

УДК 630.181.2: 630.181.31: 630.181.32  
DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.2.05

## Водно-минеральные особенности субстрата и засухоустойчивость древостоя сосны

**А. С. Манаенков** – Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Волгоград, Российская Федерация, [manaenkov1@yandex.ru](mailto:manaenkov1@yandex.ru)

**А. К. Кулик** – Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Волгоград, Российская Федерация, [vnialmi\\_reserphn@rambler.ru](mailto:vnialmi_reserphn@rambler.ru)

Приведена динамика водного режима, рассмотрены рост сосны обыкновенной и ее засухоустойчивость на примере лизиметрических моделей насаждений в условиях переходного пояса сухая степь – полупустыня. Установлено, что преимущество в обеспеченности влагой и засухоустойчивости молодых деревьев на рыхлом песке сохраняется непродолжительное время. Для роста сосняков постжерднякового возраста более пригодными становятся относительно богатые глиной отложения. В данном климатическом поясе для создания культур сосны лучшими являются однофазные связнопесчаные почвогрунты и полиминеральные пески.

**Ключевые слова:** сухая степь – полупустыня, лизиметрические модели, субстрат, содержание физической глины, водный режим, рост, состояние древостоя.

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2017.2.05>  
Манаенков, А. С. Водно-минеральные особенности субстрата и засухоустойчивость древостоя сосны [Электронный ресурс] / А. С. Манаенков, А. К. Кулик // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2017. – № 2. – С. 46–50. URL:<http://lhi.vniilm.ru/>

**П**роблема повышения засухоустойчивости культур сосны (*Pinus sylvestris* L.), как основной лесообразующей породы в искусственных лесах на автоморфных кварцевых песках степной зоны страны, достаточно актуальна. Основным способом ее решения считается грамотный подбор лесокультурных площадей. Однако, в связи с климатической и почвенно-грунтовой неоднородностью территории, в оценках лесопригодности поверхностных отложений степных арен до сих пор существуют значительные расхождения [1–7].

Цель исследований – выявить влияние эдафических условий на водный режим и засухоустойчивость сосняков на южной границе их искусственного ареала. Для достижения цели сотрудниками ВНИАЛМИ созданы лизиметрические модели насаждений сосны и организованы многолетние (в течение 7–23 лет) наблюдения за водным режимом, ростом и состоянием насаждений [8, 9].

**Материалы и методы.** Лизиметры представляют собой металлические емкости объемом 13–15 м<sup>3</sup> с прямоугольным поперечником площадью 6,3 м<sup>2</sup>. Они оснащены устройством для слива воды и размещены в подземном помещении. Емкости заполнены субстратами различного происхождения:

- ✓ модель 1 – однофазный неогеновый кварцевый песок; содержание физической глины 1 %;
- ✓ модель 2 – двухслойный песок: сверху 1-метровый слой эолового песка – продукта разрушения светло-каштановой супесчаной почвы (содержание физической глины 5 %), снизу 1,0–1,5-метровый слой неогенового кварцевого песка;
- ✓ модель 3 – гумусовый горизонт черноземовидной супесчаной почвы; содержание физической глины 17 %;
- ✓ модель 4 – донный иллювий пруда, содержание физической глины 40 %.

Субстраты (за исключением песчаных, помещенных на несколько лет ранее) во влажном состоянии насыпаны в 1992 г., а в апреле 1993 г. в них высажены в три ряда 2-летние сеянцы сосны по 30 шт. в каждую емкость. Сорную растительность уничтожали.

**Результаты и обсуждение.** Наблюдения показали, что в экстремальных условиях переходного пояса сухая степь – полупустыня (многолетняя норма осадков – 355 мм/год, испаряемость – 720 мм/год, продолжительность сезона с температурой воздуха выше 10 °С – 168 сут) водный режим корнеобитаемого слоя по мере роста сосны быстро ухудшается. Даже в относительно влажные периоды на рыхлом и связном песке (модели 1 и 2) уже на 3-й год, на супеси и суглинке (модели 3 и 4) – на 4–5-й год жизни в субстратах заканчивается буферный запас почвенной влаги; и растения переходят на питание атмосферными осадками только текущего гидрологического года. Вышесказанное можно проиллюстрировать на примере модели 1 и лизиметра с открытым (необлесенным) субстратом (контроль). После смыкания крон и при массе сырой хвои 4–5 т/га на песках и 8–12 т/га на супеси и суглинке осенний дефицит почвенной влаги может достигать или превышать среднегодовую норму осадков, выпавших в холодный период (ноябрь – март). На рыхлом песке с содержанием физической глины 1 %, мощностью зоны аэрации 2,0–2,5 м и при наименьшей влагоемкости, равной 150–170 мм, формируется периодически непромывной тип водного режима, на относительно тяжёлых отложениях при наименьшей влагоемкости 2-метрового слоя более 200 мм – непромывной [6, 7, 10].

