,003 0,08	0,024 0,49	0,006 0,30	0,003 0,25	0,022 0,95	0,0010 0,02	0,117
	15-20	-	0,048 0,79	0,003 0,08	0,024 0,50	0,006 0,30	0,004 0,30	0,017 0,75	0,0010 0,02	0,103
	30-35	-	0,051 0,83	0,002 0,06	0,015 0,31	0,006 0,30	0,001 0,10	0,018 0,78	0,0010 0,02	0,094
	40-45	0,002 0,08	0,068 1,11	0,003 0,08	0,027 0,56	0,008 0,40	0,004 0,30	0,024 1,03	0,0010 0,02	0,135
Борозда	5-10	-	0,034 0,55	0,003 0,08	0,043 0,90	0,018 0,90	0,005 0,40	0,004 0,18	0,0020 0,05	0,109
	15-20	-	0,034 0,55	0,013 0,36	0,030 0,63	0,018 0,90	0,004 0,30	0,006 0,28	0,0020 0,06	0,107
	30-35	-	0,043 0,71	0,012 0,34	0,035 0,73	0,009 0,45	0,007 0,55	0,017 0,75	0,0010 0,03	0,124
	40-45	-	0,056 0,91	0,012 0,34	0,043 0,90	0,007 0,35	0,005 0,45	0,031 1,33	0,0010 0,02	0,155
	50-55	0,002 0,08	0,073 1,19	0,013 0,38	0,025 0,53	0,004 0,20	0,001 0,10	0,041 1,78	0,0010 0,02	0,158
	60-65	0,005 0,16	0,080 1,31	0,004 0,10	0,034 0,73	0,004 0,20	0,005 0,40	0,035 1,50	0,001 0,02	0,168
Деструктивная область										
Эродируемая почва	0-5	-	0,038 0,63	0,002 0,06	0,029 0,60	0,010 0,50	0,005 0,40	0,009 0,40	0,0004 0,01	0,093
	20	-	0,047 0,77	0,009 0,27	0,027 0,57	0,011 0,55	0,005 0,40	0,015 0,65	0,0004 0,01	0,114
	40	-	0,052 0,85	0,012 0,34	0,052 1,08	0,006 0,30	0,010 0,85	0,025 1,10	0,0010 0,02	0,158
	60	-	0,065 1,07	0,013 0,38	0,053 1,11	0,003 0,15	0,005 0,45	0,045 1,95	0,0004 0,01	0,184
	80	-	0,063 1,03	0,012 0,34	0,072 1,49	0,004 0,20	0,011 0,95	0,039 1,70	0,0004 0,01	0,201
	100	-	0,027 0,44	0,013 0,36	0,497 10,36	0,140 7,00	0,027 2,25	0,043 1,85	0,0020 0,06	0,749
	120	-	0,023 0,38	0,004 0,10	0,429 8,93	0,096 4,80	0,023 1,90	0,061 2,65	0,0020 0,06	0,638
	150	-	0,031 0,51	0,003 0,09	0,175 3,65	0,011 0,55	0,008 0,65	0,070 3,03	0,0010 0,02	0,299

Приложение 35

Водно-физические свойства почвогрунтов деструктивных областей очагов дефляции легких почв

Глубина взятия образца, см	Объемная масса, г/см^3	НВ, %	МГ, %	ВЗ, %
Ур. "Родина", 1981 г.				
0-5	1,38	19,9	5,5	7,4
20	-"-	15,2	-	-
30	-"-	20,3	-	-
40	1,54	19,0	7,1	9,5
50	-"-	17,8	-	-
60	1,53	15,8	7,9	10,6
70	-"-	19,9	-	-
80	-"-	18,9	6,3	8,5
90	1,49	20,4	-	-
100	-"-	20,9	4,7	6,3
120	1,61	21,8	6,8	9,1
150	-"-	22,0	-"-	-"-
Ур. "Улан-Туг", 1982 г.				
0-5	1,62	-	3,1	4,2
20	1,56	-	7,6	10,2
40	-"-	-	-"-	-"-
60	1,60	-	8,1	10,9
80	1,58	-	9,7	13,0
100	-"-	-	-"-	-"-
120	1,63	-	8,5	11,4
150	-"-	-	-"-	-"-
Ур. "Городовики", 1983 г.				
0-5	1,53	-	4,7	6,3
20	1,42	-	5,4	7,2
40	-"-	-	6,5	8,7
60	-"-	-	6,4	8,6
80	1,51	-	4,9	6,6
100	-"-	-	4,8	6,4
120	1,54	-	3,2	4,3
150	-"-	-	5,3	7,1

Примечание. " -" показатели не определены.

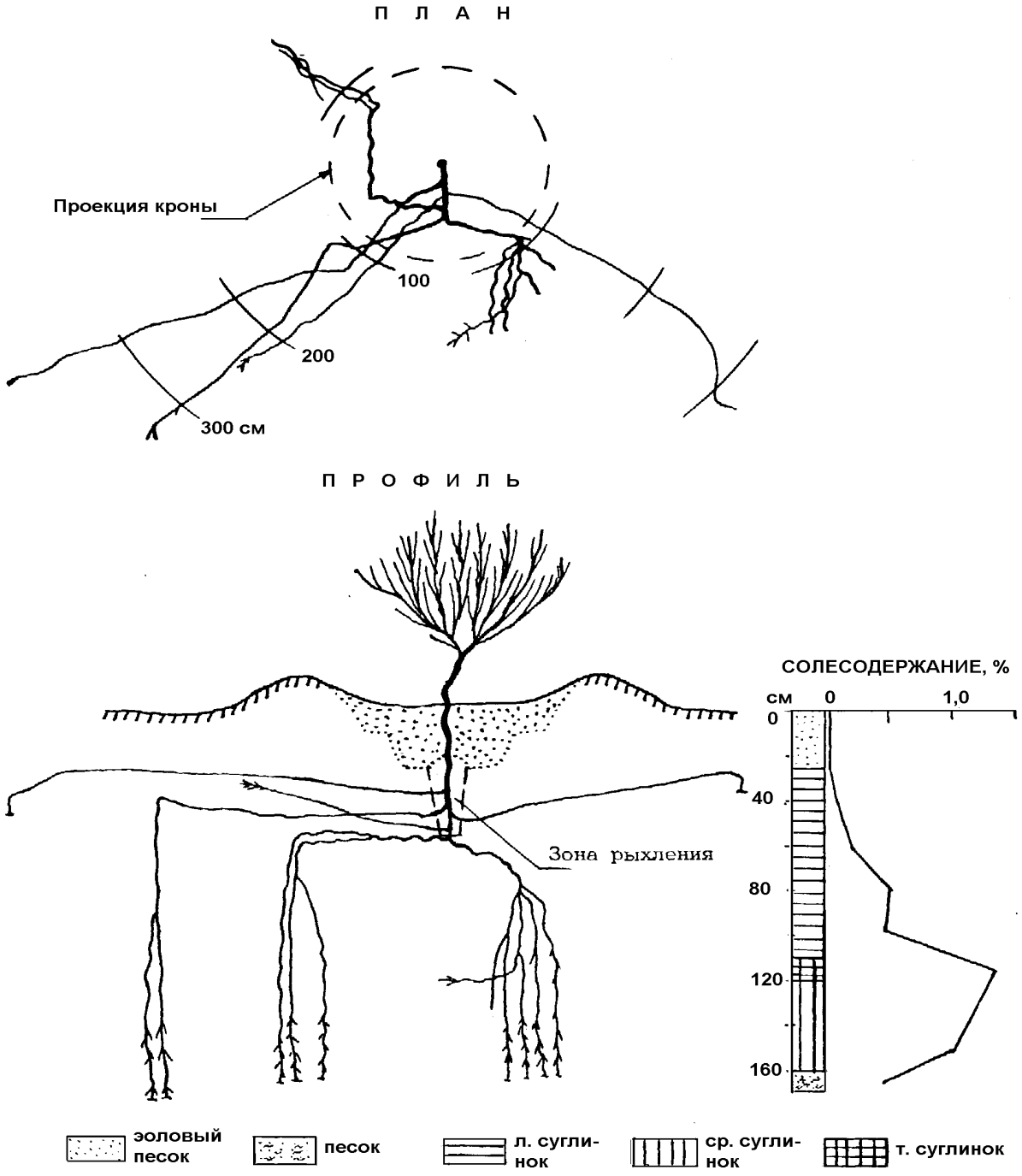
Приложение 36

Содержание (%) карбонатов в неперевеянном грунте очага дефляции опустынивания легких почв. Ур. "Городовики", 1983 г.

