

УДК 630\*232:582.475

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.29

## ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В ИНТРОДУКЦИОННЫХ КУЛЬТУРАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*М. А. Карасева, В. Н. Карасев, Д. И. Мухортов, К. Т. Лежнин*

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: MuhortovDI@volgatech.net

*Цель исследований заключалась в оценке жизненного состояния сосны кедровой сибирской по биометрическим и физиологическим показателям и определении их информативности для селекции устойчивых продуктивных биотипов. Приведены показатели роста культур в различных условиях, охарактеризована интенсивность фотосинтеза, установлены различия деревьев по показателям биоэлектрических потенциалов и импедансу прикамбиального комплекса тканей деревьев. Обоснована целесообразность ранней экспресс-диагностики жизненного состояния и отбора перспективных, устойчивых биотипов по биометрическим показателям, импедансу прикамбиального комплекса тканей, осмотическому давлению клеточного сока хвои, содержанию общего хлорофилла, характеризующих интенсивность обменных процессов и состояние водного режима растений, так как климатические условия региона характеризуются периодически повторяющимися засухами.*

**Ключевые слова:** сосна кедровая сибирская; интродукция; физиология; жизнеспособность; биоэлектрический потенциал; импеданс прикамбиального комплекса тканей.

**Введение.** Диагностика жизненного состояния и выбор критериев для целенаправленного отбора на устойчивость к климатическим и техногенным стрессам интродуцированных видов является одним из средств улучшения экологических функций и повышения биоразнообразия лесных и урбанизированных экосистем. Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) в Среднем Поволжье является интродуцентом, обладающим ценными экологическими свойствами, декоративностью, высокой фитонцидностью, зимостойкостью, является продуктивным орехоносом. Обобщению опыта и разработке оптимальных технологий искусственного выращивания кедров сибирского при интродукции в зоне хвойно-широколиственных лесов посвящены исследования [1–6].

Известны сохранившиеся культуры старших возрастов на небольших участках в Чувашской Республике, Республике Марий Эл, Республике Татарстан, Нижегородской и Кировской областях, а также единичные деревья и группы деревьев в виде аллей в городах и населённых пунктах, которые сохранили жизнеспособность при действии различных неблагоприятных климатических факторов, что свидетельствует о пригодности почвенно-климатических условий региона для интродукции кедра сибирского [7]. Важнейшими показателями, характеризующими степень адаптации растений при интродукции, являются: интенсивность физиологических и ростовых процессов, репродуктивная деятельность, показатели водного режима, активность ферментов, содержание хлорофилла [8–12].

© Карасева М. А., Карасев В. Н., Мухортов Д. И., Лежнин К. Т., 2018.

**Для цитирования:** Карасева М. А., Карасев В. Н., Мухортов Д. И., Лежнин К. Т. Оценка жизнеспособности деревьев сосны кедровой сибирской в интродукционных культурах Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 2 (38). С. 29–40. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.29

**Цель** настоящей работы – анализ жизненного состояния и адаптации сосны кедровой сибирской в условиях Среднего Поволжья по биометрическим, физиологическим, биоэлектрическим показателям и определение их информативности для экспресс-диагностики жизнеспособности и селекции устойчивых продуктивных биотипов.

**Объекты и методика исследований.** Объектами исследований являлись культуры кедра сибирского, произрастающие в лесничествах Чувашской Республики, Республики Марий Эл, Кировской области, и стационары, созданные в Учебно-опытном лесхозе Поволжского государственного технологического университета.

Изучали показатели роста, проводили исследования интенсивности фотосинтеза, транспирации, содержания общего хлорофилла, влажность хвои, осмотическое давление клеточного сока хвои, биоэлектрические потенциалы (БЭП), импеданс прикамбиального комплекса тканей. Жизненное состояние растений оценивали по методике В.А. Алексеева [13]. Интенсивность фотосинтеза определяли методом ассимиляционных колб и кондуктометрическим способом [14].

Для диагностики жизнеспособности и неспецифической устойчивости деревьев сосны кедровой сибирской применяли методики, основанные на определении биометрических показателей и измерении параметров, характеризующих уровень интенсивности обмена веществ организмов (биоэлектрические показатели, БЭП), и показателей водного режима, как прямых (влажность, осмотический потенциал), так и коррелятивных (электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей – импеданс ПКТ). Известно, что при снижении уровня жизнедеятельности, возникновении заболеваний электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей существенно увеличивается, а более низкие значения этого параметра свойственны здоровым деревьям [15–20].

Измерения БЭП производили высокочастотным милливольтметром постоянного тока с использованием платиновых электродов (Экстра-999) в период наибольшей интенсивности ростовых процессов (май, июнь) при антициклоническом типе погоды в полуденные часы. Схема отведения биопотенциалов – корневая шейка – ствол на высоте 1,3 м. Электроды вводили в живые ткани прикамбиального комплекса, включающего камбий, прилегающую к нему флоэму и новообразовавшуюся ксилему. Абсолютная погрешность измерительного процесса в диапазоне измерений БЭП до 90 мВ составляла  $\pm 4,67$  мВ, до 250 мВ –  $\pm 14$  мВ.

Импеданс ПКТ измерялся при помощи прибора Ц 4314 на частоте 500 Гц с использованием датчика от электронного влагомера древесины ЭВ–2К с незначительной переделкой, удалением центрального электрода и сохранением двух боковых, подключаемых к прибору для измерения импеданса. Расстояние между электродами 20,0 мм, длина активной части электродов 10,0 мм, диаметр – 1,0 мм. Измерения проводились на высоте 1,3 м. Абсолютная суммарная погрешность при измерении величины импеданса ПКТ в диапазоне измерений до 100 кОм составила  $\pm 4,96$  кОм, до 300  $\pm 16,5$  кОм, содержание общего хлорофилла в хвое определяли фотоэлектроколориметрически [21]. Осмотическое давление клеточного сока хвои оценивали рефрактометрическим способом.