В моделях 1 и 2 на песках сток атмосферной влаги в грунтовую воду начинается в конце марта – начале апреля (в зависимости от глубины промерзания грунта) и заканчивается в начале – конце июня с пиком интенсивности в апреле – начале мая, он формируется почти исключительно за счёт осадков холодного периода. Водоносный горизонт обильно пополняется в годы с глубоким увлажнением ризосферы сосны в середине – конце октября при повышенной сумме осадков в холодные месяцы и относительно теплой зиме. В такие годы грунтовый сток влаги может достигать 11–18 % годовой суммы осадков, 25–41 % суммы осадков холодного периода. Осадки, выпавшие в начале нового вегетационного периода, вследствие интенсивной десукции сосны в его пополнении не участвуют, но, по-видимому,

способствуют ускорению нисходящего тока (выдавливают влагу холодных осадков из корнено-сыщенного слоя).

Масса сырой хвои в посадках сосны практически не оказывает влияния на глубину и периодичность сквозного промачивания песчаной толщи осадками холодного периода. Так, в 2001–2005 гг. осадков выпало на 8,6 % больше, а среднегодовая масса сырой хвои в модели 1 была почти на 27 % меньше, чем в 1996–2000 гг., и составила 5,5 т/га (т. е. ниже зональной нормы). Среднегодовой грунтовой сток влаги (в относительном выражении к годовой сумме осадков и осадкам за холодные месяцы) увеличился всего на 0,8–1,2 % (соответственно с 4,9 до 5,4 % и с 9,9 до 11,1 %). Это позволило предположить, что водный режим корнеобитаемого слоя в последующие десятилетия не претерпит существенного изменения.

Таким образом, в поясе сухая степь – полупустыня облесение сосной участков, практически лишённых растительности автоморфных рыхлопесчаных отложений, снижает их среднегодовую

влагоаккумулирующую эффективность в 13–15 раз (примерно с 70 до 5 % среднегодовой суммы осадков). Пополнение верхнего водоносного горизонта атмосферной влагой происходит под посадками в основном в годы, благоприятные для формирования вертикального стока. Эти годы обусловлены не количеством, а ритмичностью выпадения атмосферных осадков и температурным режимом воздуха. При норме осадков холодного периода 190–220 мм их грунтовой сток может превышать 70 мм, но в среднем составляет 20–30 мм/год. Очевидно, что такой же водный баланс формируется и при зарастании рыхлых песков травянистой растительностью.

Наблюдения показали (табл. 2), что в 1994–1996 гг. (со 2-го года жизни) при высокой влагообеспеченности сосна на суглинке (модель 4) росла в 2 раза быстрее, чем на однофазном неогеновом кварцевом песке (модель 1), на 35–40 % быстрее, чем на связнопесчано-рыхлопесчаном (двухслойном) субстрате (модель 2) и на 10–15 % быстрее, чем на гумусированной супеси (модель 3). Небольшие различия в росте деревьев между

**Таблица 1. Осадки и грунтовой сток из необлесенного и облесенного лизиметров с субстратом из рыхлого однофазного неогенового кварцевого песка**

Гидрологический год	Осадки, мм, за период			Вертикальный сток влаги атмосферных осадков в лизиметрах						Масса сырой хвои, т/га
	год	холодный (ноябрь-март)	теплый (апрель-октябрь)	с открытым необлесенным субстратом (контроль)			с посадками (модель 1)			
				мм	доля, %		мм	доля, %		
					годовой суммы	суммы за ноябрь-март		годовой суммы	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	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	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

моделями 2 и 3, 3 и 4 обусловлены невысокой требовательностью сосны к плодородию почвы.

После перехода (в 1997–1999 гг.) растений на зональный режим водного питания (влажностью осадков текущего периода) различия в моделях по приросту в высоту резко (до 30–40 %) уменьшились и стали объективным отражением влагообеспеченности посадок в предшествующий период или год. Во влажном 2000 г. прирост сосны, произрастающей на рыхлом песке и суглинке, практически сравнялся за счёт увеличения прироста деревьев на песке, где растения меньше пострадали в засуху 1998 г.

Высокая влагообеспеченность в 1995 г. (в конце вегетационного периода в ризосфере со-

сны оставалось 20 мм доступной влаги), повышенная (196 мм) сумма осадков холодного периода и относительно влажное лето 1996 г. обеспечили кульминацию прироста в высоту и охвоенности древостоя в модели 1 на рыхлом песке. В 1997 г. наметилось уменьшение ее прироста (см. табл. 2) и массы сырой хвои (табл. 3).