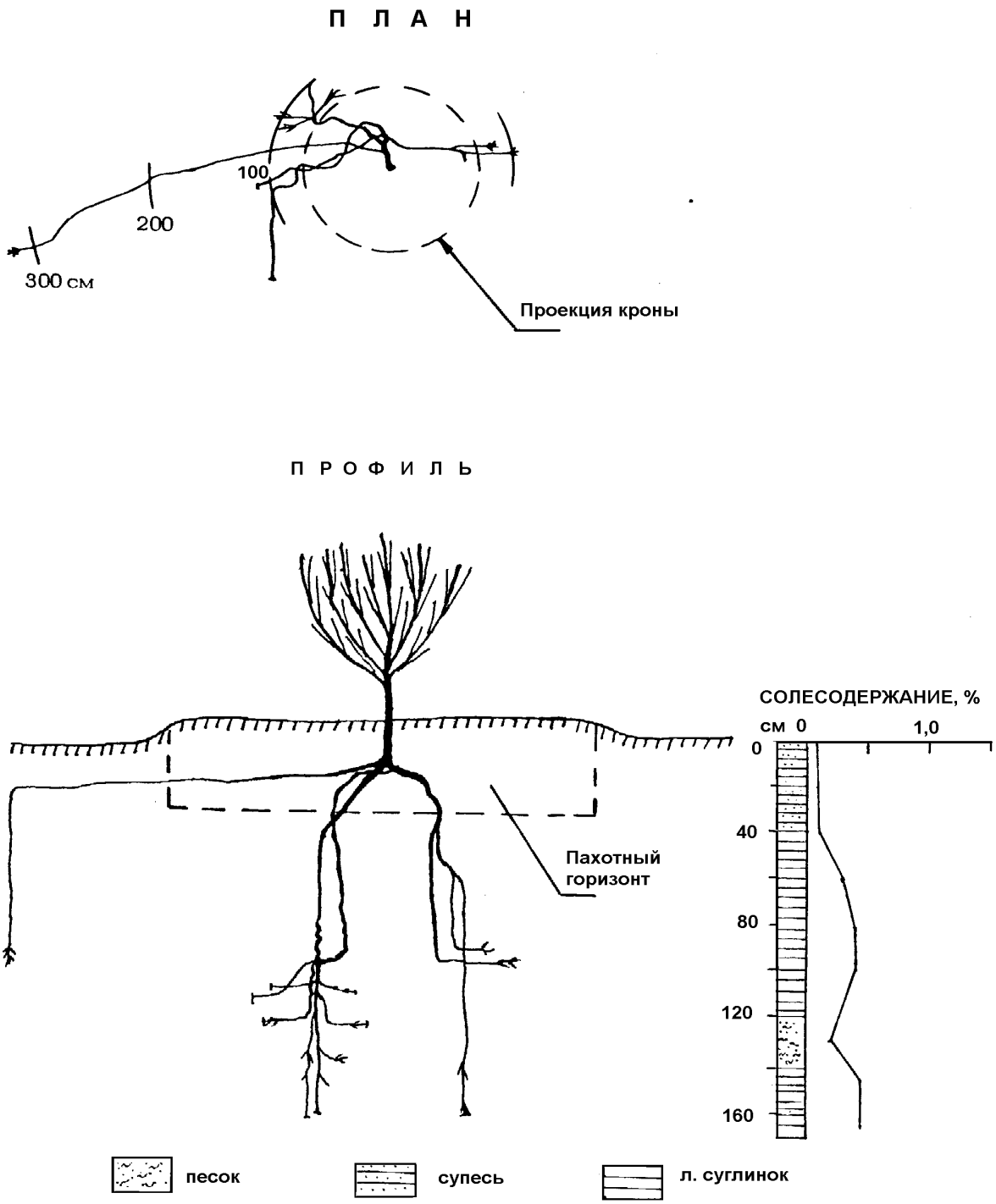
Место взятия образца	Глубина, см	$CaCO_3$	$CaSO_4$
Деструктивная область			
Эродируемая почва	0-5	7,750	0,0334
	20	14,082	0,0677
	40	8,884	0,0780
	60	7,680	0,0540
	80	4,536	0,0410
	100	4,897	0,0370
	120	4,624	0,0990
	150	5,014	0,0840
Деструктивно-аккумулятивная область (в группах борозд-валов)			
Вал	5-10	13,138	0,0680
	15-20	8,823	0,0300
	30-35	12,654	0,0570
	40-45	16,086	0,0910
Борозда	5-10	5,508	0,0510
	15-20	1,876	0,0440
	30-35	13,614	0,0770
	40-45	15,987	0,0780
	50-55	11,173	0,2340
	60-65	8,508	0,0570

Приложение 37

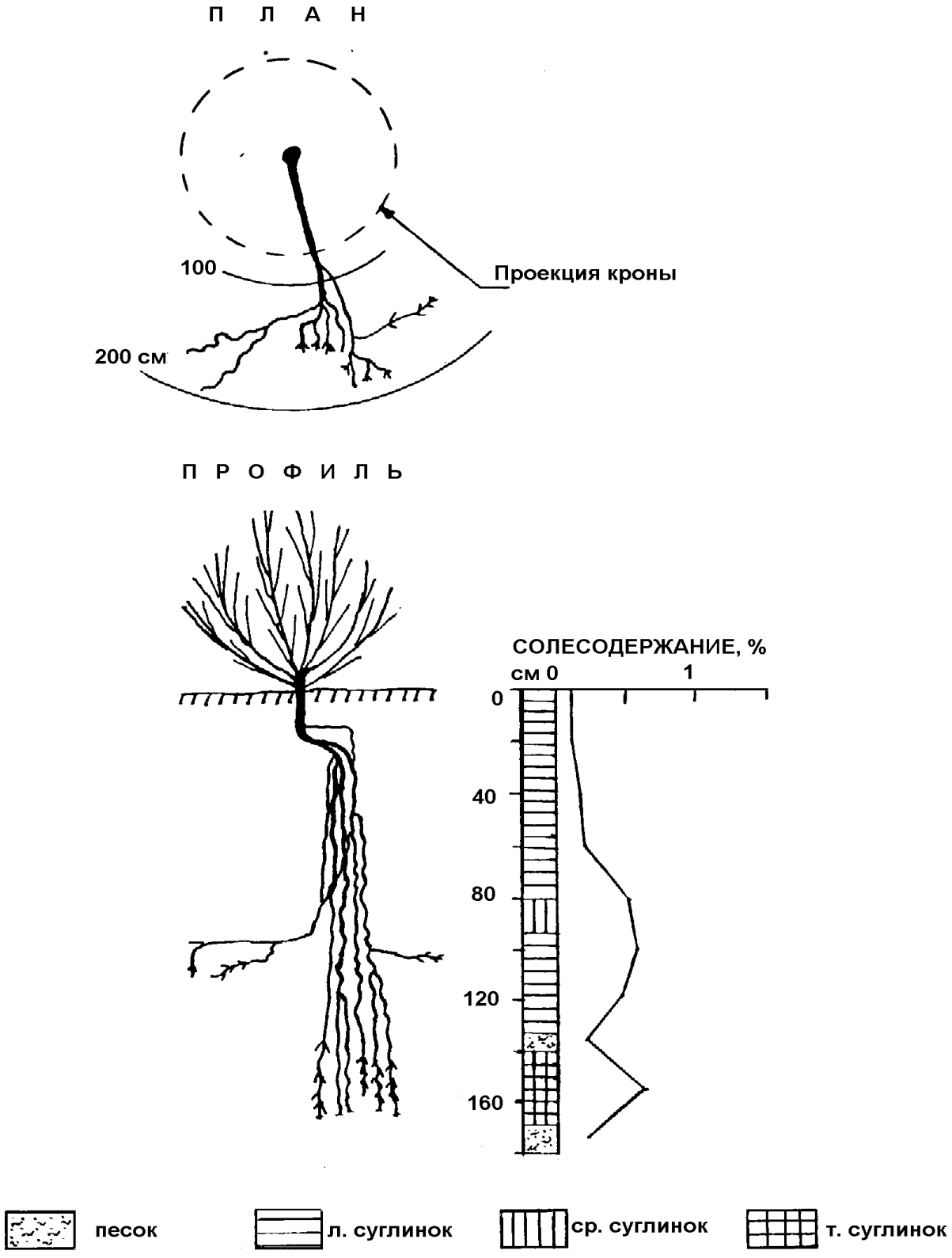
Корневая система 2-летнего саксаула в ДО очага дефляции. Посадка МПП-1. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



Корневая система 2-летнего саксаула в ДО очага дефляции. Посадка СЛН-1 по взрыхленным лентам. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.

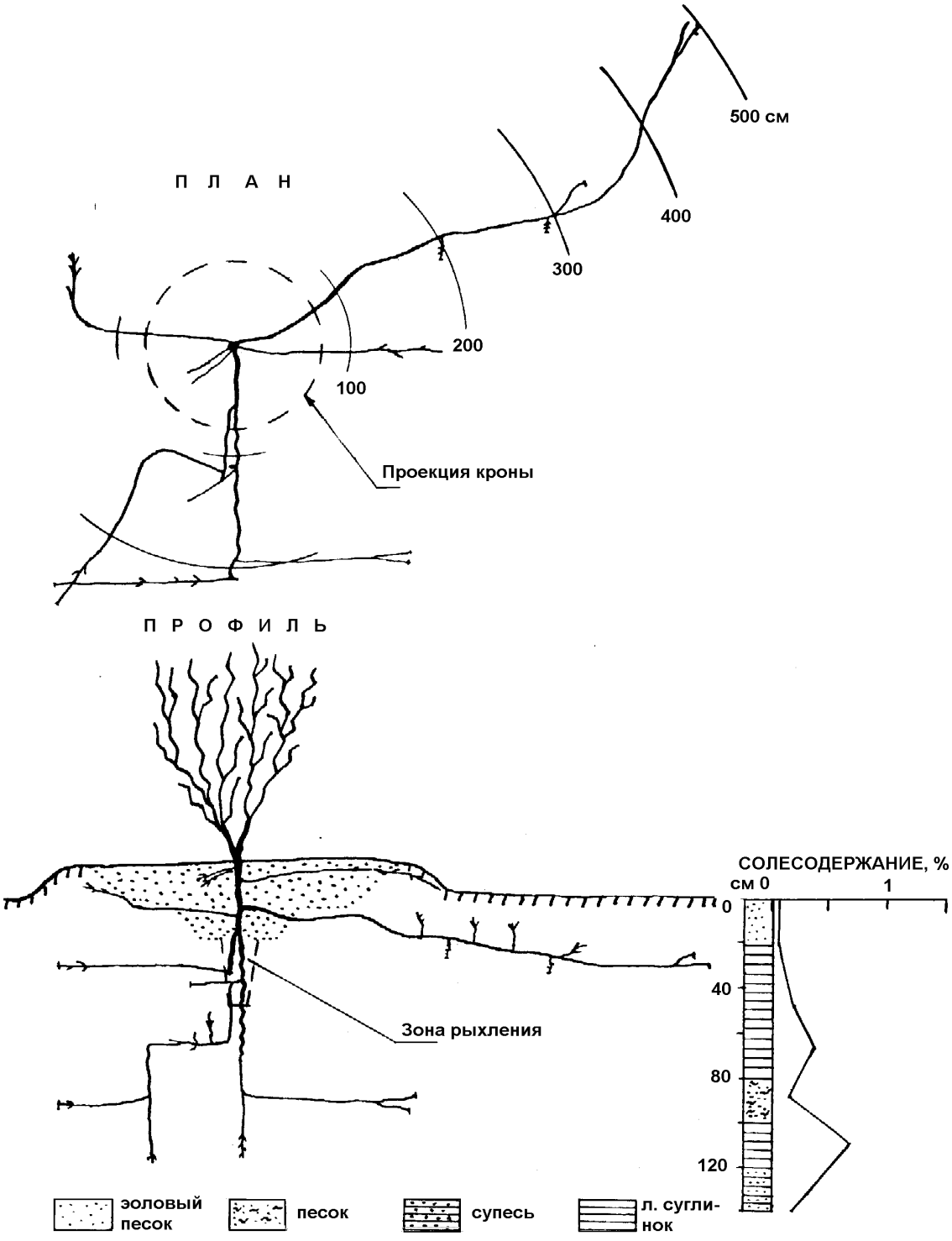


Корневая система 2-летнего саксаула в ДО очага дефляции.
Посадка СЛН-1 в необработанную почву. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



