

И. А. Фрейберг, А. М. Бирюкова

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕРЕЗЫ НА СОЛОНЦАХ ЛЕСОСТЕПНОГО ЗАУРАЛЬЯ

---

Наши исследования, проведенные в лесостепи Зауралья, позволяют утверждать, что древовидные березы: кривая (*Betula procurva* Litw.), белая (*Betula alba* L.) и их гибридная форма — береза белая × береза кривая (*Betula alba* L. × *Betula procurva* Litw.) способны расти на солонцах. При исследованиях они были встречены на мелких и средних солонцах в межкочечных пространствах водоразделов в виде отдельно стоящих деревьев и небольших групп. В возрасте 8—10 лет деревья указанных выше видов березы имеют высоту 4 м. Сравнивая рост березы на солонцах лесостепного Зауралья с ростом нормальных березовых насаждений [1], считаем, что темпы роста ее здесь могут быть оценены как вполне удовлетворительные.

Хотя береза способна расти на солонцах, возможности роста и интенсивность его ограничиваются определенными лимитами солонцеватости и засоления почвы токсичными солями, которые различны для ее видов и форм. Из табл. 1 следует, что береза растет на солонцах при содержании в поглощающем комплексе почвы горизонта  $B_1$  обменного натрия до 18,7% от суммы обменных оснований. При этом она выдерживает солончаковое слабое хлоридно-сульфатное и хлоридно-содовое, а также солончаковатое засоление при наличии во втором полуметре почвы среднего и сильного сульфатного, а также слабого содового (табл. 1, 2). Несмотря на экстремальные условия своего произрастания, береза и на солонцах остается быстрорастущей древесной породой. Средний прирост ее в возрасте от 7 до 28 лет колеблется в пределах 26—53 см (табл. 3). Полагаем, что нижние пределы ее среднего прироста связаны с удалением гумусового горизонта при посадке семян березы в борозды (пробная площадь 18/65). О ходе роста березы естественного происхождения в высоту до 20 лет свидетельствуют данные табл. 4.

**Т а б л и ц а 1.** Содержание обменного натрия в поглащающем комплексе почвы горизонта В<sub>1</sub> и ионов легкорастворимых солей в первом и наиболее засоленном горизонтах мергровой толщи почвы на площадях произрастания березы

Пробная площадь	Преобладающая почва	Содержание обменного натрия, % от суммы обменных оснований	Глубина, см	Плотная часть, %	Ионы, мг-экв. / %						
					общие			токсичные			
					HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	
42/69	Магниевый средний и глубокий солончаковатый солонец сильного сульфатного засоления	5,1	60—80	2,166	0,344	27,250	—	—	—	0,254	16,149
					0,021	1,308	—	—	0,009	0,775	
13/69	Натриево-магниевый средний солончаковатый солонец среднего сульфатного засоления	13,8	45—56	1,052	0,885	8,000	—	—	—	0,846	4,285
					0,054	0,384	—	—	0,030	0,206	
9/69	Магниевый-натриевый средний солончаковатый солонец среднего сульфатного засоления	18,7	14—30	0,315	1,230	—	—	—	1,020	0,705	—
					0,075	—	—	—	0,062	0,025	
18/65	Магниевый средний и мелкий солончаковатый солонец слабого сульфатного засоления	8,1	18—30	0,420	0,574	19,080	—	—	—	0,423	1,848
					0,035	0,920	—	—	0,015	0,088	
1П/65	Магниевый-натриевый средний солончаковатый солонец слабого хлоридно-сульфатного засоления	17,1	10—20	0,346	1,623	3,220	—	—	1,444	0,197	3,220
					0,099	0,154	—	—	0,088	0,154	
					1,574	1,793	—	—	1,395	0,818	1,793
					0,096	0,086	—	—	0,085	0,029	0,086