Относительно быстрый рост сосны (годовой прирост 17–32 см) начался со 2-го года (с конца ювенального периода) и продлился 5 лет. В последующие 7 лет, несмотря на кратное увеличение влагообеспеченности, текущий прирост в высоту не превышал 7–13 см, что свидетельствует о его необратимом торможении.

**Таблица 2.** Динамика роста сосны, см (числитель – высота, знаменатель – прирост)

Год	Модель				Наименьшая существенная разность на 5%-м уровне значимости (НСР <sub>05</sub> )
	1	2	3	4	
1993	$\frac{11,5 \pm 0,5}{6,1 \pm 0,4}$	$\frac{10,0 \pm 0,6}{6,2 \pm 0,5}$	$\frac{10,8 \pm 1,0}{6,1 \pm 0,7}$	$\frac{9,8 \pm 0,5}{6,6 \pm 0,5}$	$\frac{1,8}{1,5}$
1994	$\frac{34,7 \pm 1,0}{23,2 \pm 1,0}$	$\frac{36,0 \pm 1,9}{26,0 \pm 1,2}$	$\frac{38,3 \pm 2,0}{27,5 \pm 1,6}$	$\frac{40,8 \pm 1,8}{31,0 \pm 1,3}$	$\frac{4,7}{3,6}$
1995	$\frac{61,2 \pm 4,6}{26,5 \pm 2,4}$	$\frac{72,5 \pm 4,4}{37,5 \pm 2,1}$	$\frac{87,8 \pm 5,5}{49,5 \pm 2,4}$	$\frac{93,8 \pm 3,46}{53,0 \pm 1,87}$	$\frac{12,5}{6,1}$
1996	$\frac{93,3 \pm 6,3}{32,1 \pm 2,8}$	$\frac{114,6 \pm 6,4}{42,1 \pm 2,8}$	$\frac{136,6 \pm 7,7}{48,8 \pm 2,4}$	$\frac{150,6 \pm 5,3}{56,8 \pm 2,7}$	$\frac{18,0}{7,5}$
1997	$\frac{122,0 \pm 4,2}{28,7 \pm 1,3}$	$\frac{143,6 \pm 5,5}{29,0 \pm 1,4}$	$\frac{171,8 \pm 5,8}{35,2 \pm 1,5}$	$\frac{189,6 \pm 5,3}{39,0 \pm 2,0}$	$\frac{14,5}{4,3}$
1998	$\frac{138,5 \pm 7,4}{16,5 \pm 1,2}$	$\frac{175,6 \pm 7,8}{32,0 \pm 2,6}$	$\frac{199,3 \pm 6,3}{27,5 \pm 2,2}$	$\frac{218,6 \pm 9,81}{29,0 \pm 2,03}$	$\frac{21,9}{5,6}$
1999	$\frac{148,0 \pm 7,0}{9,5 \pm 0,8}$	$\frac{190,6 \pm 8,7}{15,0 \pm 2,2}$	$\frac{213,3 \pm 8,0}{14,0 \pm 3,2}$	$\frac{232,1 \pm 10,1}{13,5 \pm 2,55}$	$\frac{23,6}{6,1}$
2000	$\frac{161,0 \pm 6,09}{13,0 \pm 1,1}$	–	$\frac{234,3 \pm 9,5}{21,0 \pm 3,1}$	$\frac{244,8 \pm 7,3}{12,7 \pm 3,47}$	$\frac{21,3}{7,1}$
2001	$\frac{174,0 \pm 8,3}{13,3 \pm 1,2}$	–	$\frac{271,7 \pm 11,7}{37,4 \pm 1,37}$	$\frac{272,6 \pm 13,7}{27,8 \pm 3,5}$	$\frac{29,3}{7,3}$
2002	$\frac{182,2 \pm 8,5}{7,9 \pm 0,6}$	–	$\frac{292,0 \pm 14,23}{20,3 \pm 1,34}$	$\frac{292,0 \pm 14,23}{20,3 \pm 1,34}$	$\frac{33,2}{5,0}$
2003	$\frac{189,3 \pm 6,0}{7,1 \pm 0,4}$	–	$\frac{311,1 \pm 11}{19,1 \pm 1,8}$	$\frac{2941 \pm 14,2}{10,9 \pm 2,4}$	$\frac{28,9}{4,3}$
2004	$\frac{198,9 \pm 3,3}{9,6 \pm 0,2}$	–	$\frac{333,7 \pm 3,0}{22,6 \pm 0,7}$	–	$\frac{8,9}{1,3}$
2005	$\frac{209,9 \pm 6,0}{11,0 \pm 1,5}$	–	$\frac{359,5 \pm 14,1}{25,8 \pm 2,4}$	–	$\frac{28,1}{5,5}$