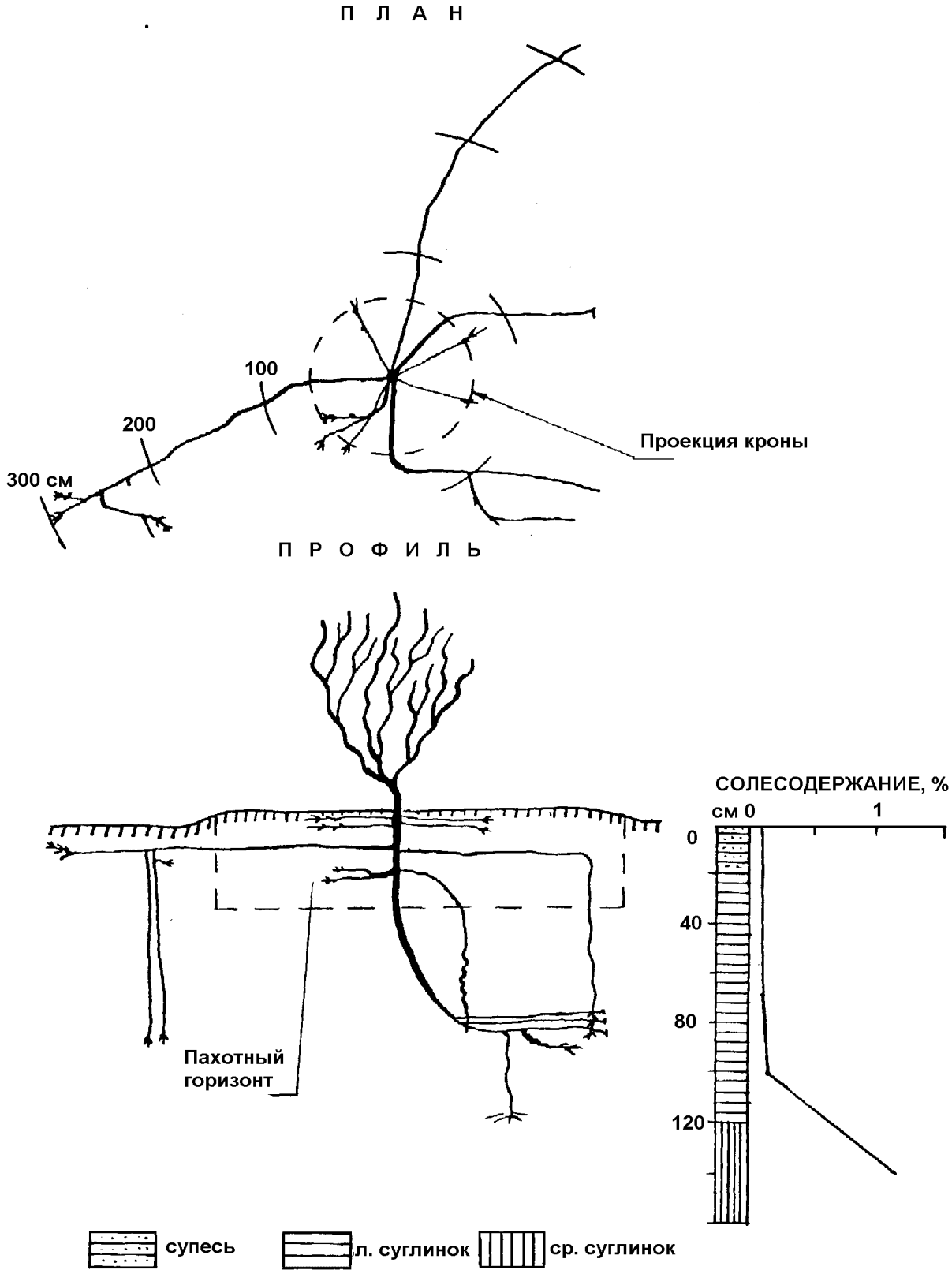
Приложение 40

Корневая система 2-летнего джузгуна в ДО очага дефляции. Посадка МПП-1. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



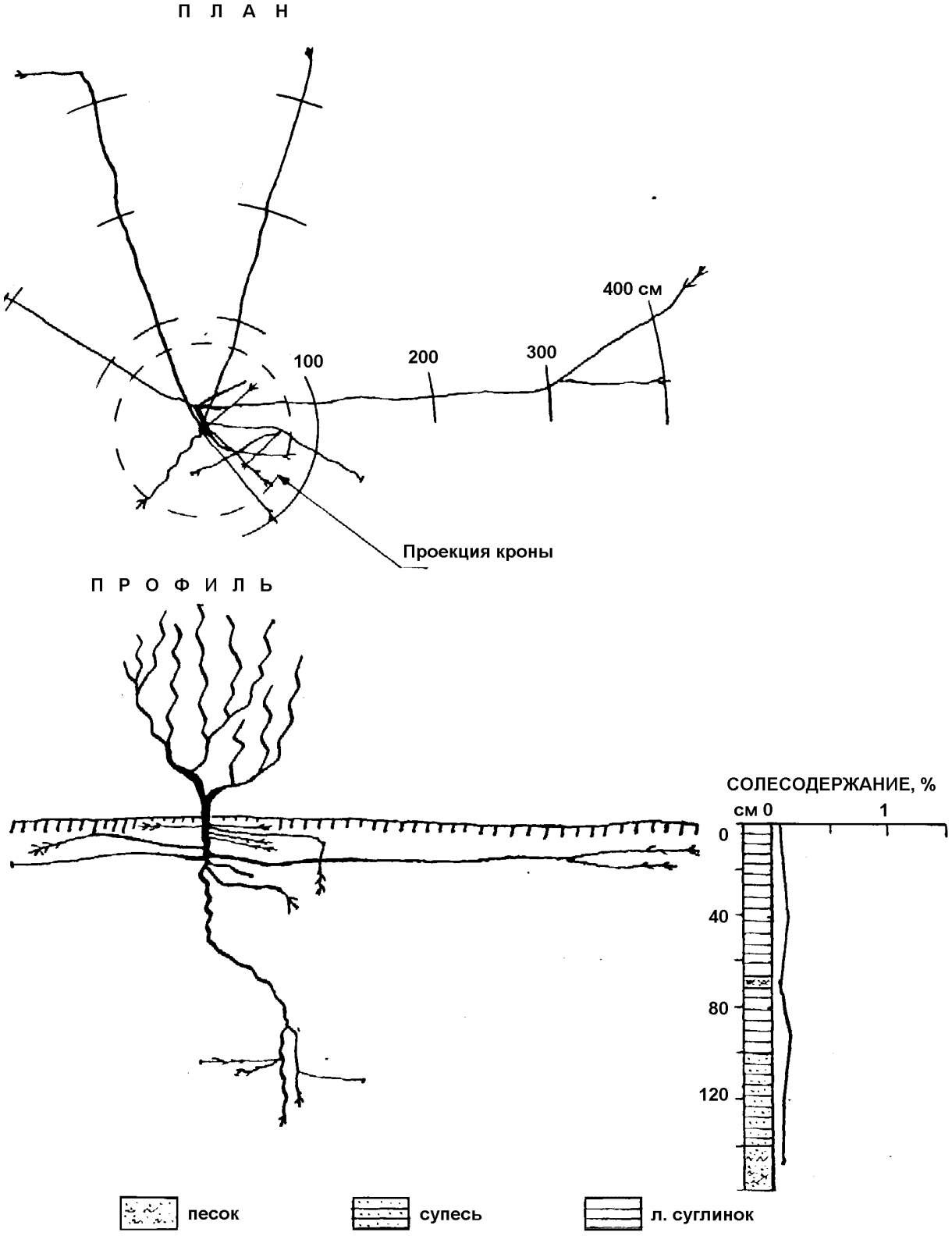
Приложение 41

Корневая система 2-летнего джузгуна в ДО очага дефляции. Посадка СЛН-1 по взрыхленным лентам. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



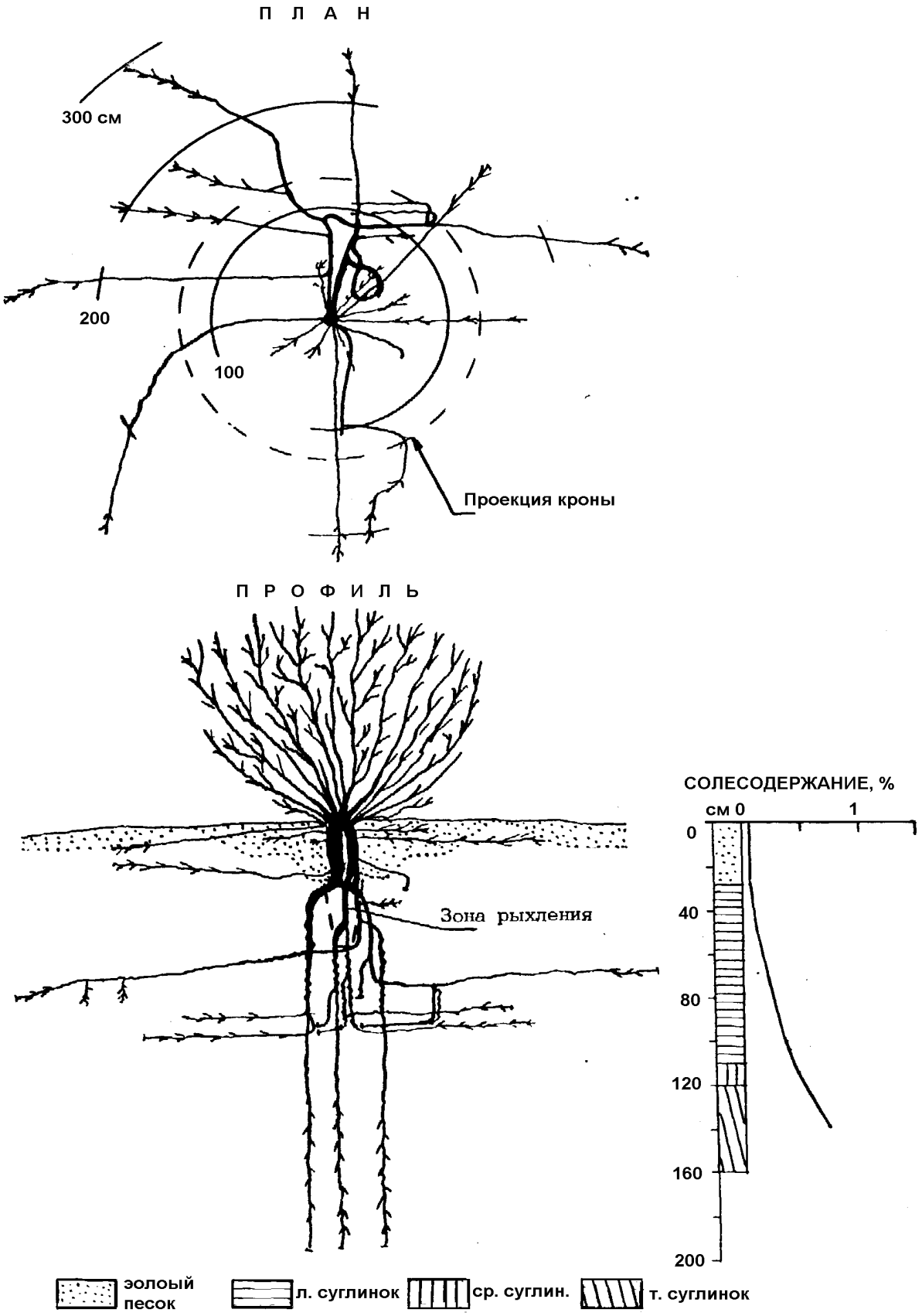
Приложение 42

Корневая система 2-летнего джузгуна в ДО очага дефляции. Посадка СЛН-1 в необработанную почву. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.