Пробная площадка	Преобладающая почва	Содержание обменного натрия, % от суммы обменных оснований	Глубина, см	Плотный остаток, %	Ионы, мг-экв. / %								
					общие				токсичные				
					HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>			
9/70	Магниево-натриевый средний солончаковый солонец хлоридно-содового засоления	15,4	20—40	0,472	2,377	0,324	—	2,269	0,226	0,324	0,138	0,016	0,016
					0,145	0,016	—	0,138	0,018	—	—	—	—
1/75	Магниево-натриевый луговой глубокий солончаковатый солонец слабого содового засоления	16,0	40—50	0,240	2,459	—	—	—	—	—	2,356	0,169	—
					0,150	—	—	0,143	0,006	—	—	—	—
1/75	Магниево-натриевый луговой глубокий солончаковатый солонец слабого содового засоления	16,0	100—110	0,184	1,918	—	—	1,647	0,338	—	1,647	0,338	—
					0,117	—	—	0,100	0,012	—	—	—	—
1/75	Магниево-натриевый луговой глубокий солончаковатый солонец слабого содового засоления	16,0	40—50	0,240	1,475	0,374	0,107	—	0,141	—	0,107	0,141	—
					0,090	0,018	0,005	—	0,005	—	—	—	—
1/75	Магниево-натриевый луговой глубокий солончаковатый солонец слабого содового засоления	16,0	60—70	0,290	2,131	0,854	0,400	—	0,085	—	0,400	0,085	—
					0,130	0,041	0,012	—	0,003	—	—	—	—

Как видно из табл. 4, береза растет не хуже, чем в хороших условиях лесной зоны, где она в 20 лет достигает 10—12 м высоты [2]. Она вполне удовлетворительно переносит высокое содержание в поглощающем почвенном комплексе горизонта  $B_1$  обменного  $Na$  18,7% от суммы обменных оснований, а также наличие в первом полуметре почвы таких токсичных солей, как бикарбонаты натрия и магния, хлористый натрий, а также сернокислые натрий и магний (см. табл. 2).

Представление о солеустойчивости растений можно составить на основании изучения архитектоники корневой системы и содержания в зоне ее распределения токсичных солей, поэтому исследованы корневые системы березы на солонцах слабосолончаковых хлоридно-сульфатного и сульфатного, средне- и сильносолончаковых сульфатного и слабосолончаковых содового засоления.

В условиях среднего магниево-натриевого солонца слабосолончакового хлоридно-сульфатного засоления (пробная площадь 1П) при исследовании корневых систем березы в возрасте 5—6 лет было установлено, что береза естественного происхождения высотой 80—90 см развивает корневую систему в двух направлениях (рис. 1). В горизонтальной плоскости корни распределяются в рыхлом перегнойном аккумулятивном горизонте мощностью 10—14 см, в вертикальной они проходят через столбчатый иллювиальный горизонт, плотность которого колеблется от 17 до 30 кг/см<sup>2</sup>. Обменный натрий в поглощающем комплексе горизонта  $B_1$  составляет 17,1% от суммы обменных оснований и углубляется до 120—130 см в сильнокарбонизированные слои горизонтов  $B_2$  и  $C$ . Корневая система березы не может быть названа, на наш взгляд, поверхностной. Наряду с корнями, пронизывающими поверхностные слои почвы, береза образует 2—3 (в наших случаях) скелетных корней, проникающих в глубь почвы подобно стержневому корню сосны и осваивающих глубокие уплотненные ее слои, богатые карбонатами. Наибольшее количество мелких ответвлений от скелетных корней, обрастающих корни [3], сосредоточено у березы, исследованной на пробной площади 1П/65, в гумусовом горизонте на глубине до 15—20 см. Соли карбонатов представлены с глубины 45—48 см почвенного профиля в виде псевдомицелия, переходящего в белоглазку, а с глубины 60 см,

**Таблица 2. Содержание гипотетических токсичных солей в первом и наиболее засоленном горизонтах метровой толщи почвы на площадях произрастания березы**