Таблица 3. Динамика массы сырой хвои, т/га, в лизиметрических моделях

Модель	Год наблюдений												
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	0,9	2,8	7,7	11,2	9,5	6,7	4,4	5,5	7,9	6,3	5,3	4,7	5,1
2	1,0	4,4	11,4	22,5	23,5	14,8	17,6	-	-	-	-	-	-
3	0,8	8,0	21,7	33,2	30,2	18,0	17,7	18,6	16,2	11,4	12,3	13,8	9,4
4	1,1	7,5	24,6	45,6	43,7	33,0	22,4	23,6	21,1	10,2	7,9*	-	-

\* Деревья удалены в декабре 2003 г.

Небольшая продолжительность периода большого роста сосны на бедном песке, по-видимому, вызвана не столько высокой плотностью древостоя, сколько значительным дефицитом его влагообеспеченности (сильным гидротермическим стрессом и необратимым ослаблением растений).

Однако быстрое угнетение роста сосны на бедном кварцевом песке (модель 1) не сопровождается отпадом деревьев (самоизреживанием). За 13-летний период наблюдений не было отмечено ни одного случая их гибели или суховершинности (табл. 4), что можно объяснить резким ослаблением конкуренции между особями в условиях крайней скудости условий местопрорастания. Это позволяет сделать вывод о том, что по мере ухудшения лесорастительных условий энергия саморегуляции сообщества (дифференциации и отмирания отставших в росте деревьев) ослабевает, и с определённого уровня оно перестаёт реагировать на повышение плотности. Этому способствует и высокая освещённость, светопроницаемость древесного полога. Так, в модели 1 на неогеновом песке в 23 года коэффициент ва-

риации высоты деревьев сосны составил всего 19 %, а диаметра значительно выше – 32,3 %.

На эоловом субстрате, подстилаемом с глубины 1 м неогеновым песком (модель 2), резкое ускорение роста деревьев в высоту также произошло на 2-м году их жизни с кульминацией прироста (42 см), как и в модели 1, в 1996 г., но при вдвое большей массе хвои. Несмотря на сравнительно высокую биологическую эффективность почвенного раствора [11], это привело к значительному уменьшению влагообеспеченности деревьев и их прироста в высоту (до 29 см) в следующем году.

Влажный 1997 г. оказался благоприятным для роста хвои, и её масса увеличилась ещё на 1 т/га.

В продолжительную летне-осеннюю засуху 1998 г. при отсутствии запаса буферной влаги произошло сильное ослабление деревьев. При увеличении на 3 см их прироста в высоту к осени масса сырой хвои уменьшилась почти на 9 т/га (37 %). Однако благодаря высокой влагозарядке грунта осадками, выпавшими в холодный период 1998–1999 гг. (241 мм) охвоенность деревьев сно-

Таблица 4. Сохранность деревьев в лизиметрических моделях, %

Модель	Сохранность, %, 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(7)**	52(7)**
4	100	93	93	83	83	43(+23)*	33(+23)*	27(+13)*	-	-

Примечание. В скобках указано \* суховершинных, \*\* из них деревья с ранее усыхавшими вершинами.

ва увеличилась на 19 %, что в последовавшую более чем 2-месячную летне-осеннюю засуху (1999 г.) вызвало гибель 60 % растений (см. табл. 4), а в 2000 г. погибли остальные деревья.

Таким образом, в наиболее засушливых районах степной зоны европейской территории России в насаждениях сосны на рыхлых и слабосвязных песках при сильном снижении влагообеспеченности следует ожидать необратимого замедления роста, опада большей части хвои и гибели сосны почти на всей площади.

Рост деревьев на гумусированной супеси и иллювиальном суглинке (модели 3 и 4) во многом определялся наличием в почве буферной влаги и условиями образования хвои. Быстрый рост в высоту в этих моделях сопровождался стремительным увеличением фитомассы хвои и снижением влагообеспеченности высаженных растений. В модели 3 кульминация прироста сосны в высоту наступила уже в 1995 г. (49,5 см), а охвоенности – в 1996 г. (33,2 т/га). В результате в 1997 г. был израсходован весь запас влаги, и влагообеспеченность растений снизилась до критического уровня (коэффициент транспирационной активности опустился до 61, что более чем в 3 раза ниже уровня 1994 г. и почти в 2,3 раза ниже нормы) [9, 11]. Вследствие этого к началу вегетационного периода 1998 г. погибло 20 % деревьев, существенно сократился запас хвои; и посадки относительно безболезненно перенесли почвенную засуху (погибло еще 7 % растений, по-видимому, из числа ослабленных в 1997 г.). Депрессия роста сосны в 1999 г. сменилась его усилением в последующие годы. В 2001 г. средний текущий прирост деревьев почти достиг 40 см, что свидетельствовало о продолжении периода большого роста. В 2002–2005 гг. они росли примерно в 2 раза быстрее, чем на неогеновом песке. Но продолжительные засухи во второй половине вегетационных периодов 2001 и 2002 г. вызвали дополнительное отмирание и суховершинность 6–8 % деревьев.