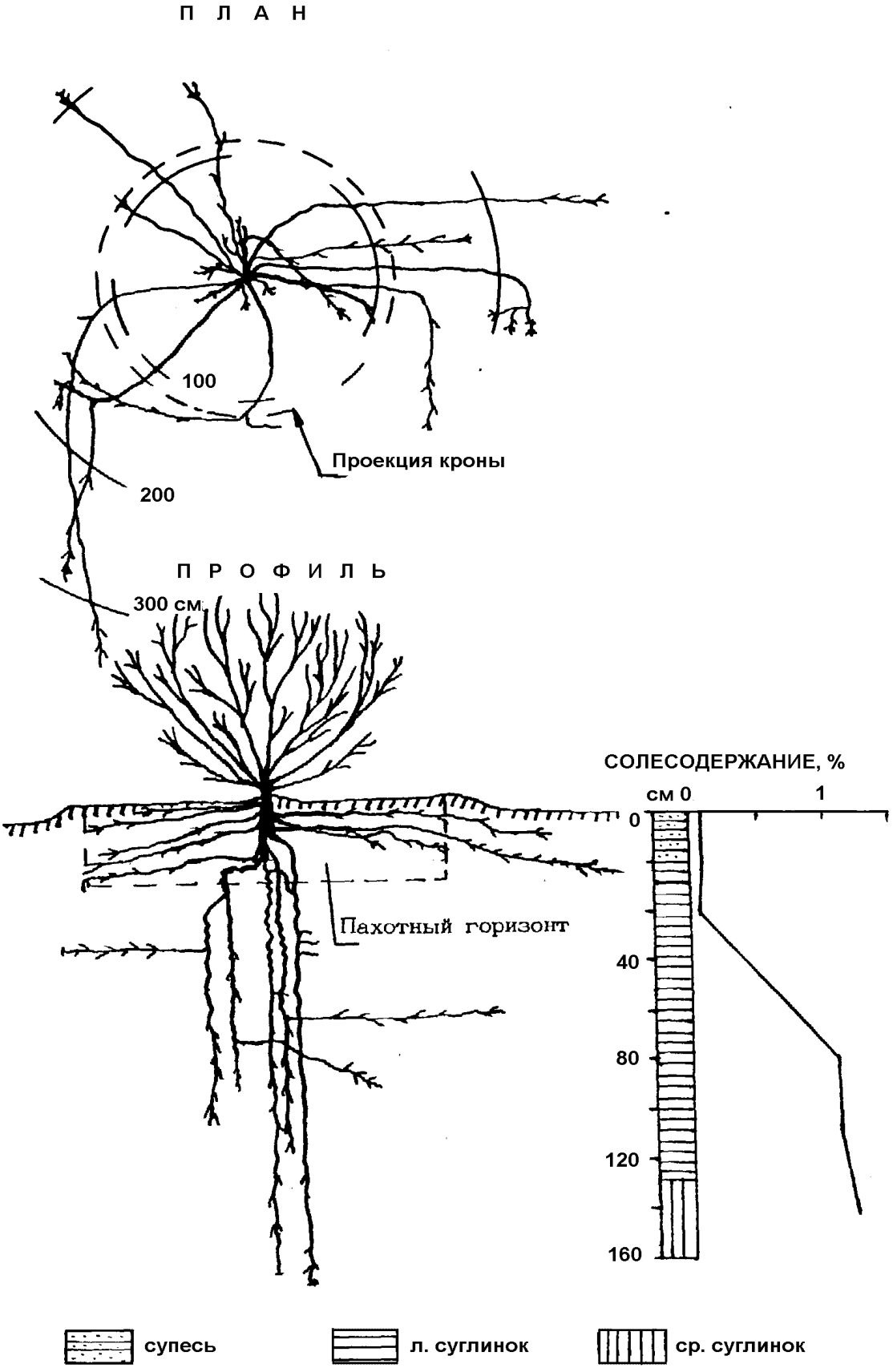


Приложение 43

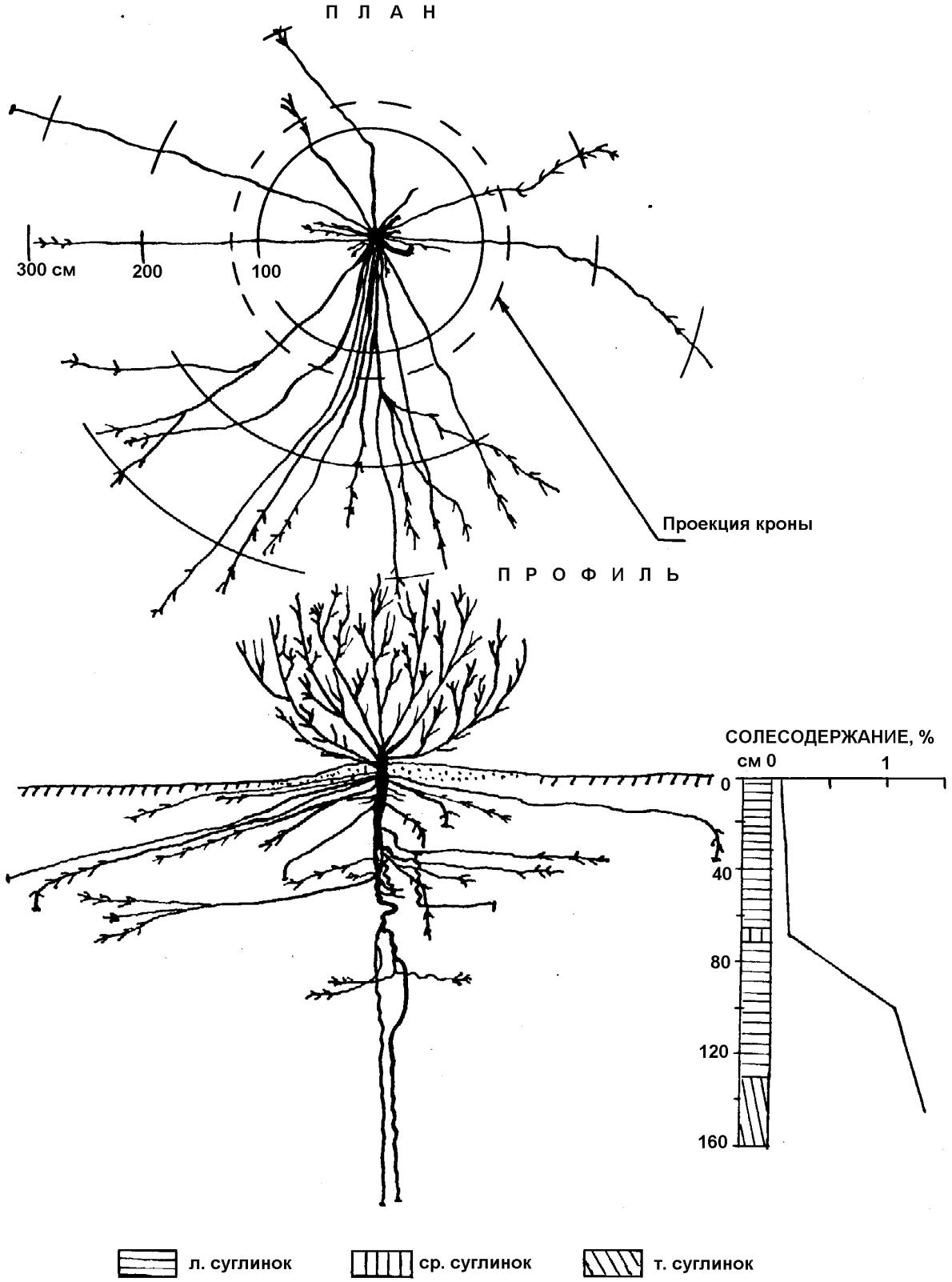
Корневая система 2-летнего терескена в ДО очага дефляции. Посадка МПП-1. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



Корневая система 2-летнего терескена в ДО очага дефляции. Посадка СЛН-1 по взрыхленным лентам. Ур. "Родина", октябрь 1982 г



Корневая система 2-летнего терескена в ДО очага дефляции. Посадка СЛН-1 в необработанную почву. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



Приложение 46

Динамика запасов продуктивной почвенной влаги (мм) на закультивированной части ДО очага дефляции. Ур. "Родина"