Пробная площадь	Глубина, см	Плотный остаток, %	Токсичные соли, мг экв. %						Глубина залегания гнпса, см		
			Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>		
42/69	60—80	2,166	—	—	—	3,968 0,281	12,181 0,738	—	—	0,254 0,012	60
13/69	45—56	1,052	—	—	—	1,331 0,094	2,954 0,178	—	—	0,846 0,071	56
9/69	14—30	0,315	—	0,315 0,023	0,705 0,059	—	—	—	0,705 0,041	—	—
—	35—50	1,742	—	—	—	1,000 0,071	0,848 0,142	—	0,422 0,023	—	—
1П/65	10—20	0,346	—	0,418 0,030	0,977 0,082	1,793 0,127	—	—	0,698 0,041	0,120 0,006	—
9/70	20—40	0,472	—	0,216 0,015	2,053 0,172	0,324 0,023	—	—	0,226 0,013	—	—
—	44—58	0,172	—	0,309 0,021	2,047 0,171	—	—	—	0,169 0,009	—	—
—	100—110	0,184	0,067 0,004	0,204 0,014	1,443 0,084	—	—	—	0,338 0,018	—	—
18/65	18—32	0,420	—	0,433 0,031	1,011 0,085	3,220 0,229	—	—	0,002 —	0,195 0,009	—

Таблица 3. Рост березы (белой, кривой и их форм) естественного и искусственного происхождения на солонцах

Идентификационный номер	Местонахождение (лесхоз, лесничество, квартал)	Преобладающая почва	Происхождение березы	Возраст, лет	Средние, см		
					диаметр	высота	прирост по высоте
42/69	Шумихинский, Шумихинское, 10	Магниево-средний и глубокий сильносолончаковый солонец сульфатного засоления	Лесные культуры	7	4,9	3,0	42,9
1/75	Далматовский, Калтайское, 122	Магниево-натриевый луговой глубокий солончаковый солонец слабого содового засоления	То же	28	12,8	14,1	50,0
13/69	Октябрьский, Октябрьское, 36	Натриево-магниевый средний солончаковый солонец среднего сульфатного засоления	*	15	7,0	6,0	40,0
9/69	Иванковский, Мишкинское, 4	Магниево-натриевый средний солончаковый солонец среднего сульфатного засоления	Естественное насаждение	21	7,2	1,0	47,6
18/65	Шумихинский, Альменовское, 30	Магниево-средний и мелкий солончаковый солонец слабого сульфатного засоления	Лесные культуры	13	4,5	3,4	26,0
1П/65	Шумихинский, Альменовское, 30	Магниево-натриевый средний солончаковый солонец слабого хлоридно-сульфатного засоления	Естественный молодой насадник	13	6,5	5,0	38,4
9/70	Щучанский, Сафакулеевское, 10	Магниево-натриевый средний солончаковый солонец смешанно-содового засоления	Отдельно стоящие деревья	15	10,0	8,0	53,0

**Таблица 4. Эскиз хода роста березы по высоте и диаметру на среднем магниевом-натриевом солонце солончаковом среднего сульфатного засоления (пробная площадь 9/69)**

Возраст, лет	Диаметр на высоте 1,3 м без коры, см	Высота, м
3	—	1,0
6	0,5	2,1
9	1,0	4,1
12	2,2	6,1
15	4,0	7,1
18	5,2	9,1
20	6,9	9,8
21	7,2	10,0

как видно из описания почвенного разреза 32, они образуют бурно вскипающую сплошную светло-серую массу.

Описание почвенного разреза 32/65

**А** Темно-серый  
0—14 с коричневым оттенком, порошисто-комковатая структура, механический состав — суглинок, сложение

рыхлое. Переход по цвету постепенный, по структуре и сложению резкий.

**В<sub>1</sub>** Серый с коричневым оттенком, с серой пыльной кремнезема и глянцем на структурных отдельностях, структура ореховато-столбчатая, сложение очень плотное, по механическому составу — суглинок.

**В<sub>2</sub>** Серый с темно-коричневым глянцем и бурыми заклинками, структура ореховатая, механический состав — суглинок, сложение очень плотное. В нижней части горизонта на бурых заклинках псевдомицелий.

**С** Желто-бурая глина с большим скоплением бурно вскипающих солей серого цвета и с небольшими ржавыми и сизоватыми пятнами. Сложение уплотненное.