К концу 2002 г. фитомасса хвои уменьшилась на 2/3 ее максимального запаса в этой модели и до 2005 г. изменялась в небольших пределах. Сохранность снизилась до 53 %, а в 2003 г. – до 52 % исходного числа деревьев, а далее оставалась на

прежнем уровне. Состояние насаждений с 2003 г. начало прогрессивно улучшаться. Увеличился прирост в высоту, произошло замещение сухих вершин, что стало признаком выхода посадок из кризисного состояния. Но последовавшая засуха (осенняя 2005 г.) их сильно ослабила, а летне-осенняя засуха 2006 г. вызвала гибель.

В период достаточной влагообеспеченности особенно быстро росли посадки на суглинке. Максимальный средний прирост деревьев в высоту (56,8 см) пришёлся на 1996 г. и совпал с формированием рекордной фитомассы хвои (45,6 т/га в сыром виде). Это привело к расходованию большей части буферной влаги в корнеобитаемом слое и устойчивому снижению влагообеспеченности древостоя. В следующем году она еще уменьшилась и составила около 46 % нормы, прирост в высоту сократился более чем на 1/3, погибло 7 % деревьев, но фитомасса хвои в посадках почти не изменилась (см. табл. 3).

Максимальная потребность древостоя в почвенной влаге пришлась на засушливый 1998 г. В результате этого влагообеспеченность древостоя снизилась до опасного уровня, и растения оказались в критическом состоянии. К осени они потеряли почти 25 % хвои. В следующем году усохло ещё 10 % первоначального числа деревьев. И, несмотря на относительно высокие суммы выпавших осадков, прирост деревьев в высоту в 1999 и 2000 г. сократился почти до минимума, а фитомасса хвои – до половины максимальной величины.

Однако влажные годы благоприятно отразились на состоянии деревьев, и их прирост в высоту в 2001 г. увеличился в 2 раза (почти до 30 см), а охвоенность осталась высокой. Продолжительный бездождливый период в июле – августе этого года привел к повторному и более значительному ослаблению деревьев. Уже к концу вегетационного периода сохранность деревьев снизилась до 63 %, у 23 % из них появилась суховершинность. Угнетение и распад посадок усилила также засуха в июне-сентябре 2002 г. К концу года сохранилось 56 % деревьев, из них половина – суховершинные.

В 2003 г. осталось только 40 % растений, из которых около 1/3 были с сухими вершинами. Средний прирост в высоту уменьшился до 11 см, а фи-

томасса хвои – до 8–10 т/га (до её уровня в посадках на неогеновом кварцевом песке в лучшие годы). Всё это свидетельствовало о глубоком кризисе, переживаемом посадками. Однако значительный объем фитомассы хвои (около 8 т/га) и равномерное распределение живых деревьев по площади, сохранение сомкнутого полога давали основание надеяться, что они способны выйти из кризиса и продолжить развитие в последующие годы при наступлении благоприятных погодных условий.

В целом в 7-летнем возрасте средняя высота деревьев на двухслойном песке, супеси и суглинке (модели 2, 3 и 4) была соответственно на 28, 44 и 57 % больше, чем на рыхлом однофазном песке (модель 1). В 9-летнем возрасте у посадок на супеси и суглинке она практически сравнялась, а со следующего года на супеси стала выше. В 13 лет средняя высота деревьев достигла 3,6 м, что почти на 70 % выше, чем у модели 1 на неогеновом песке. Но наиболее благополучный вид, благодаря пропорциональному развитию и прямостоятельности деревьев, до 7-летнего возраста (до усыхания) сохраняли посадки на двухслойном песке (модель 2). В модели 1 деревья отличались тонкими стволами, кроны имели редкую хвою и выглядели сильно ослабленными. Их кроны не об-

разовали сомкнутого полога, стволы и почва оставались в сильно освещенном состоянии. В моделях на гумусированной супеси и иллювиальном суглинке стволы многих деревьев, вследствие неравномерного роста деревьев в разные годы, а также отмирания вершин, оказались искривлены и сильно различались по высоте и диаметру.