Глубина взятия образца	Междурядье					Борозда МПП-1				Взрыхленная лента			
	XII. 80	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1981 г.													
0-5	7,9	8,4	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0
5-30	44,6	49,9	12,8	13,9	0	-	19,1	8,6	13,1	-	15,0	2,3	6,4
30-50	26,4	18,0	2,7	7,8	2,1	-	8,7	0	9,0	-	9,6	0	0
0-50	78,9	76,3	15,5	21,7	2,1	-	27,8	8,6	22,1	-	24,6	2,3	6,4
50-70	22,8	14,1	1,5	19,2	19,5	-	6,9	9,3	14,4	-	5,7	14,4	13,2
70-90	24,6	30,3	12,9	31,5	19,5	-	11,7	26,1	39,3	-	15,0	42,6	35,4
90-110	42,6	54,0	13,8	51,3	48,0	-	21,3	48,0	45,9	-	21,0	44,1	44,1
110-130	35,2	42,2	12,8	56,0	54,1	-	20,2	48,0	46,7	-	17,0	45,8	50,6
130-150	35,2	40,3	23,7	56,0	56,0	-	19,5	47,7	48,3	-	18,6	53,4	59,2
0-150	239,3	257,2	80,2	235,7	199,5	-	107,4	187,7	216,7	-	101,9	202,6	208,9
1982 г.													
0-5	-	0,7	0	0	0	1,4	0	0	0	0,8	0	0	0
5-30	-	8,6	17,6	1,9	0	19,5	0	0	3,8	12,0	4,9	0	0
30-50	-	0	20,4	0	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0
0-50	-	9,3	38,0	1,9	0	20,9	1,8	0	3,8	12,8	4,9	0	0
50-70	-	0	26,1	12,3	0	0	14,7	0	0	0	9,0	0	0
70-90	-	0	40,2	37,5	5,1	0	39,6	12,6	8,1	7,2	37,8	15,9	6,3
90-110	-	6,9	51,9	43,5	15,3	9,0	55,2	20,1	13,2	10,8	45,3	21,9	9,0
110-130	-	9,0	53,4	47,0	7,7	0	51,8	16,0	8,0	0	42,6	33,0	12,2
130-150	-	9,6	52,8	30,4	22,1	0	66,6	28,2	3,8	5,4	51,8	38,7	17,6
0-150	-	34,8	262,4	172,6	50,2	29,9	229,7	76,9	36,9	36,2	191,4	109,5	45,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1983 г.													
0-5	-	2,0	0	0	0	1,5	0	0	0	1,3	0	0	0
5-30	-	39,2	7,4	0	0	36,4	4,9	0	0	21,8	1,5	0	0
30-50	-	25,8	0	1,8	0	20,1	0	0	0	11,5	0	0	0
0-50	-	67,0	7,4	1,8	0	58,0	4,9	0	0	34,6	1,5	0	0
50-70	-	2,1	1,2	3,0	-	0	0	0	0	0	0	0,6	0
70-90	-	11,1	12,9	27,0	-	8,1	0	15,0	0	10,5	23,4	16,2	0
90-110	-	25,5	8,4	24,3	-	7,5	5,7	15,3	-	12,0	19,2	4,2	-
110-130	-	16,3	10,6	28,2	-	7,0	4,8	24,6	-	15,0	13,8	0	-
130-150	-	25,6	12,8	16,3	-	11,5	18,9	13,1	-	22,1	10,6	0	-
0-150	-	147,6	53,3	100,5	-	92,1	34,3	68,0	-	94,2	68,5	21,0	-

Примечание. "-" данные не определены.

Приложение 47

Средняя и максимальная месячная и годовая скорость ветра, м/с

Показатель	Месяц												Год
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Метеопост п. Нарын-Хундук													
Многолетняя	4,8	4,8	4,8	5,0	5,3	5,2	4,8	4,7	4,3	4,7	4,0	4,1	4,7
1980-1981: средняя	3,2	4,0	4,5	6,4	4,1	3,5	4,8	2,9	3,3	2,9	2,9	3,4	4,0
максимальная	14,0	17,0	16,0	22,0	16,0	14,0	18,0	13,0	13,0	12,0	12,0	14,0	18,0
1981-1982: средняя	3,9	4,9	4,1	3,5	4,6	4,7	3,3	3,8	3,8	4,9	4,8	4,3	4,0
максимальная	14,0	20,0	18,0	17,0	18,0	17,0	16,0	18,0	13,0	17,0	18,0	17,0	20,0
1982-1983: средняя	3,8	3,4	4,1	3,8	5,0	4,1	4,6	3,9	4,1	4,1	3,9	3,6	4,0
максимальная	14,0	16,0	16,0	16,0	19,0	16,0	20,0	19,0	23,0	22,0	19,0	20,0	23,0
Метеопост п. Утта													
Многолетняя	4,2	3,8	4,4	4,7	4,7	4,4	4,2	3,9	3,4	3,3	3,4	3,6	4,0
1981-1982: средняя	4,4	5,1	4,0	3,6	4,6	4,7	3,2	4,3	3,8	4,9	4,3	4,0	4,2
максимальная	12,0	18,0	16,0	14,0	18,0	18,0	16,0	18,0	13	16,0	18,0	15,0	18,0
1982-1983: средняя	3,6	3,5	4,2	4,2	5,0	4,4	4,4	2,8	2,7	2,6	2,7	2,9	4,0
максимальная	14,0	16,0	16,0	15,0	20,0	18,0	24,0	16,0	14	16,0	14,0	18,0	24,0
1983-1984: средняя	3,6	4,6	-	-	-	-	-	7,6	7,2	6,7	6,4	-	-
максимальная	20,0	20,0	28,0	15,0	18,0	26,0	24,0	20,0	24	21,0	18,0	-	-

Приложение 48

Среднемесячная, сезонная и годовая температура воздуха (°С) и количество осадков (мм) в годы проведения исследований в районах выполнения опытных работ

Месяц, сезон, год	Температура воздуха				Количество осадков			
	Норма	1980-1981	1981-1982	1982-1983	Норма	1980-1981	1981-1982	1982-1983
Метеопост п. Нарын-Худук								
XI	3,4	5,5	5,4	2,9	18	34,5	24,7	11,4
XII	–2,0	3,9	3,3	0,2	17	9,5	10,0	3,9
I	–5,1	–0,4	–3,4	–2,1	20	8,0	8,0	16,9
II	–4,4	–0,5	–8,6	2,0	17	4,5	8,5	6,8
III	0,9	2,7	1,1	1,8	18	6,0	2,9	9,2
IV	9,3	8,8	12,4	13,7	18	4,1	13,2	31,4
V	17,3	15,3	18,0	19,4	21	57,7	40,8	27,9
VI	22,3	24,4	21,2	22,0	23	24,5	23,5	18,5
VII	25,5	27,1	25,5	27,2	18	34,5	43,6	2,0
VIII	24,0	24,6	23,6	24,1	18	44,5	9,0	10,0
IX	17,4	18,9	18,3	17,4	18	6,9	12,2	12,5
X	10,2	12,8	9,0	10,5	15	4,7	4,2	3,6
XI-III	–1,4	2,2	–2,2	4,8	90	62,5	54,1	48,2
IV-X	18,0	18,7	18,3	19,2	131	176,8	146,8	105,9
Год	9,9	11,1	10,5	11,6	221	239,0	201,0	154,0
Метеопост п. Утта								
XI	1,9	4,8	2,2	3,1	16	38,2	11,5	26,6
XII	–3,4	1,9	–0,1	–0,3	18	17,5	7,5	22,5
I	–6,6	–4,7	–2,8	–0,5	16	13,7	23,1	4,8
II	–6,0	–10,1	1,0	–7,0	12	4,0	7,8	0
III	–0,1	0,1	1,4	1,4	14	7,4	16,0	12,7
IV	9,6	12,3	13,9	10,3	16	23,5	15,5	30,5
V	17,4	19,0	19,4	19,7	26	20,3	72,7	16,4
VI	22,6	20,8	21,7	23,3	26	23,9	24,5	27,1
VII	25,6	25,6	27,3	27,6	22	45,9	13,7	9,5
VIII	24,1	23,4	23,7	22,9	20	30,4	4,7	8,1
IX	17,2	17,9	17,5	19,1	18	4,5	20,2	6,9
X	9,1	9,0	10,3	10,0	18	8,9	3,0	-
XI-III	–2,8	8,2	1,7	–0,7	76	80,8	65,9	66,6
IV-X	17,4	18,1	19,1	18,8	146	157,4	154,3	-
Год	9,3	10,0	11,3	10,8	222	238,0	220,0	-

Приложение 49

Гранулометрический состав почвы заросших бугристых песков. Ур. "Родина", 1981 г.

Горизонт	Глубина, см	Фракции, %							Сумма фракций	
		> 0,5	0,5-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	физический песок > 0,01	физическая глина < 0,01
АВ	0-19	0,47	0,80	92,23	1,80	1,10	0,90	2,70	95,30	4,70
В	19,36	0,05	0,47	90,58	0,70	1,30	1,30	5,60	91,80	8,20
В	36-65	0,10	0,77	90,03	0,30	1,00	1,80	6,00	91,20	8,80
ВС	65-150	0,10	0,36	90,64	0,80	0,90	1,20	6,00	91,90	8,10

Приложение 50

Содержание гумуса, азота и фосфора (%) в почвогрунте заросших бугристых песков на различных элементах рельефа. Ур. "Родина", 1984 г.

Глубина взятия образца, см	Место взятия образца								
	вершина крупного бугра			вершина низкого бугра			межбугровое понижение		
	гумус	азот	фосфор	гумус	азот	фосфор	гумус	азот	фосфор
0-5	0,18	0,020	0,04	1,35	0,040	0,07	1,05	0,05	0,07
20	1,08	0,010	0,04	0,23	0,030	0,06	1,40	0,04	0,05
40	0,10	0,004	0,04	0,40	0,030	0,04	0,63	0,03	0,05
60	0,20	0,008	0,03	0,35	0,020	0,04	0,15	0,03	0,04
80	0,18	0,008	0,04	0,23	0,004	0,02	0,10	0,02	0,05
100	0,18	0,020	0,04	0,15	0,004	0,03	0,10	0,02	0,05

Приложение 51

Водно-физические свойства почвы заросших бугристых песков. Ур. "Родина", 1981 г.

Глубина образца, см	Удельная масса, г/м^3	Объемная масса, г/см^3	Порозность, %	НВ, %	МГ, %	ВЗ, %
0-5	2,65	1,50	43,4	12,3	1,9	2,5
10	-"-	-"-	-"-	9,6	-	-
20	-"-	-"-	-"-	9,4	1,6	2,1
30	-"-	1,36	48,7	9,5	-	-
40	-"-	1,37	48,3	9,8	1,7	2,3
50	-"-	-"-	-"-	-"-	-	-
60	-"-	-"-	-"-	-"-	1,6	2,1
70	-"-	1,48	44,2	9,3	-	-
80	-"-	-"-	-"-	8,9	1,4	1,9
90	-"-	-"-	-"-	8,6	-	-
100	-"-	-"-	-"-	7,5	1,7	2,3
120	-"-	-"-	-"-	-	1,6	2,1
150	-"-	-"-	-"-	-	1,6	-"-

Примечание. "-" показатели не определены.