Анализ водной вытяжки из почвы в зоне корневой системы березы свидетельствует о том, что слабое засоление легкорастворимыми солями начинается уже с глубины 10 см и в основном характеризуется как хлоридно-сульфатное, меняясь с глубиной на некоторых участках прохождения корней березы (20—50 см) на сульфатное. Корневая система березы мирится с нахождением в почве таких токсичных солей, как бикарбонаты магния и натрия, сернистый натрий, хлористые натрий

и магний (см. табл. 2), и содержанием их токсичных ионов в количестве, %:  $\text{HCO}_3$  — 0,085,  $\text{Cl}$  — 0,029,  $\text{SO}_4$  — 0,068. С метровой глубины общее количество бикарбонатной щелочи увеличивается до 1,934 мг-экв. (0,118%). Облик корневой системы березы на средних и мелких магниевых солонцах солончаковых слабого сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления подобен описанному выше (рис. 2).

При исследовании корневой системы березы на среднем натриево-магниевом солонце, солончаковатом среднего сульфатного засоления (пробная площадь 13/69) была установлена сильная деформация корней при посадке. Она выразилась в большом загибе тех корней, которые расположены под стволом и обычно идут в глубю-

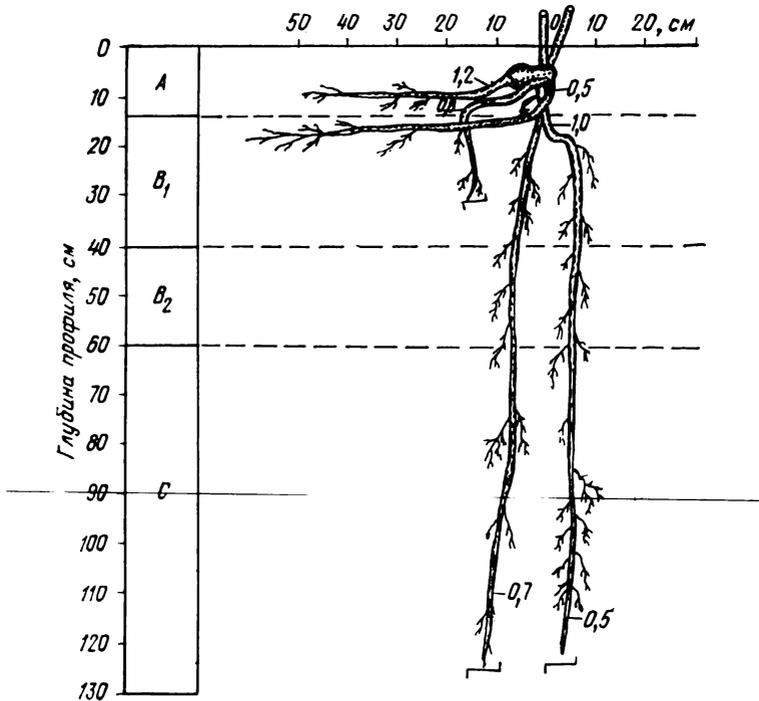


Рис. 1. Корневая система самосева березы на среднем натриево-магниевом солонце хлоридно-сульфатного засоления:

0,1; 0,2 и т. д., см — толщина корней; —|— корни перерублены.

ко лежащие слои почвы. Загиб привел к росту этих корней в горизонте  $B_1$ , но в горизонтальной плоскости. Как и у ранее исследованных деревьев, наибольшее количество корней (скелетных и тонких) сосредоточено в слое 0—20 см. От них в нижележащие слои почвы спускаются вертикально вниз более тонкие корни диаметром 0,7—0,3 см с обильными растущими мочками. На рис. 3 изображена лишь часть корневой системы и, как пример, некоторые из вертикальных корней, проходящие через столбчатый солонцеватый горизонт и проникающие затем в карбонатный и гипсоносный горизонты.