Влажность хвои и побегов определяли термовесовым методом, расчёт проводили в процентах к абсолютно сухой массе. Для определения влажности хвои и содержания хлорофилла образцы брали с одного и того же яруса кроны и одного возраста с учётом экспозиции крон относительно сторон света.

**Результаты и их обсуждение.** Биологическая устойчивость искусственных фитоценозов наряду с технологическими аспектами в значительной мере зависит от

генотипических особенностей и адаптивных свойств древесных пород. Одно из главных условий, которое обеспечивает качество создаваемых культур при интродукции, это отбор маточных насаждений, прошедших испытания в местных условиях. Об адаптивных возможностях сосны кедровой сибирской и целесообразности её более широкой интродукции свидетельствуют данные таксационных показателей культур старших возрастов, произрастающих в регионе. Результаты определения биометрических и биоэлектрических показателей культур сосны кедровой сибирской в различных районах Поволжья приведены в табл. 1.

Наряду с отбором по фенотипическим показателям достоверную информацию о физиологическом состоянии и жизнеспособности деревьев можно получить по значениям биоэлектрических параметров [22, 23].

Физиологические показатели деревьев-лидеров (лучших), диаметры которых значительно превышают средние диаметры всего насаждения, являются эталоном успешно растущих деревьев. Их показатели на участках, которые охватывают территорию от пограничной зоны лесостепи (Батыревское лесничество) до южной зоны тайги (Кировская область), имеют примерно одинаковые значения, что свидетельствует о возможности успешного произрастания кедра в данном регионе. При этом лучшее физиологическое состояние сосны кедровой сибирской по значениям импеданса прикамбиального комплекса тканей, обеспечению высокой оводнённости тканей деревьев-лидеров и показателям биоэлектрических потенциалов отмечается на территории лесной лесокультурной провинции Среднего Заволжья (левобережье реки Волги) по сравнению с лесостепной лесокультурной провинцией (правобережье реки Волги).

Таблица 1

**Биометрические и биоэлектрические показатели культур сосны кедровой сибирской**

Лесничество	Возраст, лет	Размещение, м	Колич. деревьев, шт./га.	Средние		Показатели деревьев-лидеров		
				Н, м	D, см	D, см	Импеданс, кОм	БЭП, мВ
<b>Чувашская Республика</b>								
Батыревское лесничество	43	1,1 x 0,5	1694	12,5	11,3	24,0	30,0	100
	36	2,5 x 0,7	1735	11,0	15,0	28,0	25,0	120
	36	2,0 x 0,5	1278	10,2	11,4	24,0	25,0	107
<b>Республика Марий Эл</b>								
Филиал ПГТУ «Учебно-опытный лесхоз»	40,0	5-1 x 1,0	1400	14,5	18,2	28	22,0	120
Илетское лесничество	60,0	3,5 x 0,75	608	16,4	24,0	28,0	25,0	110
<b>Кировская область</b>								
Шабалинское лесничество	48	3,0 x 0,8	1730	12,0	16,0	28,0	18,0	120
	48	2,0 x 1,0	1800	11,4	16,2	28,0	20,0	125
Уржумское лесничество	42	3,5 x 0,75	1200	12,0	16,0	26,0	23,0	120
Нолинское лесничество	42	2,5 x 75	2100	10,0	10,5	24,0	21,0	110
Суводское лесничество	48	3,0 x 1,0	1620	16,0	20,0	28,0	24,0	120

Проведённые ранее исследования свидетельствуют о высокой взаимосвязи величин биоэлектрических потенциалов с интенсивностью ростовых процессов различных видов в природной среде. Величины БЭП являются интегральным показателем обменных процессов, протекающих в растении, медленно растущие виды (сосна горная и др.) имеют показатели БЭП, не превышающие 50 мВ. Наиболее адаптированные к климатическим условиям региона, формирующие устойчивые высокопродуктивные насаждения, быстрорастущие интродуценты (лиственница сибирская, сосна веймутова, сосна кедровая сибирская) имеют значения БЭП, близкие к аборигенным видам (сосне обыкновенной, ели европейской) [24].

В насаждении значения биоэлектрических показателей деревьев кедров изменяются в зависимости от занимаемого положения в древостое (табл. 2). У деревьев, занимающих в древостое среднее положение (II, III класс роста по классификации Крафта), и ослабленных (IV, V класс роста) показатель импеданса увеличивается в 1,5–2,5 раза, а величина БЭП снижается со 186 до 97 мВ.

Деревья-лидеры, растущие в верхнем пологе, отличаются большей длиной и массой хвои и более высоким содержанием хлорофилла в хвое по сравнению с деревьями второго яруса. Они имеют высокие параметры БЭП и показатели импе-

данса ПКТ, свидетельствующие об оптимальном состоянии водного режима прикамбиального комплекса тканей.

Величины импеданса ПКТ стволов деревьев взаимосвязаны с оводнёностью растительных тканей, связь высокая, обратная ( $r = -0,80 \dots -0,90$ ). Импеданс деревьев хорошего состояния весьма стабилен и незначительно, по сравнению с деревьями других рангов состояния, изменяется за весенне-летний период. Величины импеданса ПКТ стволов кедров сибирского к осени увеличиваются до 50–60 кОм, что объясняется снижением оводнённости тканей при подготовке к зимнему периоду.

Важным показателем, характеризующим водный режим древесных растений, является осмотический потенциал клеточного сока хвои. Более интенсивный рост и наибольшая продукция сухого вещества наблюдается при высокой оводнённости тканей, т. е. при низком осмотическом потенциале. Исследования, проведённые в период интенсивного роста при достаточной водообеспеченности, показали высокую стабильность осмотического потенциала хвои кедров сибирского, значения которого варьируют в пределах 0,9–1,2 МПа (9–12 атм.). При недостаточном количестве осадков и атмосферной засухе потенциал клеточного сока хвои значительно возрастает, достигая значений более 1,4 МПа (20–22 атм.).

Таблица 2

Физиологические показатели кедров сибирского различного состояния

Показатели	Ед. изм.	Лидеры			Средние			Ослабленные		
		$M_x$	$m_x$	V,%	$M_x$	$m_x$	V,%	$M_x$	$m_x$	V,%
БЭП	мВ	186,3	11,6	25,0	144,4	6,0	15,0	97,0	3,5	11,5
Импеданс ПКТ	кОм	15,4	0,53	10,7	25,6	0,88	12,9	47,9	3,78	33,5
Содержание хлорофилла	мг/г сух. массы	3,15	0,08	8,2	2,46	0,17	17,3	1,52	0,04	6,6
Влажность хвои*	% к сухой массе	133,4	6,40	19,9	114,8	5,4	12,4	111,9	5,7	12,9
Длина хвои	см	11,8	0,19	13,5	10,3	0,26	17,8	8,5	0,26	19,8
Сухая масса 100 шт. хвоинок*	г	1,51	0,07	14,0	1,35	0,08	18,0	1,20	0,08	21,0
Осмотический потенциал хвои*	МПа	0,9	0,020	6,7	1,2	0,034	8,5	1,35	0,036	8,0

\*Показатели приведены для двухлетней хвои.

В вегетационные периоды с недостаточным количеством осадков и снижением влажности почвы регулирование параметров водного режима кедров сибирского осуществляется за счёт уменьшения ассимиляционного аппарата и опадения хвои старших возрастов. В годы с количеством осадков, близких к средним многолетним, средние приросты кедров в высоту составляли 40 см, в засушливые периоды приросты осевого побега в высоту были в два раза меньше ( $21,3 \pm 3,0$  см), но усыхания растений не отмечалось.

Полученные данные свидетельствуют о требовательности кедров сибирского к относительной влажности воздуха и влагообеспеченности почвы, что отмечается многими исследователями [25–28], а также об успешной адаптации кедров сибирского к климатическим условиям региона.

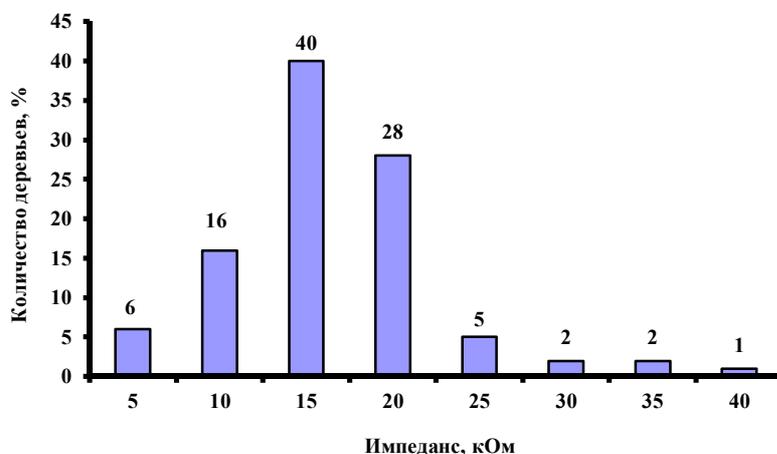
Показатели импеданса ПКТ здоровых деревьев кедров сибирского при достаточном водообеспечении в разных районах региона существенно не отличаются и имеют значения, свойственные данному виду.

Распределение деревьев кедров сибирского по значениям импеданса ПКТ в середине вегетационного периода приведено на рисунке (возраст насаждения 40 лет, ТЛУ – свежая сурамень, почва дерново-среднеподзолистая, суглинистая).

Импеданс ПКТ кедров сибирского имеет параметры, близкие по значениям к величинам импеданса здоровых деревьев

европейской ( $20,0 \pm 0,8$  кОм), у сосны обыкновенной величина импеданса достоверно выше ( $27,0 \pm 0,6$  кОм), что свидетельствует о видовой специфичности данного показателя. При снижении уровня жизнедеятельности электрическое сопротивление ПКТ у всех хвойных пород существенно увеличивается, более низкие значения этого параметра свойственны здоровым деревьям, о чём свидетельствуют работы [17, 18, 23, 29].

Параметры импеданса ПКТ и показатели БЭП деревьев различной жизнеспособности, полученные на основе многолетних наблюдений, подтверждают наличие значительной индивидуальной изменчивости биоэлектрических параметров деревьев кедров в культурах. В первые годы жизни интенсивно растущие, адаптированные к экологическим условиям внешней среды растения имеют более высокие показатели БЭП (150–200 мВ), по сравнению с ослабленными, которые имеют значения 50–70 мВ, что свидетельствует о возможности отбора ценных в генетическом отношении деревьев по этому показателю. Селекционная оценка деревьев кедров сибирского по величинам БЭП, импедансу ПКТ, осмотическому потенциалу клеточного сока хвои и биометрическим показателям позволяет выявить наиболее физиологически устойчивые экземпляры кедров сибирского, представляющие базу для дальнейшей селекционной работы.



Распределение деревьев кедров сибирского по ступеням импеданса ПКТ

При изучении интенсивности основных физиологических процессов местных хвойных пород (сосны обыкновенной, ели европейской и интродуцента кедр сибирского) установлено, что интенсивность фотосинтеза кедр имеет показатели, близкие по значениям ели европейской, но характеризуется очень высокой изменчивостью, которая составляет 89 % для интенсивности нетто-ассимиляции, и более высокими значениями изменчивости интенсивности дыхания (107,0 %).

В засушливые летние месяцы в дни с низкой относительной влажностью воздуха интенсивность фотосинтеза кедр уменьшается с 1,1 до 0,45–0,84 мг / (г·ч), затраты на дыхание возрастают, что приводит к ослаблению роста растений.

Информативным показателем реакции растительного организма к неблагоприятным факторам среды и для оценки приспособления к условиям существования является изменение активности окислительно-восстановительных ферментов каталазы и пероксидазы [24,30,31]. При ослаблении жизненного состояния активность каталазы снижается, высокие показатели активности фермента наблюдаются

у молодых организмов. В табл. 3 приведены показатели активности каталазы в различных частях здоровых деревьев кедр сибирского.

Наиболее высокие показатели активности каталазы имеют семена, хвоя и древесина побегов имеют низкие численные значения. В качестве информативного показателя для оценки адаптивных свойств целесообразно использовать данные по коре двухлетних побегов и по семенам. При оценке состояния и роста опытных чистых культур кедр сибирского, созданных в условиях свежей сурамени с различным размещением и посадкой различным посадочным материалом, установлена высокая сохранность в культурах, посаженных био-группами гнездовым способом (табл. 4). В био-группах растения более устойчивы к заглушению травянистой растительностью, ускоряется дифференциация деревьев, формируется более благоприятный микроклимат, в засуху 2010 года усыхания кедр не наблюдалось. Сохранность культур при посадке био-группами в настоящее время почти в два раза выше, чем в одиночных рядовых культурах и составляет 90 % (стационар 55, 54а).

Таблица 3

Активность каталазы, мл O<sub>2</sub>/г, мин в различных частях кедр сибирского

Части побегов	Статистические показатели активности каталазы мл O <sub>2</sub> /г·мин.				
	min	max	M <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %
Семена	45,6	85,3	58,8	5,79	24,1
Хвоя	2,4	7,7	5,1	0,41	16,5
Кора побегов	15,2	21,0	17,1	0,95	13,4
Древесина побегов	1,2	2,4	1,6	0,20	32,7

Таблица 4

Биометрические показатели кедр сибирского в сплошных чистых культурах

№ стационара	Возраст, лет	Вид посадки	Посадочный материал	Размещение, м		Средняя высота, м	Диаметр, см			Сохранность, %
				между рядами	в ряду		M <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V, %	
65	47	одиночная	сеянцы ОКС	1,0	0,5	16,0	14,3	0,6	26,2	47,5
55	47	гнездовая	сеянцы ЗКС	5,0-1,0	0,5	15,5	18,3	0,5	32,5	90,2
73ж	38	одиночная	саженцы	1,5	0,75	15,0	16,6	0,4	30,2	71,6
54 а	31	гнездовая	сеянцы ЗКС	1,5	0,75	7,1	12,3	0,9	33,6	98,0
54 б	31	одиночная	сеянцы ЗКС	1,5	0,75	7,6	14,9	0,9	34,3	41,9

На участках, созданных сеянцами с закрытой корневой системой гнездовым способом по 3–4 растения в посадочном месте, процесс дифференциации начинается в первые годы роста, к 47-летнему возрасту 85 % посадочных мест имело по одному растению, 9 % по два растения и 6 % по три растения. Количество деревьев 1 класса роста диаметром 24–28 см составляло 25,2 %, в одиночных рядовых посадках, созданных с высокой первоначальной густотой таких деревьев, было всего 8 %. Культуры, созданные саженцами высотой 0,8–1,0 м (стационар 73ж), имеют высокую сохранность и не требовали проведения агротехнических уходов. Почти 50 % деревьев имеют показатели импеданса ПКТ, соответствующие жизненному состоянию деревьев-лидеров (25–35 кОм). Более высокие значения импеданса ПКТ имеют ослабленные деревья.

Важным показателем, характеризующим адаптивные свойства интродуцентов, является репродуктивная способность. Размеры шишек и количество семян в них в интродукционных культурах и в естественных насаждениях имеют близкие показатели. Средняя масса крупных шишек в урожайный год составляет 30 г. Наибольшее количество семян и более тяжёлые по массе семена формируются в крупных шишках, что отмечается многими исследователями [28, 32]. Масса 1000 шт. семян варьирует в пределах 180–240 г.

Количество семян в крупных шишках в 4–5 раз больше, чем в мелких, такая же закономерность сохраняется и в интродукционных культурах. Полнозернистость семян варьирует в значительных пределах от 20 до 80 %. В культурах, созданных биогруппами по 2–3 растения в посадочное место, сформированные семена имеют высокую жизнеспособность

(77–85 %) и соответствуют требованиям 1 и 2 класса качества. В одиночных посадках полнозернистость семян составляет 20–40 %, что обусловлено неблагоприятными условиями для перекрёстного опыления.

Для изучения особенностей роста семенного потомства местной репродукции в мае 2009 года проводили посев семян в открытый грунт питомника. Предпосевная подготовка семян включала четырёхмесячную стратификацию, в качестве субстрата при стратификации семян использовали сфагнум, грунтовая всхожесть семян составляла 40 %. Сеянцы имели высокую сохранность даже в засуху 2010 года, так как было решено не проводить прополку сорняков, которые защищали растения от солнечного перегрева. В опытах, где проводилась прополка, температура открытого поверхностного слоя почвы достигала 40–45 °С и, несмотря на регулярные поливы, наблюдалась гибель сеянцев.

Потомство местной репродукции отличается высокой индивидуальной изменчивостью биометрических и физиологических показателей в зависимости от погодных условий вегетационных периодов (табл. 5). Отдельные растения сосны кедровой сибирской в семилетнем возрасте имеют высоту 75–87 см. Приросты в высоту с возрастом увеличиваются и достигают 25–30 см. Содержание хлорофилла в хвое, развитие ассимиляционного аппарата сеянцев свидетельствуют о возможности обеспечения оптимальных условий для работы фотосинтетического аппарата, что обуславливает в конечном итоге рост и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и целесообразность отбора быстрорастущих, более адаптированных к климатическим условиям района интродукции особей.

Таблица 5

## Биометрические показатели потомства кедров сибирского местной репродукции

Показатели	Диапазон значений <i>min – max</i>	$M \pm m$	$S_x$	$V, \%$
Высота, см	66-87	75,2±2,1	6,8	9,0
Прирост в высоту за 2016 г., см	14-31	20,6±1,4	4,5	21,8
Прирост в высоту за 2015 г., см	10-21	14,7±0,9	2,9	19,7
Прирост в высоту за 2014 г., см	9-14	11,3±0,5	1,6	14,2
Длина хвои, см	7,8-13,2	11,±80,19	1,53	13,5
Масса 100 шт. хвои, г	1,4-3,9	2,8±0,18	0,43	15,3
Содержание хлорофилла в хвое, мг/г сух. хвои	2,1-3,7	2,49±0,18	0,44	17,3

**Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о высокой устойчивости и интенсивном росте сосны кедровой сибирской в интродукционных культурах в условиях Среднего Поволжья. Имеющиеся насаждения являются источником ценного генофонда для создания плантационных и ландшафтных культур.

Деревья кедров сибирского разных категорий жизненного состояния имеют существенные различия в показателях импеданса прикамбиального комплекса тканей и биоэлектрических потенциалов. Наиболее высокие показатели биоэлектрических потенциалов имеют растения, обладающие интенсивным ростом и устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды.

Проведённые исследования свиде-

тельствуют о целесообразности ранней экспресс-диагностики жизненного состояния и отбора перспективных, устойчивых биотипов по биометрическим показателям, импедансу прикамбиального комплекса тканей и осмотическому давлению клеточного сока хвои, характеризующих состояние водного режима растений, так как климатические условия региона характеризуются периодически повторяющимися засухами.

По данным исследований физиологического состояния сосны кедровой сибирской в Среднем Поволжье можно отметить, что в условиях, оптимальных для роста, перспективно выращивание и широкое его использование в искусственном лесовосстановлении, лесоразведении и зелёном строительстве.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения базовой части государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности (г/б НИР 37.8531.2017)

## Список литературы

1. Алимбек Б.М. Опыт интродукции кедровой сосны в Марийской и Татарской АССР // Кедр сибирский на европейском севере СССР, его распространение, возобновление и культура: Сб. тр. Л.: Наука, 1972. С. 72-76.
2. Дроздов И.И., Дроздов Ю.И. Лесная интродукция. М.: МГУЛ, 2000. 135 с.
3. Лазарева С.М., Котов М.М., Котова Л.И. Хвойные интродуценты Республики Марий Эл. СПб., 2002. 136 с.
4. Еремин Н.В., Карасева М.А., Карасев В.Н. Агротехнические и физиологические аспекты успешности выращивания культур сосны кедровой сибирской в Республике Марий Эл // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1 (8). С. 16-29.
5. Лесосеменная база для интродукционных культур кедров сибирского / В.А. Брынцев, И.И. Дроздов, О.Ю. Храмова и др. // Вестник Московского государственного университета леса. 2012. № 3. С.21-23.
6. Бродников С.Н., Хусаинов И.И. Оценка состояния 100-летних культур кедров в условиях Марийского Нагорного Предволжья // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию высшего лесного образования в Республике Карелия. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. С.22-25.

7. Романов Е.М., Лазарева С.М., Бродников С.Н. Семеношение сосны сибирской в Марийском Заволжье // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес, Экология. Природопользование. 2015. № 3. С 34-41.
8. Некрасов В.И. Актуальные вопросы теории акклиматизации растений. М.: Наука, 1980. 102 с.
9. Эколого-физиологическая оценка адаптации хвойных интродуцентов в Среднем Поволжье / В.Н. Карасев, М.А. Карасева, Н.Е. Серебрякова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес, Экология. Природопользование. 2014. № 4 (23). С. 55-67.
10. Путенихина К.В., Шишапов З.Х., Путенихин В.П. Всхожесть семян кедрового сибирского при интродукции в Башкирском Зауралье // Лесоведение. 2016. № 2. С. 107-114.
11. Воробьев Р.А. Содержание основных пигментов в хвое интродуцентов рода Ель в условиях южной тайги (на примере Нижегородской области) // Лесоведение. 2013. № 4. С. 22-31.
12. Rnos-Rojasa L., Franco T., Gurovich A. A. Electrophysiological assessment of water stress in fruit-bearing woody plants / Plant Physiology. 2014. Vol. 171. P. 799-806.
13. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51-57
14. Карасев В.Н., Карасева М.А., Маторкин А.А. Оценка роста и устойчивости культур кедрового сибирского в Среднем Поволжье // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник научных трудов. Брянск: БГИТА, 2006. Вып. 13. С 57-60.
15. Рутковский И.В., Кишенков Ф.В. Применение электрофизиологических методов в лесовыращивании // Лесоведение и лесоводство. 1980. Вып. 3. 40 с.
16. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений. Новосибирск: Наука, 1980. 176 с.
17. Карасев В.Н., Карасева М.А. Диагностика жизненного состояния насаждений хвойных пород по биоэлектрическим показателям // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес, Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С.24-45.
18. Маторкин А.А., Карасева М. А. Информативность импеданса прикамбиального комплекса тканей деревьев хвойных пород при диагностике их жизнеспособности // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: материалы докладов Международной конференции. Часть 2. Сыктывкар, 2007. С. 265-266.
19. Bioimpedance Parameters as Indicators of the Physiological States of Plants in situ / E. Borges, M. Sequeira, A. F. V. Cortez, et al. // International Journal on Advances in Life Sciences. 2014. Vol. 6. P. 74-86.
20. Суховольский В.Г. Сравнительный анализ электрофизиологических методов диагностики состояния деревьев // Перспективные направления развития лесного хозяйства. Красноярск. 1980. С. 23-24.
21. Годнев Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Минск: Издательство АН БССР, 1952. 327 с.
22. Медведев С.С. Электрофизиология растений. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. 86 с.
23. Маторкин А.А., Карасев В.Н., Карасева М. А. Комплексная экспресс-диагностика физиологического состояния сосны обыкновенной при формировании семенных участков и плантаций // Хвойные Бореальной зоны. 2011. № 1-2. С. 78-82.
24. Карасев В.Н., Карасева М.А. Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности хвойных пород: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. 216 с.
25. Твеленев М.В. Районы разведения кедрового сибирского в европейской части СССР // Лесное хозяйство. 1968. № 7. С. 42-45.
26. Лоскутов Р.И. Искусственное восстановление кедрового сибирского. М.: Лесная промышленность, 1971. 105 с.
27. Игнатенко М.М. Сибирский кедр (биология, интродукция, культура). М.: Наука, 1988. 160 с.
28. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Ускоренное выращивание сеянцев и культур кедрового сибирского в Восточной Сибири. Красноярск: Сибирский гос. технол. ун-т, 2001. 254 с.
29. Интенсивность роста крупномерных сеянцев сосны кедровой сибирской местной репродукции в Лесном Заволжье / В.Н. Карасев, М.А. Карасева, К.Т. Лежнин и др. // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов. Брянск: БГИТА, 2015. Вып. 43. С. 25-29
30. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М: МГУЛ, 1999. 193 с.
31. Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М., Ведерников К.М. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: ИжГСХА, 2007. 216 с.
32. Ирошников А.И. Селекция хвойных пород в Сибири. Красноярск: Институт леса и древесины, 1977. 190 с.

Статья поступила в редакцию 15.02.18.

#### Информация об авторах

**КАРАСЕВА Маргарита Антиповна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и интродукция древесных растений. Автор 140 публикаций.

*КАРАСЕВ Валерий Николаевич* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – экология и физиология древесных растений. Автор 130 публикаций.

*МУХОРТОВ Дмитрий Иванович* – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление, утилизация органических отходов и механизация лесохозяйственных работ. Автор 130 публикаций.

*ЛЕЖНИН Константин Трифонович* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и механизация лесохозяйственных работ. Автор 35 публикаций.

UDC 630\*232:582.475

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.29

### ASSESSMENT OF SIBERIAN STONE PINE VIABILITY IN THE INTRODUCED PLANTATIONS OF MIDDLE VOLGA REGION

*M. A. Karaseva, V. N. Karasev, D. I. Mukhortov, K. T. Lezhnin*

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: MukhortovDI@volgatech.net

**Keywords:** *Siberian stone pine; introduction; physiology; viability; bioelectric potential; impedance of over cambium complex of tissues.*

#### ABSTRACT

**Introduction.** Many researches show successful growth of Siberian stone pine in various ecological conditions of the region, but the criteria to select sustainable adapted biotypes are lack of study. **The goal** of the research is to assess the vital condition of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in the Middle Volga Region plantations by biometric and bioelectric figures and to determine their informational content for selection the sustainable and productive biotypes. Siberian stone pine plantations of Middle Volga Region were chosen to be the object of the research. **Methods.** A high-resistance millivoltmeter of continuous current with platinum electrodes (Ekstra-999) was used to measure bioelectric potential. The impedance of over cambium complex of tissues was measured with Ц 4314 apparatus on a frequency of 500 Hz using a transducer of ЭВ-2К electronic moisture meter. Distance between the electrodes is 20,0 mm, length of active part of electrodes is 10,0 mm, diameter is 1,0 mm. The measurement was taken in the middle of vegetation period from the shady side at 1,3 m height. **Results.** The top ranking trees of Siberian stone pine are of high bioelectric potential (186,3±11,6 mV) and are of high content of general chlorophyll in the needles (3,15 ±0,08 mg/g of dry weight). The values of the weakened trees are twice lower. The impedance of over cambium complex of tissues of healthy trees of Siberian stone pine is of optimum parameters (15...25 kiloohm), weakened trees show higher figures (47,9±3,8), which is the evidence of disorder of water regime. It was determined that weakened trees showed the decrease of activity of catalase in the needles, the increase of osmotic potential and the increase of impedance of over cambium complex of tissues. Seed generation of the local reproduction of top ranking trees has an intensive growth: the medium height of 7-year trees is 75,2±2,1 cm. **Conclusion.** The existing plantations of Siberian stone pine are the source of valuable genebank to establish plantations and develop landscape gardening. An express diagnosis of vital condition by the value of bioelectric potential, impedance of over cambium complex of tissues and osmotic pressure of cellular fluid of needles give the possibility to select the trees, which are sustainable to the changes of environment and adapted to water regimes of biotopes. It is particularly important for Middle Volga, where drought periodically takes place.

The paper is prepared with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the accomplishment of basic part of state task by higher educational institutions and scientific organizations in the field of research activity (Research Activities 37.8531.2017).

## REFERENCES

1. Alimbek B.M. Opyt introduktsii kedrovoy sosny v Mariyskoy i Tatarskoy ASSR [An Experience of Siberian Pine Introduction in Mari and Tatar ASSR]. *Kedr sibirskiy na evropeyskom severe SSSR, ego rasprostraneniye, vozobnovleniye i kultura: Sb. tr.* [Siberian Cedar in the European North of the USSR, Its Dispersal, Regeneration, and Plantations: collected papers]. Leningrad: Nauka, 1972. Pp. 72-76. (In Russ.).
2. Drozdov I.I., Drozdov Yu.I. *Lesnaya introduktsiya* [Forest Introduction]. Moscow: MGUL, 2000. 135 p. (In Russ.).
3. Lazareva S.M., Kotov M.M., Kotova L.I. *Khvoynye introdutsenty Respubliki Mariy El* [Mari El Republic Coniferous Introduced Plants]. Saint-Petersburg, 2002. 136 p. (In Russ.).
4. Eremin N.V., Karaseva M.A., Karasev V.N. Agrotekhnicheskie i fiziologicheskie aspekty uspekhov vyrashchivaniya kultur sosny kedrovoy sibirskoy v Respublike Mariy El [Agrotechnical and Physiological Aspects for Successful Cultivation of Siberian Pine in the Republic of Mari El]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. No 1. Pp. 16-29. (In Russ.).
5. Bryntsev V.A., Drozdov I.I., Khramova O.Yu. et al. Lesosemennaya baza dlya introduktsionnykh kultur kedra sibirskogo [Forest-Seed Establishment for the Introduced Trees of Siberian Cedar]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Vestnik of Moscow State Forest University]. 2012. No 3. Pp. 21-23. (In Russ.).
6. Brodnikov S.N., Khusainov I.I. Otsenka sostoyaniya 100-letnikh kultur kedra v usloviyakh Mariyskogo Nagornogo Predvolzhya [An Assessment of 100-year Cedar Plantations Condition in Mari Upland Fore-Volga Region]. *Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vtoroy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiu vysshego lesnogo obrazovaniya v Respublike Kareliya* [The Improvement of Forest Complex Efficiency: proceedings of II All-Russian Scientific and Practical Conference, dedicated to 65-anniversary of higher forest education in the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: PetrGU, 2016. Pp. 22-25. (In Russ.).
7. Romanov E.M., Lazareva S.M., Brodnikov S.N. Semenosheniye sosny sibirskoy v Mariyskom Zavolzh'e [Siberian Cedar Seed Production in Mari Trans-Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2015. No 3. P. 34-41. (In Russ.).
8. Nekrasov V.I. *Aktualnye voprosy teorii akklimatizatsii rasteniy* [Topical Issues of the Theory for Plant Establishment]. Moscow: Nauka, 1980. 102 p.
9. Karasev V.N., Karaseva M.A., Serebryakova N.E. et al. Ekologo-fiziologicheskaya otsenka adaptatsii khvoynnykh introdutsentov v Srednem Povolzh'e [Ecological and Physiological Assessment of Coniferous Introduced Species Adaptation in the Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. No 4(23). Pp. 55-67. (In Russ.).
10. Putenikhina K.V., Shigapov Z.Kh., Putenikhin V.P. Vskhozhest semyan kedra sibirskogo pri introduktsii v Bashkirskom Zaurale [Germinating Capacity of Siberian Cedar Seeds When Introducing in Bashkir Trans-Ural]. *Lesovedeniye* [Sylviculture]. 2016. No 2. Pp. 107-114. (In Russ.).
11. Vorobyev R.A. Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe introdutsentov roda El v usloviyakh yuzhnoy taygi (na primere Nizhegorodskoy oblasti) [The Content of Basic Dyes in the Needles of the Introduced Trees of the Picea in the Southern Taiga (based on the example of Nizhniy Novgorod oblast)]. *Lesovedeniye* [Sylviculture]. 2013. No 4. Pp. 22-31. (In Russ.).
12. Rnos-Rojasa L, Franco T., Gurovich A. A. Electrophysiological Assessment of Water Stress in Fruit-Bearing Woody Plants. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 171. Pp. 799-806.
13. Alekseev V.A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevev i drevostoev [Diagnostics of Vital Ability of Trees and Stands]. *Lesovedeniye* [Sylviculture]. 1989. No 4. Pp. 51-57. (In Russ.).
14. Karasev V.N., Karaseva M.A., Matorkin A.A. Otsenka rosta i ustoychivosti kultur kedra sibirskogo v Srednem Povolzh'e [An Assessment of Growth and Sustainability of Siberian Cedar Plantations in the Middle Volga Region]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. Sbornik nauchnykh trudov* [Current Problems in Forest Complex. Collected papers]. Bryansk: BGITA, 2006. Iss. 13. Pp. 57-60. (In Russ.).
15. Rutkovskiy I.V., Kishenkov F.V. Primeneniye elektrofiziologicheskikh metodov v lesovyrashchivaniy [Use of Electrophysiological Methods in Forest Cultivation]. *Lesovedeniye i lesovodstvo* [Sylviculture and Forestry]. 1980. Iss. 3. 40 p. (In Russ.).
16. Kolovskiy R.A. *Bioelektricheskie potentsialy drevesykh rasteniy* [Bioelectric Potentials of Woody Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 176 p. (In Russ.).
17. Karasev V.N., Karaseva M.A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya nasazhdeniy khvoynnykh porod po bioelektricheskim pokazatelyam [Diagnostics of Living Condition of Coniferous Stand by Bioelectric Marks]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2016. No 2 (30). Pp. 24-45. (In Russ.).
18. Matorkin A.A., Karaseva M.A. Informativnost impedansa prikambialnogo kompleksa tkaney derevev khvoynnykh porod pri diagnostike ikh zhiznesposobnosti [The Informational Value of Impedance of Over Cambium Complex of Tissues of Coniferous Trees When Diagnosing Their Life Ability]. *Sovremennaya fiziologiya rasteniy: ot molekul do ekosistem: materialy*

*dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii. Chast 2* [Modern Physiology of Plants: Molecules – Ecosystems: proceedings of International conference. Part 2. Syktyvkar. 2007. Pp. 265–266. (In Russ.).

19. Borges E., Sequeira M., Cortez A. F. V. et al. Bioimpedance Parameters as Indicators of the Physiological States of Plants in situ. *International Journal on Advances in Life Sciences*. 2014. Vol. 6. Pp. 74-86.

20. Sukhovolskiy V.G. Sravnitelnyy analiz elektrofiziologicheskikh metodov diagnostiki sostoyaniya derevez [A Comparative Analysis of Electrophysiological Methods to Diagnose the Condition of Trees]. *Perspektivnye napravleniya razvitiya lesnogo khozyaystva* [Perspective Trends for Forestry Development]. Krasnoyarsk. 1980. P. 23-24. (In Russ.).

21. Godnev T.N. *Stroenie khlorofilla i metody ego kolichestvennogo opredeleniya* [Chlorophyll Structure and Methods for Its Quantitative Measurement]. Minsk: Izdatelstvo AN BSSR, 1952. 327 p. (In Russ.).

22. Medvedev S.S. *Elektrofiziologiya rasteniy* [Electrophysiology of Plants]. Saint-Petersburg: Izdatelstvo S.-Peterburgskogo universiteta, 1997. 86 p. (In Russ.).

23. Matorkin A.A., Karasev V.N., Karaseva M.A. Kompleksnaya ekspress–diagnostika fiziologicheskogo sostoyaniya sosny obyknovennoy pri formirovaniy semennykh uchastkov i plantatsiy [Complex Express-Diagnostics of Scots Pine Physiological State When Developing Seed Stands and Plantations]. *Khvoynye borealnoy zony* [The Coniferous Species in the Boreal Area]. 2011. No 1–2. P. 78–82. (In Russ.).

24. Karasev V.N., Karaseva M.A. *Ekologo-fiziologicheskaya diagnostika zhiznesposobnosti khvoynykh porod: monografiya* [Ecological and Physiological Diagnostics of Coniferous Species Vitality: monograph]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2013. 216 p. (In Russ.).

25. Tvelenev M.V. Rayony razvedeniya kedra sibirskogo v evropeyskoy chasti SSSR [The Regions for Siberian Cedar Cultivation in the European Part of

the USSR]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1968. No 7. Pp. 42-45. (In Russ.).

26. Loskutov R.I. *Iskustvennoe vosstanovlenie kedra sibirskogo* [Siberian Stone Pine Artificial Regeneration]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1971. 105 p. (In Russ.).

27. Ignatenko M.M. *Sibirskiy kedr (biologiya, introduktsiya, kultura)* [Siberian Stone Pine (Biology, Introduction, Plantation)]. Moscow: Nauka, 1988. 160 p. (In Russ.).

28. Matveeva R.N., Butorova O.F. Uskorennoe vyrashchivanie seyantsev i kultur kedra sibirskogo v Vostochnoy Sibiri [Accelerated Cultivation of Seedlings and Plantations of Siberian Cedar in the Eastern Siberia]. Krasnoyarsk: Siberskiy gos. tekhnol. un-t, 2001. 254 p. (In Russ.).

29. Karasev V.N., Karaseva M.A., Lezhnin K.T. et al. Intensivnost rosta krupnomernykh seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy mestnoy reproduksii v Lesnom Zavolzh'e [The Intensity of Large Siberian Stone Pine Seedlings Growing in the Local Reproduction of Forest Trans-Volga Region]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. Sbornik nauchnykh trudov* [Current Problems in Forest Complex. Collected papers]. Bryansk, 2015. Iss. 43. Pp. 25-29. (In Russ.).

30. Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological Estimation of Environment Pollution and Condition of Terrestrial System with Phytoindication]. Moscow: MGUL, 1999. 193 p. (In Russ.).

31. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Vedernikov K.M. *Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede* [Ecological and Biological Peculiarities of Woody Plants in the Urban Environment]. Izhevsk: IzgGSKhA, 2007. 216 p. (In Russ.).

32. Iroshnikov A.I. *Selektsiya khvoynykh porod v Sibiri* [Coniferous Species Breeding in Siberia]. Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny, 1977. 190 p. (In Russ.).

The article was received 15.02.18.

**For citation:** Karaseva M. A., Karasev V. N., Mukhortov D. I., Lezhnin K. T. Assessment of Siberian Stone Pine Viability in the Introduced Plantations of Middle Volga Region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018. No 2(38). Pp. 29–40. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.19

#### Information about the authors

*KARASEVA Margarita Antipovna* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration, introduction of woody plants. The author of 140 publications.

*KARASEV Valeriy Nikolayevich* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Landscaping, Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – ecology and physiology of woody plants. The author of 130 publications.

*MUKHORTOV Dmitry Ivanovich* – Doctor of Agricultural Sciences, Head at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration, use of organic wastes and mechanization of forestry activities. The author of 130 publications.

*LEZHININ Konstantin Trifonovich* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – artificial forest restoration, mechanization of forestry activities. The author of 35 publications.