Приложение 52

Сорная растительность в опытных культурах весенней посадки 1981 г. на заросших бугристых песках в вариантах опыта без уходов за почвой. Ур. "Родина"

Место определения	Май 1981 г.			Май 1982 г.			Май 1983 г.		
	видовой состав	сред. высота, см	воздушно-сухая масса, г/см^2	видовой состав	сред. высота, см	воздушно-сухая масса, г/см^2	видовой состав	сред. высота, см	воздушно-сухая масса, г/см^2
Борозда МПП-1	Эбелек, липучка, мятлик луковичный	10-12	3,0	Эбелек, гулявник	10-60	51,3	Эбелек, костер кровельный	5-27	64,9
Вспаханная лента	-"-	15-17	31,2	Эбелек, костер кровельный, гулявник	30-40	72,8	Эбелек, костер кровельный, мятлик луковичный	5-19	82,9

Приложение 53

Сорная растительность в опытных однолетних культурах на заросших бугристых песках при отсутствии уходов за почвой. Ур. "Родина"

Место определения	Срок подготовки почвы и посадки культур	Май		Сентябрь			
		Видовой состав	Средняя высота, см	Воздушно-сухая масса, г/м^2	Видовой состав	Средняя высота, см	Воздушно-сухая масса, г/м^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1981 г.							
Междурядья (целина)	-	Мятлик луковичный, костер кровельный, кохя и др.	28-30	237,0	Те же	28-30	78,1
Борозда МПП-1	Осенний	Эбелек, липучка, мятлик луковичный, костер кровельный	20-25	20,2	Те же	28-30	84,6
Вспаханная лента	-"-	Те же	20-25	40,2	Те же	25-30	75,2
Борозда МПП-1	Весенний	Эбелек, липучка, мятлик луковичный	10-12	3,0	Те же	25-30	22,1
Вспаханная лента	-"-	Те же	15-17	31,2	Те же	20-25	25,8
1982 г.							
Междурядье (целина)	-	Те же	10-15	60,8	Мятлик луковичный, костер кровельный, эбелек, кохия и др.	5-10	57,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Борозда МПП-1	-	Мятлик луковичный, костер кровельный, кохия и др.	10-25	43,2	Те же	10-15	60,8
Вспаханная лента	Осенний	Костер кровельный, мятлик луковичный, эбелек	5-15	2,8	Те же	15-25	39,0
Борозда МПП-1		Те же	3-18	3,8	Те же	10-20	36,5
Вспаханная лента		Сорняков нет	-	0	Те же	-	0
		Костер кровельный, мятлик луковичный, эбелек	15-25	1,5	Те же	15-25	5,5
1983 г.							
Междурядье (целина)	-	Мятлик луковичный, костер кровельный, эбелек, кохия и др.	5-10	57,1	Те же	10-15	75,2
Борозда МПП-1	Осенний	-	-	-	Те же	-	-
Вспаханная лента	-"-	-	-	-	Те же	-	-
Борозда МПП-1	Весенний	Сорняков нет	-	0	Те же	-	0
Вспаханная лента	-"-	-"-	-	0	Те же	-	0

Приложение 54

Запасы продуктивной влаги (мм) в почвогрунте под однолетними культурами на заросших бугристых песках. Ур. "Родина"

Глубина взятия образца, см	Междурядье (целина)					Осенняя борозда МПП-1				Взрыхленная лента осеннего срока подготовки почвы				Весенняя борозда МПП-1			Взрыхленная лента весеннего срока подготовки почвы		
	XII	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	VI	VIII	X	VI	VIII	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
XII. 1980 г.	*1981 г.*																		
0-5	6,0	5,3	0	0	0	4,5	0	0	0	4,1	0	0	0	0	0	0	-	0	0
5-30	19,5	16,9	1,9	0	0	20,3	12,4	2,3	0,4	21,8	9,4	0	0	16,1	4,5	3,4	-	0,8	0,4
30-50	12,9	12,0	1,1	0,6	0	14,6	9,2	1,1	0	15,7	8,7	0,6	0	12,3	4,5	2,0	-	3,9	0,6
0-50	38,4	34,2	3,0	0,6	0	39,4	21,6	3,4	0,4	41,6	18,1	0,6	0	28,4	9,0	5,4	-	4,7	1,0
50-70	2,0	9,5	2,8	1,7	0,8	13,2	9,5	1,4	0,3	12,0	13,4	0,6	0,3	14,3	4,2	1,4	-	3,9	1,7
70-90	0,6	9,6	4,5	1,8	1,8	3,6	12,0	1,2	1,2	6,3	15,6	1,2	1,8	17,4	5,1	2,1	-	4,5	2,1
90-110	-	3,0	2,7	0,3	0	-	11,7	0,3	0,3	2,1	14,1	3,6	0,3	10,5	7,2	2,1	-	3,6	0,9
110-130	-	4,7	1,8	0,9	0,3	-	13,5	4,2	2,7	-	13,5	4,2	1,2	2,4	7,8	5,7	-	5,7	1,5
130-150	-	4,1	0,9	0,9	0,3	-	2,7	12,3	3,6	-	9,6	2,1	1,2	1,5	8,7	7,2	-	2,1	1,5
0-150	-	65,1	15,7	6,2	3,2	-	71,0	22,8	8,5	-	84,3	12,3	5,3	74,5	42,0	23,9	-	24,5	8,7
XII. 1981 г.	*1982 г.*																		
0-5	8,1	7,1	0	0	0	2,5	0	0	0	1,3	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0
5-30	26,6	35,3	3,4	0	0,4	19,1	14,3	0	0,4	18,4	12,0	0	0	18,0	0	2,3	13,5	1,5	0,9
30-50	8,4	16,5	0,8	0	0,6	13,2	13,1	0	1,1	16,8	9,0	0	0,6	11,2	0	0,8	9,5	0	0,6
0-50	43,1	58,9	4,2	0	1,0	34,8	27,4	0	1,5	36,5	21,0	0	0,6	29,2	0	3,3	23,0	1,5	1,5
50-70	8,4	1,7	3,4	0	0,6	1,7	10,6	0	1,7	11,2	3,6	0	1,7	9,8	1,4	1,1	5,3	0,3	1,4
70-90	0	0,6	3,6	0	3,0	1,5	3,9	1,5	2,7	2,7	4,2	0	1,8	5,4	2,1	1,8	5,7	0	2,1
90-110	2,7	0	1,2	1,5	1,5	0,6	1,8	0,6	0,9	1,2	3,0	0,9	1,2	2,4	0	1,5	1,8	0	1,8
110-130	-	0,4	2,7	0	2,1	6,0	3,0	0,6	1,2	5,4	3,0	0,6	1,2	2,4	0	2,1	2,7	0	2,7
130-150	-	0,9	5,4	0	2,4	5,4	4,2	0	0,9	4,8	4,5	0	1,2	3,6	0	2,4	5,1	1,2	4,2
0-150	-	62,5	20,5	1,5	10,6	50,0	50,9	2,7	8,9	61,8	39,3	1,5	7,7	52,8	3,5	12,2	43,6	2,7	12,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
XII. 1982 г.		*1983 г.*																	
0-5	-	7,5	0	0	4,4	-	-	-	-	-	-	-		0	0	2,1	0	0	3,1
5-30	-	26,6	0,4	0	0	-	-	-	-	-	-	-		10,1	0	0	15,4	0	0
30-50	-	11,2	5,6	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	1,4	0	11,8	1,1	0
0-50	-	45,3	6,0	0	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	16,3	1,4	2,1	27,2	1,1	3,1
50-70	-	3,6	8,4	0,8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	2,2	0	5,0	2,5	0
70-90	-	3,3	1,5	1,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	2,4	1,2	2,7	3,0	1,5
90-110	-	1,8	0	2,7	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4	3,0	1,2	3,9	2,1	2,7
110-130	-	4,5	1,2	2,7	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	12,0	3,0	6,0	4,2	5,1	6,9
130-150	-	5,1	1,8	6,6	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	12,0	3,0	6,0	4,2	5,1	6,9
0-150	-	63,6	18,9	11,9	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	35,3	13,2	11,7	43,7	14,4	16,3

Примечание. "-" нет данных.

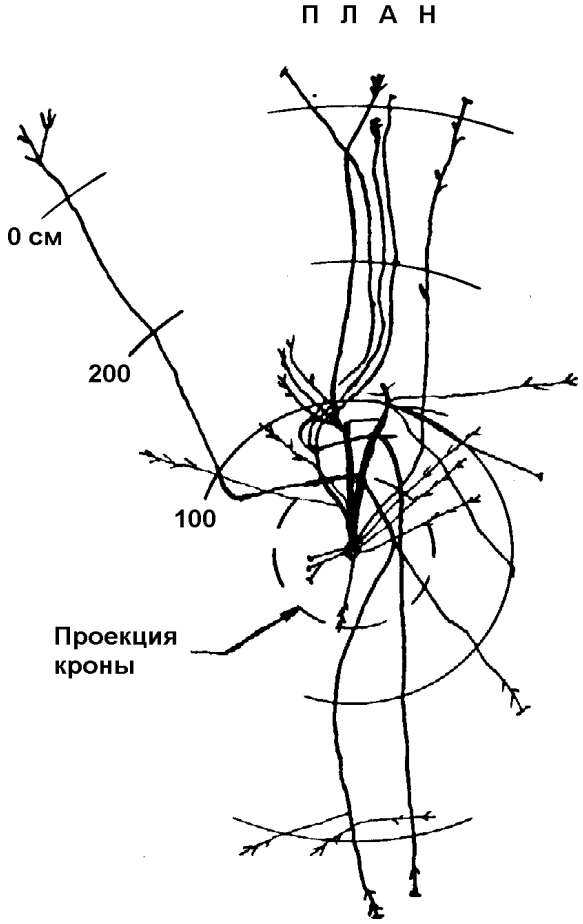
Приложение 55

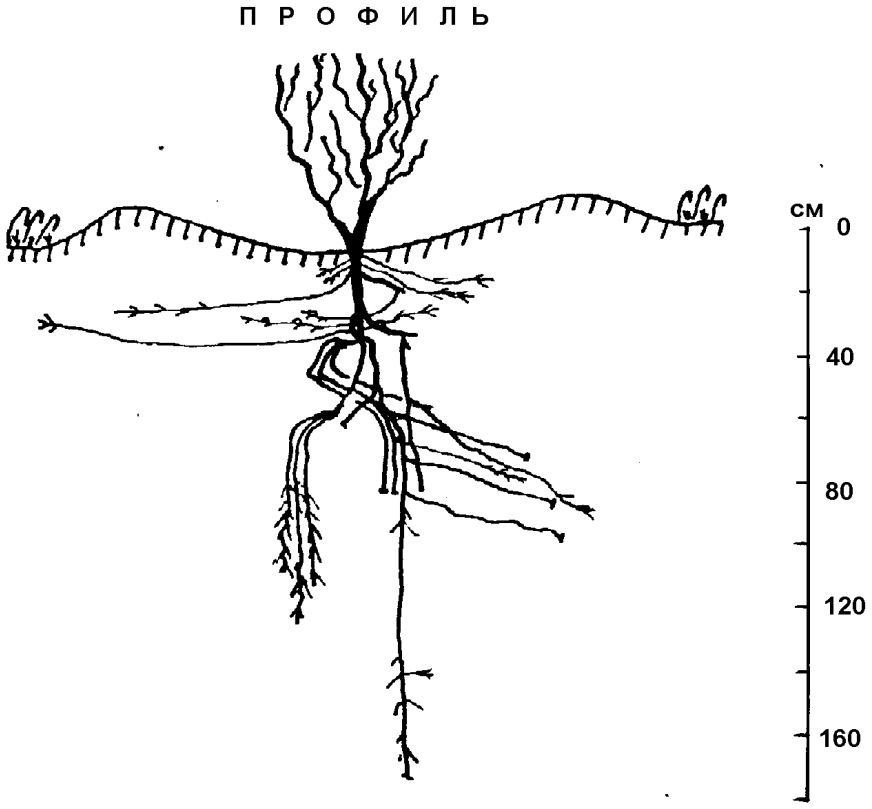
Влияние уходов за почвой на запас продуктивной влаги (мм) в насаждениях на заросших бугристых песках. Ур. "Родина", 1983 г.