Таким образом, корневая система березы в рассмотренном случае соприкасается с обильной белоглазкой (с глубины 35 см), а также кристаллами гипса (с глубины 56 см) и хорошо переносит содержание токсичных

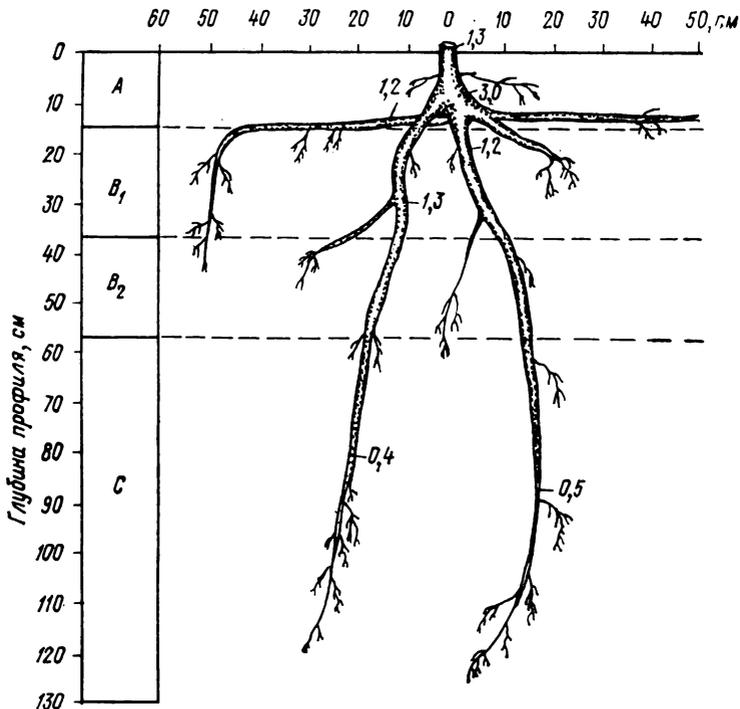


Рис. 2. Корневая система самосева березы на среднем магниевом солонце хлоридно-сульфатного засоления. Обозначения по рис. 1.

солей, которые в слое 45—56 см представлены сульфатными и хлоридными солями магния и сернокислым натрием при плотном остатке 1,052%. Содержание ионов—Cl—0,030 и SO<sub>4</sub>—0,206% не угнетает корневую систему березы.

На опытных участках 39 и 42, заложенных в кв. 10 Шумихинского лесничества Шумихинского лесхоза, корневая система березы также проходит через столбчатый солонцеватый горизонт и слои почвы с обильным содержанием гипса. В возрасте 6 лет она достигает глубины 60 см. В возрасте 8 лет корневая система березы прослежена уже на глубине 80—90 см в горизонте, для которого характерно сильное сульфатное засоление при величине плотного остатка 2,290%.

Исследование корневой системы березы на пробной площади 1/75 в Катайском лесничестве Далматовского лесхоза показало, что корневая система березы более стойкая к содовому засолению, чем сосны. Если проникновение корней сосны в почву ограничивается слоем с содержанием в нем на глубине 60 см ионов CO<sub>3</sub>—0,007—0,012%, то корневая система березы хорошо переносит это количество соды и углубляется в почву до 94 см. Один из рассмотренных нами скелетных корней березы толщиной 3,2 см (рис. 4) углубляется в столбчатый горизонт и, миновав его, очень сильно ветвится в слое почвы 50—80 см. Здесь наблюдается большое количество тонких растущих корней. Значительная часть проводящих корней имеет бурый цвет и очень небольшой диаметр (1 мм). Они производили бы впечатление высохших, если бы не кончались ростовыми корнями характерного белого цвета и большего диаметра, 2 мм. Таким образом, для корней березы общее содержание иона CO<sub>3</sub> 0,012% и HCO<sub>3</sub> 0,130% не только нетоксично, но и неугнетающе.

В результате изучения берез Монголии В. И. Баранов [4] пришел к выводу, что для этой группы берез свойственно не только значительное генотипическое содержание, но и большая экологическая пластичность. Широта последней для берез западной окраины Западно-Сибирской низменности была проверена нами в мелководяночном опыте на солонцах мелком магниевом солончаковом слабого сульфатного засоления (опытный участок 29), среднем магниевом глубоководяночковом

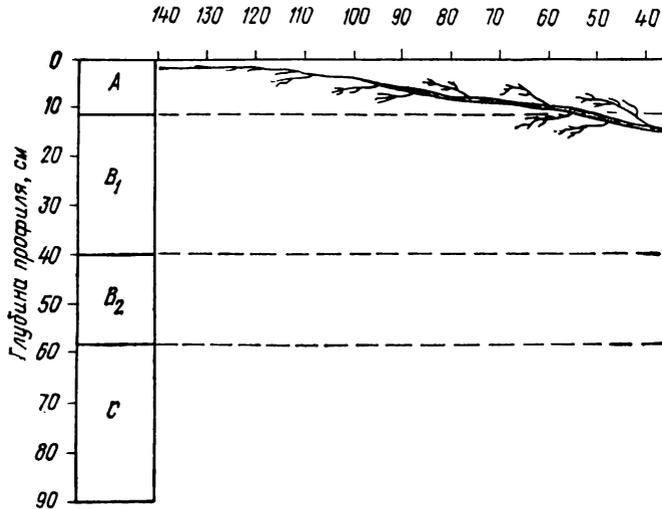
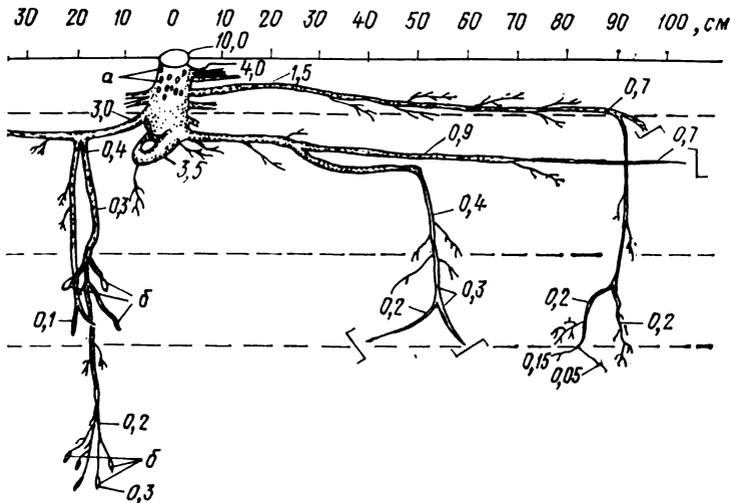


Рис. 3. Корневая система березы в пятнадцатилетних культурах на фатного  
а — спящие почки;

слабого содово-смешанного засоления (опытный участок 33) и корково-столбчатом натриевом солонце-солончаке сильного смешанно-содового засоления (опытный участок 34). Количественная характеристика солонцовости и засоления ионами токсичных солей приведена в табл 5.

Сеянцы березы были высажены в почву, подготовленную бороздами на глубину 10 см, и их корневые системы на опытном участке 33 находились в слое почвы, не засоленном токсичными солями. На опытном участке 29 на них действовали главным образом легкорастворимые соли слабой концентрации, плотный остаток 0,307%. На участке 34 корни березы при посадке попадали в сильно засоленные почвенные слои с большим содержанием ионов  $\text{CO}_3$  и  $\text{HCO}_3$ . На последнем участке соли действовали на фоне крайне неблагоприятных водно-физических свойств почвы, обусловленных повышенным содержанием обменного натрия в поглощающем комплексе почвы, и при полном отсутствии рыхлого гумусового горизонта.



среднем натриево-магниевом солончаковатом солонце среднего суль-  
засоления:

б — ростовые корни.