В 2000, 2003 и 2005 г. деревья моделей 2, 4 и 3 были вырублены, а модели 1 – оставлены. В начале мая 2016 г. (в 23 года) средняя высота деревьев достигла  $269,2 \pm 9,6$  см (как на обогащенных глиной субстратах в 9 лет), средний диаметр –  $1,9 \pm 0,1$  см.

Наблюдения показали, что последние 10 лет (2006–2015) оказались значительно засушливей предыдущих. В эти годы сумма осадков в среднем была меньше, чем в 1996–2005 гг. (за холодный период – на 29 %, теплый – на 18 %, а годовая сумма – на 17 %). Наиболее опасное снижение влагообеспеченности посадок на песке наблюдалось в 2012, 2014 и 2015 гг., в эти годы за теплый период выпало осадков на 34–44 % меньше, чем в среднем за 10 лет (табл. 5).

Несмотря на почти 2-кратное уменьшение среднего прироста в высоту и небольшое уменьшение охвоенности деревьев, визуально заметно-

**Таблица 5. Атмосферные осадки и текущий прирост в высоту сосны на субстрате из однофазного неогенового кварцевого песка (модель 1) в 2006–2015 гг.**

Гидрологический год	Сумма осадков, мм, за период			Прирост, см
	год	холодный (ноябрь – март)	теплый (апрель – октябрь)	
2005/2006	341	128	213	$8,6 \pm 0,6$
2006/2007	317	126	191	$7,4 \pm 0,7$
2007/2008	308	112	196	$6,3 \pm 0,6$
2008/2009	318	120	198	$6,4 \pm 0,4$
2009/2010	432	174	258	$6,3 \pm 0,4$
2010/2011	465	182	283	$5,6 \pm 0,6$
2011/2012	251	122	129	$4,5 \pm 0,4$
2012/2013	443	140	303	$4,8 \pm 0,3$
2013/2014	316	183	133	$5,1 \pm 0,4$
2014/2015	263	150	113	$6,3 \pm 0,4$
Среднее	345	144	202	$6,1 \pm 0,5$
Среднее за 1996-2005 гг.	448	203	245	$11,8 \pm 7,5^*$

\* 1999–2005 гг. – период после окончания большого роста.

го изменения состояния посадок 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 и 2015 г. К осени 2014 г. отпало еще 3 дерева, по-видимому, ослабленных засухой 2012 г. (табл. 6).

Таким образом, к 22-летнему возрасту (осенью 2014 г.) сохранность деревьев составляла более 73 % числа высаженных. После 2-летней засухи (2014–2015 гг.) – в конце вегетационного периода 2015 г. – усохло 11 деревьев. Кроме них весной 2016 г. явные признаки необратимого усыхания имело еще 4 дерева. В поврежденном состоянии (с признаками усыхания прироста 2015 г.) находилось также 4 дерева, а здоровыми

**ТАБЛИЦА 6. РОСТ И СОСТОЯНИЕ 23-ЛЕТНИХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ (МОДЕЛЬ 1), ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА СУБСТРАТЕ ИЗ ОДНОФАЗНОГО НЕОГЕНОВОГО КВАРЦЕВОГО ПЕСКА (ДАННЫЕ НА 11.05.2016 Г.)**

№ ДЕРЕВА	СРЕДНИЕ, СМ		СОСТОЯНИЕ	ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ В ВЫСОТУ, СМ, ПО ГОДАМ									
	ВЫСОТА (Н)	ДИАМЕТР (Д)		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
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	То же	8,5	9,5	7,0	6,5	5,5	4,0	4,5	5,5	2,5	7,0
3	290	2,8	-»-	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	То же	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	То же	7,5	5	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	То же	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	То же	8,0	6,0	8,0	9,0	8,0	5,5	4,0	4,5	6,0	7,0
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	То же	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	То же	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	То же	9,0	6,5	5,5	4,5	5,0	4,0	5,0	5,0	6,5	6,0

оставались всего 6 деревьев. Поврежденными также оказались деревья с относительно хорошо развитой кроной. За один год сохранность оставшегося древостоя снизилась еще на 40 % и в 23 года составила 33,3 %. При такой сохранности древостой модели стал сильно изреженным и вступил в фазу необратимого распада.

**Выводы.** Результаты исследований водного режима, роста и состояния деревьев на лизиметрических моделях насаждений позволяют сделать следующее заключение.

1. При облесении бедных автоморфных песков аридной зоны с 4–5-го года жизни насаждений сосны их водный режим становится периодически непромываемым. Отток влаги атмосферных осадков в грунтовые воды сокращается в 13–15 раз. Деревья переходят на питание исключительно влагой текущего гидрологического года. В древостоях на средних и тяжелых почвогрунтах стартовые запасы корнедоступной влаги могут заканчиваться позднее, а водный режим их зоны аэрации остается или трансформируется в непромываемой.

2. Несмотря на лучший водный режим, кварцевые пески с содержанием глины около 1 % имеют неблагоприятные лесорастительные свойства. В периоды высокой влагообеспеченности прирост сосны в высоту на них в 1,3–1,7, а фитомасса хвои в 2–4 раза меньше, чем на богатых песках, супесях и суглинках. Однако в молодых посадках на бедных низковлагодоемких песках средний возраст хвои не превышает 1,5 лет (в 1,5–1,6 раза меньше, чем на глинистых отложениях), а интенсивность ее транспирации достигает максимума. Это приводит к быстрому расходу весенних запасов корнедоступной влаги, повышенной зависимости влагообеспеченности и сохранности деревьев от летне-осенних осадков.

3. Рост содержания глинистых частиц в корнеобитаемом слое повышает эффективность почвенного раствора для сосны в 2–4 раза. Пропорционально увеличивается преимущество в росте и охвоённости молодых деревьев, потенциале оживления древостоя после кризиса влагообеспеченности. Но в засушливые и даже средние годы вероятность этих кризисов возрастает,

т.е. снижается засухоустойчивость насаждений. В целом в острозасушливых условиях лесопригодность кварцевых песков, кроме низкой влагоёмкости и корнепроницаемости, лимитирует их минеральная бедность, влияние которой усиливается в засуху. Лесопригодность богатых глиной отложений ограничивают большие различия в годичных запасах почвенной влаги, опасные формирования избыточной массы хвои и критическим снижением влагообеспеченности сомкнувшихся культур.

4. С возрастом засухоустойчивость сосны повышается вследствие развития корней. Кроме того, на бедных песках она повышается благодаря раннему необратимому многократному уменьшению текущего прироста побегов и 2–3-кратному повышению транспирационной активности хвои; на богатых глиной почвогрунтах – вследствие снижения требовательности к плодородию корнеобитаемого слоя, сокращению охвоённости деревьев и динамичности (изменчивости по годам) массы живой хвои.

5. При большой минеральной бедности отложений и густой посадке культур повышенная засухоустойчивость сосны сохраняется непродолжительное время, что может быть вызвано 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. Но 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 рубками ухода. Повторяемость и интенсивность изреживания высокополнотных древостоев должна увеличиваться с ростом содержания физической глины в корнеобитаемом слое.

## Список использованной литературы

1. Воронков, Н. А. Влагооборот и влагообеспеченность сосновых насаждений / Н. А. Воронков. – М. : Лесн. пром-сть, 1973. – 184 с.
2. Гаель, А. Г. К облесению песков Верхнего Дона / А. Г. Гаель // Почвоведение. – 1949. – № 12. – С. 718–722.
3. Дубянский, В. А. Пески Среднего Дона и использование их в сельском и лесном хозяйстве / В. А. Дубянский. – М. : Сельхозгиз, 1949. – 231 с.
4. Миронов, В. В. Экология хвойных пород при искусственном лесоразведении / В. В. Миронов. – М. : Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.
5. Зюзь, Н. С. Культуры сосны на песках Юго-Востока / Н. С. Зюзь. – М. : Агропромиздат, 1990. – 155 с.
6. Кулик, К. Н. Водный баланс почв песчаных массивов (на примере Усть-Кундрюченского массива, Ростовская область) / К. Н. Кулик, Н. Ф. Кулик, А. К. Кулик // Почвоведение. – 2012. – № 8. – С. 846.
7. Кулик, А. К. Водный режим и баланс влаги песчаных земель Нижнего Дона : дисс. ... канд. с.-х. наук / А. К. Кулик. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2005. – 143 с.
8. Манаенков, А. С. Особенности водного режима корнеобитаемого слоя и засухоустойчивость культур сосны / А. С. Манаенков // Лесоведение. – 2009. – № 2. – С. 52–61.
9. Манаенков, А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны / А. С. Манаенков. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2014. – 420 с.
10. Кулик, А. К. Стационарные исследования на гидрологическом комплексе ФНЦ / А. К. Кулик, М. В. Власенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – № 4(64). – Новочеркасск, 2016. – С. 6–12.
11. Манаенков, А. С. О перспективе развития лесной типологии / А. С. Манаенков // Лесн. хоз-во. – 2005. – № 5. – С. 27–29.

## References

1. Voronkov, N. A. Vлагооборот i vлагообеспеченность sosnovykh nasazhdenij / N. A. Voronkov. – M. : Lesn. prom-st', 1973. – 184 s.
2. Gael', A. G. K oblесeniyu peskov Verhnego Dona / A. G. Gael' // Pochvovedenie. – 1949. – № 12. – S. 718–722.
3. Dubyanskiy, V. A. Peski Srednego Dona i ispol'zovanie ih v sel'skom i lesnom hozyajstve / V. A. Dubyanskiy. – M. : Sel'hozgiz, 1949. – 231s.
4. Mironov, V. V. Ekhkologiya hvoynyh porod pri iskusstvennom lesorazvedenii / V. V. Mironov. – M. : Lesnaya prom-st', 1977. – 232 s.
5. Zyuz', N. S. Kul'tury sosny na peskah Yugo-Vostoka / N. S. Zyuz'. – M. : Agropromizdat, 1990. – 155 s.
6. Kulik, K. N. Vodnyj balans pochv peschanykh massivov (na primere Ust'-Kundryuchenskogo massiva, Rostovskaya oblast') / K. N. Kulik, N. F. Kulik, A. K. Kulik // Pochvovedenie. – 2012. – № 8. – S. 846.
7. Kulik, A. K. Vodnyj rezhim i balans vlagi peschanykh zemel' Nizhnego Dona: diss. ... kand. s.-h. nauk / A. K. Kulik. – Volgograd : VNIALMI, 2005. – 143 s.
8. Manaenkov, A. S. Osobennosti vodnogo rezhima korneobitaemogo sloya i zasuhoustojchivost' kul'tur sosny / A. S. Manaenkov // Lesovedenie. – 2009. – № 2. – S. 52–61.
9. Manaenkov, A. S. Lesomelioraciya aren zasushlivoj zony / A. S. Manaenkov. – Volgograd : VNIALMI, 2014. – 420 s.
10. Kulik, A. K. Stacionarnye issledovaniya na gidrologicheskom kompleksе FNC / A. K. Kulik, M. V. Vlasenko // Puti povysheniya ehffektivnosti oroshаemogo zemledeliya. – № 4(64). – Novoчерkassk, 2016. – S. 6–12.
11. Manaenkov, A. S. O perspektive razvitiya lesnoj tipologii / A. S. Manaenkov // Lesn. hoz-vo. – 2005. – № 5. – S. 27–29.

# Water and Mineral Features of the Substrate and Drought Resistance of Pine Plantations

---

**A. S. Manaenkov** – Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation of Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Volgograd, Russian Federation, [manaenkov1@yandex.ru](mailto:manaenkov1@yandex.ru)

**A. K. Kulik** – Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation of Russian Academy of Sciences, Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd, Russian Federation, [vnialmi\\_recephn@rambler.ru](mailto:vnialmi_recephn@rambler.ru)

---

**Keywords:** dry steppe-semi-desert, linometrics model substrate, the content of physical clay, water regime, growth and condition of the forest.

Studies of drought resistance plantings of pine carried out on the border of dry steppes and semi-deserts with long-term rainfall is 355 mm/year, evaporation of 720 mm/year for 4 lizimtras models plantings with a volume of substrate 13–15 m<sup>3</sup> and a content of physical clay is from 1 to 40%. The water regime, growth and condition of *Pinus sylvestris* L. forest stand studied in a density of 47–48 thousand/hectares during 7–23 years. The thick cultures pass to the zonal regime of water nutrition from the 3-rd year of life on loose sands. On heavy sandy loam and loam with a thickness of 2,0–2,5 m, the initial reserve of soil moisture ends later by 1,0–1,5 years. The water regime of the substrates is accordingly periodically non-washable and non-washable. Quartz sand with a clay content of about 1% has an adverse silvicultural properties. And with a sufficient moisture supply, the pine growth in height is 1,3, 1,5 and 1,7 on it, and the needles are 1,5–2 times smaller than on coherent sand, sandy loam and loam. With increase in content of physical clay biological efficiency of soil solution quickly increases. On a cohesive – loam substrates pine consume it 2–4 times more economically than on loose sand, in proportion to the increasing number of needles of young and correspondingly reduced its resistance to drought. With age, it increases due to an early multiple decrease in current growth and a 2–3-fold increase in the transpiration activity of needles on poor sands, a decrease in demand for fertility, a reduction in the weight of needles and a decrease in its dynamics in pine forests on clay-rich substrates. The advantage of the stability of dense plantings on loose sand remains for a short time, which may be caused by the rapid aging of forest stands. In this climate for afforestation with pine, the best are single-phase cohesion-soil soils and polymineral sands.