Глубина образца, см	Борозда МПП-1 весенней посадки (без ухода за почвой)				Борозда МПП-1 весенней посадки (с уходом за почвой)				Взрыхленная лента перед посадкой весной (с уходом за почвой)			
	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X	III	VI	VIII	X
Культуры 1981 г.												
0-5	5,6	0	0	2,4	5,6	0	0	4,8	1,9	0	0	4,7
5-30	22,5	2,3	0	0	22,5	3,4	0	1,9	21,8	1,5	0	0
30-50	19,9	2,0	0	0	19,9	3,9	0,6	0	12,0	2,5	0,6	0
0-50	48,0	4,3	0	2,4	48,0	7,3	0,6	6,7	35,7	4,0	0,6	4,7
50-70	16,8	2,2	0,3	0,3	16,8	2,5	0,8	0,8	1,7	2,2	0,8	0,6
70-90	14,4	1,8	1,5	0,6	14,4	1,8	1,2	1,5	1,2	2,2	1,2	1,2
90-110	0,3	0,6	1,8	0	0,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6	1,5	0,3
110-130	2,7	0,9	0,6	0,3	2,7	0,9	2,4	0	0,6	1,2	1,2	1,2
130-150	3,0	1,5	2,1	0,3	3,0	1,5	1,8	0,6	0,9	3,6	0,3	0,9
0-150	85,2	11,3	6,3	3,9	85,2	14,6	7,4	9,9	40,4	13,8	5,6	4,2
Культуры 1982 г.												
0-5	2,7	0	0	2,5	2,7	0	0	3,4	1,8	0	0	2,1
5-30	18,8	1,4	0	0	18,8	14,6	0,8	0	18,8	4,5	0	0
30-50	13,4	1,4	0,6	0	13,4	18,5	2,0	0,3	1,4	2,8	0,3	0
0-50	34,9	2,8	0,6	2,5	34,9	33,1	2,8	3,7	22,0	7,3	0,3	2,1
50-70	22,7	2,2	0,3	0,8	22,7	13,2	3,1	0,6	1,4	2,2	1,4	0
70-90	24,0	2,4	3,0	4,8	24,0	12,9	6,9	2,7	4,5	3,9	3,0	1,5
90-110	11,4	5,1	3,3	0,0	11,4	12,6	4,8	0,6	4,8	3,9	4,2	2,1
110-130	4,5	4,2	4,8	3,0	4,5	4,8	2,4	1,8	5,4	4,2	3,9	2,7
130-150	5,7	4,2	5,7	3,0	5,7	4,5	4,2	2,4	6,3	3,6	2,4	2,9
0-150	100,2	20,9	17,7	14,1	100,2	81,1	24,2	11,8	44,4	25,1	15,2	11,3

Приложение 56

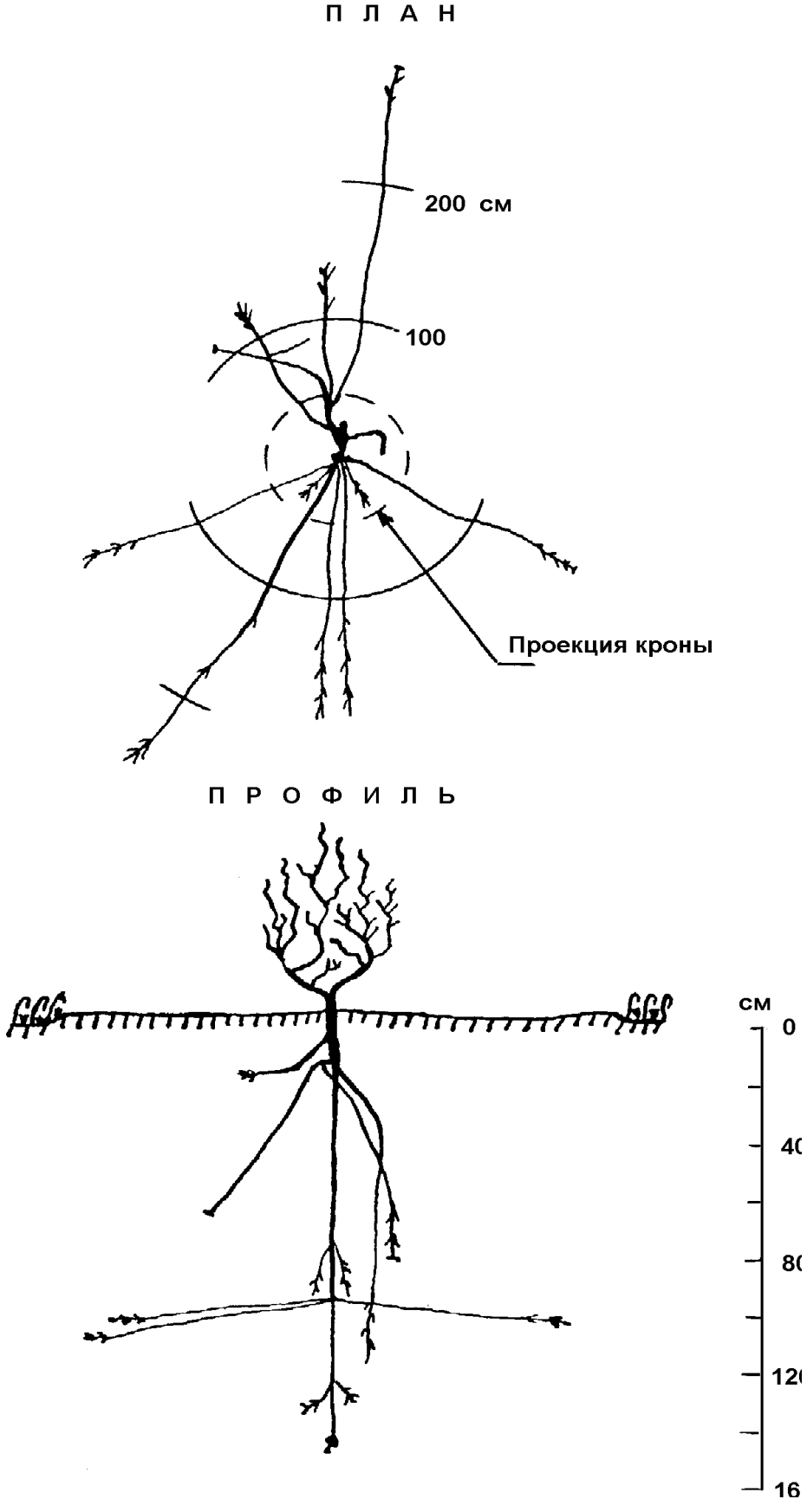
Корневая система джузгуна в 2-летнем насаждении на заросших бугристых песках. Посадка машиной МПП-1. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.





Приложение 57

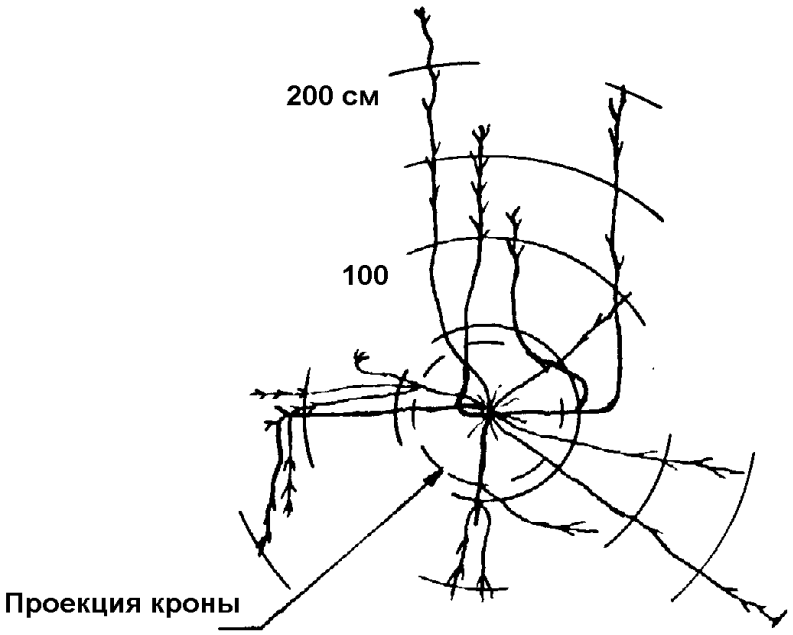
Корневая система джузгуна в 2-летнем насаждении на заросших бугристых песках. Посадка машиной СЛН-1 по взрыхленным лентам. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.



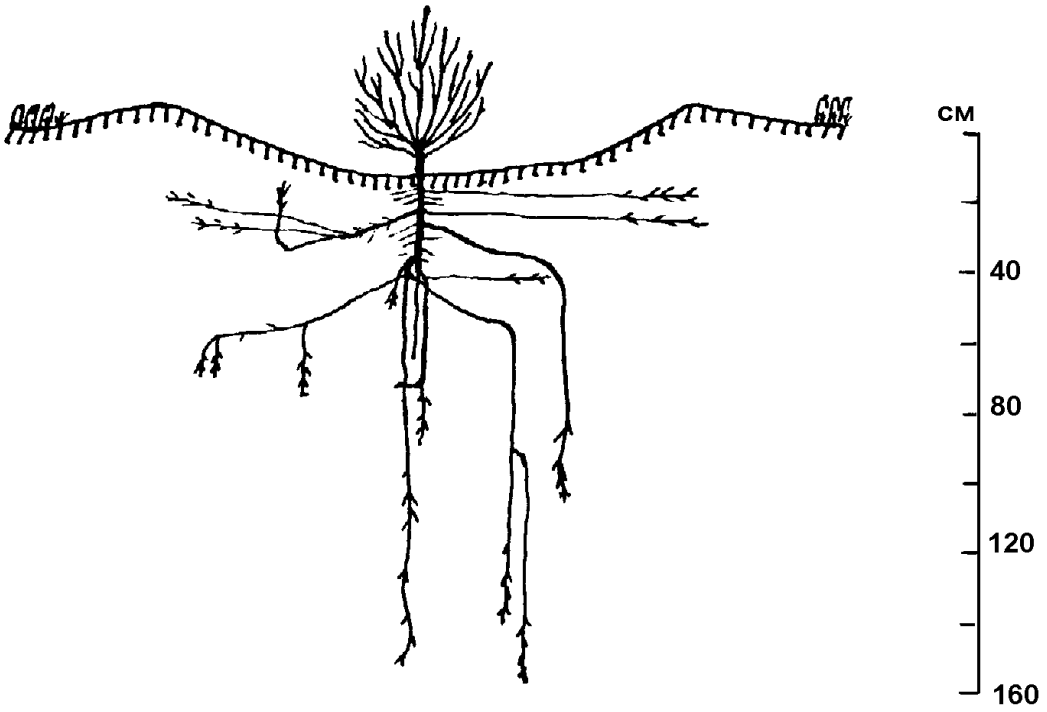
Приложение 58

Корневая система терескена в 2-летнем насаждении на заросших бугристых песках. Посадка машиной МПП-1. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.