Различия в почвенных условиях участков в первый же год нашли свое выражение в анатомическом строении листьев березы (табл. 6). Для березы, растущей в наиболее благоприятных условиях 33-го опытного уча-

**Таблица 5. Содержание обменного натрия в поглощающем комплексе почвы горизонта В<sub>1</sub> и ионов токсичных солей в первом засоленном слое почвы на мелкоделяночных опытных участках**

Опытный участок	Содержание обменного натрия, % от суммы оснований	Глубина засоления, см	Плотный остаток, %	Ионы $\frac{\text{мг-экв}}{\%}$			
				CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
34	29,2	0—10	0,408	0,833	3,992	0,502	1,420
				0,025	0,144	0,018	0,068
29	10,8	30—40	0,307	—	1,334	0,320	2,740
				0,081	0,011	0,131	
33	5,9	100—110	0,154	0,233	1,216	0,197	0,565
				0,006	0,074	0,007	0,027

стка, характерны наиболее крупные клетки и большое число устьиц на 1 мм<sup>2</sup> листа. С ухудшением условий произрастания наблюдается уменьшение размера клеток эпидермиса и количества устьиц. Особенно мелкими клетками листьев отличаются растения на 34-м опытном участке. По-видимому, в этих условиях величина клеток листьев предельно мала, так как уже к концу вегетационного сезона береза погибает. Количество устьиц у березы достоверно уменьшается в зависимости от почвенных условий от среднего солонца к мелкому и корковостолбчатому.

Таким образом, береза реагирует на ухудшение водного режима. Подобное явление наблюдал Б. И. Якушев [5] у сосны как реакцию на сокращение запасов влаги в почве. Анатомическое строение листового аппарата березы свидетельствует о том, что в процессе приспособления к засолению береза не может адаптироваться к условиям среднего и сильного содового засоления, тем более на фоне корковых натриевых солонцов. На опытном участке 18/65 также установлена гибель

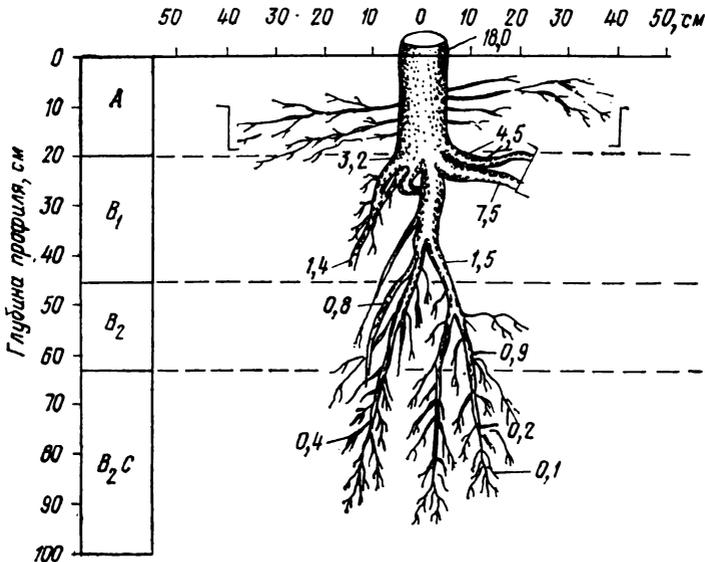


Рис. 4. Корневая система тридцатилетней березы на луговом глубоком натриевом солонце слабосолончаковом содового засоления.

Таблица 6. Количество устьичных клеток и клеток эпидермиса на 1 мм<sup>2</sup> листьев березы в первый год жизни культур

Опытный участок	Почва	M	$\pm m$	V	P	Сравниваемые участки	Показатель существенно-сти различия
Число устьиц на 1 мм <sup>2</sup>							
34	Корково-столбчатый натриевый солонец-солончак сильного смешанно-содового засоления	700,0	50,0	53,1	7,1	34—29	2,3
29	Мелкий магниевый солончаковый солонец слабого сульфатного засоления	828,0	22,0	40,1	2,6	34—33	5,0
33	Средний магниевый глубокосолончаковый солонец слабого содово-смешанного засоления	1025,0	40,0	36,5	3,9	29—33	4,3
Число клеток эпидермиса на 1 мм <sup>2</sup>							
34	Корково-столбчатый натриевый солонец-солончак сильного смешанно-содового засоления	2424,0	120,0	42,4	5,0	34—24	12,4
29	Мелкий магниевый солончаковый солонец слабого сульфатного засоления	1920,0	45,0	39,0	2,4	34—33	17,7
33	Средний магниевый глубокосолончаковый солонец содово-смешанного засоления	1700,0	47,0	32,7	2,8	29—33	3,4

Таблица 7. Водоудерживающая способность листьев березы

Опытный участок	Почва	Содержание воды, % от первоначального количества через интервал времени, ч		
		2	4	25
37	Чернозем солонцеватый	75,6	66,0	18,9
36	Солонец средний магниевый слабосолончаковатый сульфатного засоления	88,2	78,0	27,9

березы на пятнах корково-столбчатого магниево-натриевого лугового солонца при содержании в поверхностных горизонтах почвы большого количества иона хлора (0,217%). Положение не спасает и близкий уровень грунтовых вод в том и другом случаях.

В то же время в определенных условиях солонцеватости и засоления почвы береза, являясь пластичной древесной породой, с первого же года жизни на солонцах начинает приспосабливаться к неблагоприятным условиям. Об этом можно судить по водоудерживающей способности листьев (табл. 7), которая определялась у березы, растущей в опытных культурах на солонце и черноземе солонцеватом. Из табл. 7 видно, что в менее благоприятных почвенных условиях на солонцах береза обладает способностью удерживать в своих листьях большее количество воды и медленнее ее отдавать, чем на черноземе солонцеватом, т. е. проявляет себя как засухоустойчивая древесная порода.

В лесостепи Зауралья береза находится под постоянным воздействием антропогенных факторов, устоять ей помогает такой экологически полезный признак, как большое количество спящих почек. У корневой шейки 5—6-летних берез, естественно, растущих на солонцах, мы насчитывали до 20—30 и более спящих почек. По данным Ю. З. Кулагина [6—7], число спящих почек в нижней части ствола березы бородавчатой возрастает с увеличением трудности лесорастительных условий. Спящие почки — надежный резерв сохранения жизни у березы даже при гибели ее надземной части.

Таким образом, береза в лесостепи Зауралья представлена рядом видов и форм, имеющих определенную экологическую приуроченность. Установлено, что береза кривая, белая и их гибридная форма являются соле- и солонцестойчивыми древесными породами, которые могут быть использованы при облесении отдельных групп солонцев и для дальнейшего выявления и отбора внутри видов наиболее ценных форм березы. Береза в условиях лесостепного Зауралья имеет довольно широкие лимиты засоления и переносит в корнеобитаемой толще почвы содержание ионов токсичных солей, %  $\text{CO}_3$  — 0,007—0,012,  $\text{HCO}_3$  — 0,085,  $\text{Cl}$  — 0,030 и  $\text{SO}_4$  — 0,154—0,206, а при наличии гипса содержание токсичных ионов  $\text{SO}_4$  увеличивается до 0,775%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г.* Справочник таксатора. М. — Л., Гослесбумиздат, 1952, 853 с.
2. *Гроздов Б. В.* Дендрология. М. — Л., Гослесбумиздат, 1952, 435 с.
3. *Колесников В. А.* Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения. М., Сельхозиздат, 1962, 191 с.
4. *Баранов В. И.* Березы Западной Монголии. М. — Л., АН СССР, 1934, 60 с.
5. *Якушев Б. И.* Влияние живого напочвенного покрова как биотического фактора среды на формирование устьиц у сосны обыкновенной. — В сб.: Типология и биология естественных и искусственных фитоценозов. Минск, «Наука и техника», 1974, с. 38—43.
6. *Кулагин Ю. З.* О причинах засухоустойчивости березы бородавчатой. — Труды института биологии УФАН СССР. Вып. 25, Свердловск, 1961, с. 59—67.
7. *Кулагин Ю. З.* Экология березы бородавчатой и березы пушистой в связи с особенностями их водного режима. — Труды института биологии УФАН СССР. Вып. 35, Свердловск, 1963, с. 7—15.