П Л А Н



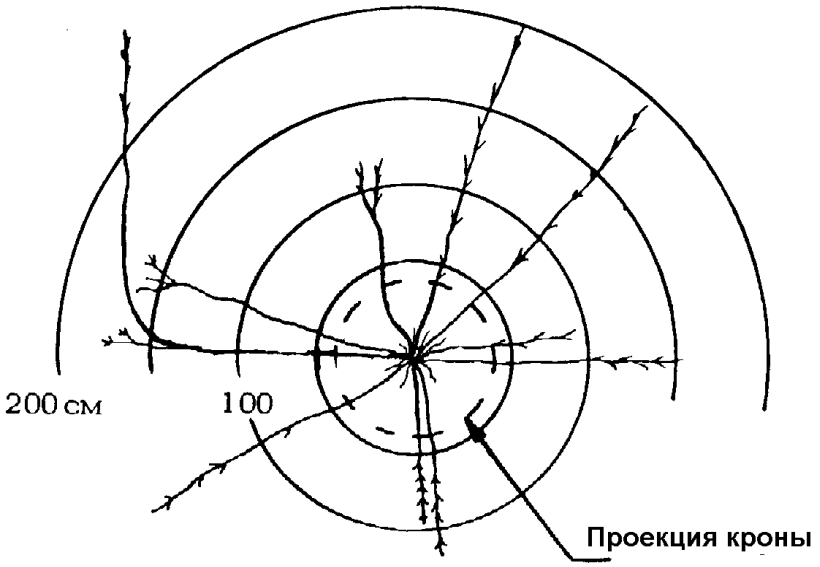
П Р О Ф И Л Ь



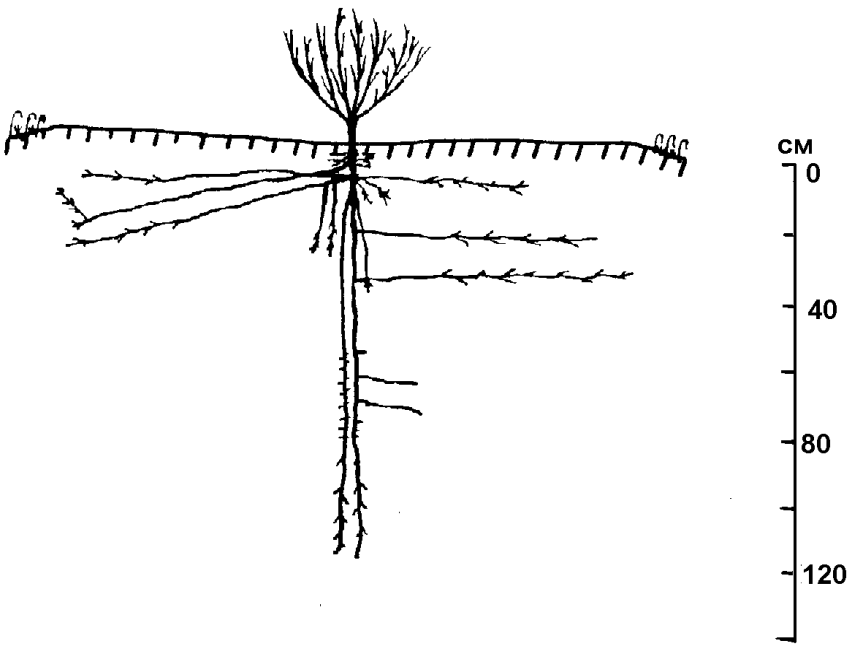
Приложение 59

Корневая система терескена в 2-летнем насаждении на заросших бугристых песках. Посадка машиной СЛН-1 по взрыхленным лентам. Ур. "Родина", октябрь 1982 г.

П Л А Н



П Р О Ф И Л Ь



СОДЕРЖАНИЕ

Введение…… 4
1. Физико-географические условия……. 8
2. Лесорастительные условия и лесопригодность земель засушливой зоны……..... 13
2.1. Основные представления о причинах безлесья степей…… 13
2.2. Оценка географической среды лесообразования…….. 16
2.3. Водный режим сосновых культур..... 21
2.3.1. Водопотребление и влагообеспеченность насаждений…… 21
2.3.2. Транспирационная активность хвои…… 23
2.3.3. Физическое и суммарное испарение влаги, водный баланс в насаждениях сосны…….. 25
2.3.4. Корневая система сосны и корнедоступность почвенной влаги…….. 28
2.4. Современные представления о лесопригодности почвогрунтов 32
2.4.1. Лесопригодность автоморфных почвогрунтов для массивного облесения сосной…….. 33
2.5. Количественная оценка лесопригодности земель…… 41
2.5.1. Теоретические основы……... 41
2.5.2. Моделирование водно-физических свойств почвогрунта….. 46
2.5.3. Моделирование влагонасыщения атмосферными осадками корнеобитаемого слоя в сомкнутых насаждениях сосны……..... 48
2.5.4. Моделирование влагопотребления насаждениями сосны… 51
2.5.5. Моделирование охвоенности насаждений сосны……... 52
2.5.6. Моделирование лесопригодности почвогрунтов……... 53
2.5.7. Моделирование стабильности влагообеспеченности сосновых насаждений……... 56
2.6. Засухоустойчивость сосновых насаждений……..... 60
2.7. Водный режим субстратов и устойчивость культур сосны в лизиметрических моделях…….. 71
2.7.1. Динамика атмосферного увлажнения и водный режим открытого песчаного субстрата…….. 72
2.7.2. Водный режим субстратов в насаждениях сосны…….. 77
2.7.3. Рост и состояние насаждений……... 83
2.7.4. Эффективность почвенного раствора и засухоустойчивость насаждений……. 89
2.8. Особенности роста культур сосны и лесопригодность песчаных земель Волго-Ахтубинской долины и Терско-Кумского междуречья…….. 98

2.9. Лесопригодность близководных песков…… 114
2.9.1. Особенности роста культур сосны на близководных песках сухостепного Придонья…… 117
2.9.2. Рост и состояние лесных культур на близководных песках Волго-Уральской полупустыни……... 121
2.9.3. Классификация лесопригодности средне- высокобугристых песков Урдинского песчаного массива…… 128
2.10. Облесение и водный баланс нарынов……..… 130
3. Лесокультурное освоение бугристых песков полупустыни... 137
3.1. Погодные условия периода исследований…… 138
3.2. Водный режим зоны аэрации бугристых песков…….. 141
3.3. Результаты лесокультурных экспериментов...…….. 144
4. Рубки ухода и засухоустойчивость культур сосны…….. 164
5. Охрана и защита сосновых культур степной зоны…….. 175
5.1. Причины и особенности лесных пожаров..……... 175
5.2. Погодные условия и пожары в сосновых культурах…… 176
5.3. Ландшафтные особенности искусственных лесов на песках…… 178
5.4. Формирование, лесоэкологическая и пирогенная роль опушек сосновых насаждений……..… 180
5.5. Динамика лесообразования в монокультурах сосны……... 185
5.6. Динамика структуры и массы надземных органов и мертвой органики в монокультурах сосны……. 187
5.7. Развитие пожаров в монокультурах сосны…… 191
5.8. Противопожарная устойчивость монокультур сосны…….. 194
5.9. Усыхание сосновых насаждений от корневой губки…… 197
5.10. Повреждение культур сосны стволовыми вредителями……. 204
6. Лесистость арен и гидрология речных систем…….. 211
7. Ландшафтно-хозяйственная классификация арен…….. 218
7.1. Освоение песков……... 218
7.2. Основные положения методики…… 220
7.3. Критерии оценки эколого-хозяйственных факторов и определение хозяйственной пригодности территории……... 222
7.4. Технология использования методики…… 227
7.5. Перспектива развития популяций охотопромысловых животных 229
8. Критерии оптимизации лесоразведения на песках засушливой зоны…… 231
9. Лесомелиорация земель, подверженных дефляции……. 235
9.1. Восстановление пастбищ в современных очагах дефляции легких почв…….. 236
9.1.1. Морфоэкология современных очагов дефляции…… 236
9.1.2. Водно-солевой режим зоны аэрации отложений…… 239
9.1.3. Эоловые процессы в крупных очагах дефляции…… 243
9.1.4. Освоение деструктивной эколого-морфологической области. 249
9.1.5. Формирование растительного покрова на защищенных от ветра участках деструктивной области……. 250

9.1.6. Фитомелиорация обширных деструктивных областей…… 256
9.1.7. Восстановление пастбищ в деструктивно-аккумулятивной области с мелкобарханным рельефом……... 266
9.1.8. Создание насаждений по бороздам-валам…….. 267
9.1.9. Создание культур терескена под защитой киячных кулис…. 273
9.1.10. Самозарастание мелкобарханных песков под влиянием киячно-терескеновых фитоценозов……... 278
9.1.11. Аэросев семян кияка……..…….. 280
9.1.12. Метод и принципы ускорения работ и повышения качества фитомелиорации современных очагов дефляции……. 288
9.1.13. Некоторые итоги выполнения фитомелиоративных работ в современных очагах дефляции……. 290
9.2. Фитомелиорация деградированных пастбищ……... 292
9.2.1. Погодные условия и развитие растительного покрова….. 294
9.2.2. Мелиоративные свойства посадочных борозд…… 297
9.2.3. Режим влажности корнеобитаемого слоя саженцев……... 300
9.2.4. Приживаемость и развитие культур…… 304
10. Эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации арен……. 313
Заключение……... 318
Литература……... 326
Приложения…….. 355

Манаенков Александр Сергеевич

ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ АРЕН
ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ

Редактор Т. Е. Крохта
Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко
Ответственный за выпуск С. А. Корпушов

Подписано в печать 15.05.18.
Объем 25,5 уч.-изд. л.
Тираж 500 экз. (первый завод 100 экз.).
Заказ 5.

400062. Волгоград-62, Университетский проспект, 97.
Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН.