*УДК 630*232*

# КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПРЕСС – ДИАГНОСТИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ *PINUS SILVESTRIS* L. ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЕМЕННЫХ УЧАСТКОВ И ПЛАНТАЦИЙ

**А.А. Маторкин, В.Н. Карасев, М.А. Карасева**

Марийский государственный технический университет
Йошкар-Ола, e-mail: forestman@mail.ru

Приведены результаты сравнительной оценки физиологического состояния привитых и корнесобственных деревьев *Pinus silvestris L*. по физиологическим и биофизическим параметрам с целью разработки методов экспресс-диагностики и отбора ценных биотипов при формировании постоянных лесосеменных плантаций. Для диагностики жизнеспособности семенных деревьев измерялись параметры биоэлектрического потенциала, влажность хвои и побегов, скорость водного тока, осмотический потенциал, импеданс прикамбиального комплекса тканей и температура стволов. Определены закономерности интенсивности физиологических процессов и формирования биоэлектрических потенциалов у привитых и непривитых деревьев. Рекомендована комплексная методика экспресс-диагностики отбора семенных деревьев при формировании постоянных лесосеменных плантаций

***Ключевые слова:*** физиологические и биофизические параметры, экспресс – диагностика, жизнеспособность, отбор семенных деревьев, импеданс прикамбиального комплекса тканей, биоэлектрический потенциал

In work the comparative estimation of a physiological condition grafted and non-grafted trees of *Pinus silvestris L.* on physiological and biophysical parameters is made. The purpose of work - development of methods the express diagnostics and selection of valuable biotypes at formation constant seed plantations. For diagnostics of viability of seed trees to adverse factors of environment parameters of bioelectric potential, humidity, speed of a water current, osmotic potential, an impedance a complex of cambium fabrics and temperature of trunks were measured. Laws of intensity of physiological processes and formations of bioelectric potentials at grafted and non-grafted trees are certain. The complex technique the express train-diagnostics of selection of seed trees is recommended at formation constant seed plantations.

***Key words:*** physiological and biophysical parameters, express diagnostics, viability, selection of seed trees, impendance a complex of cambium fabrics, bioelectric potential

## ВЕДЕНИЕ

При решении современных проблем селекции и генетики популяций основных лесообразующих пород важное значение имеет информация, характеризующая разнообразие элементов популяций по биофизическим параметрам, по интенсивности основных физиологических процессов, особенностям их протекания, обусловленных как факторами внешней среды, степенью жизнеспособности деревьев, так и их наследственными свойствами.

При создании постоянных лесосеменных участков (ПЛСУ) и плантаций (ЛСП) уже на ранних этапах их формирования, целесообразно проводить отбор будущих семенных деревьев по физиологическим и биофизическим параметрам с последующим завершением этой работы, когда деревья вступят в пору устойчивого семеношения, по прямым селекционным признакам: по показателям урожайности деревьев, оценке потомства и др.

Такой подход в формировании ПЛСУ на текущий момент определен тем, что пока еще не разработаны надежные способы ранней диагностики репродуктивной способности деревьев, хотя научные исследования в этом направлении проводятся и достигнуты определенные результаты (Иванов, 1946; Вознесенский, 1965; Коловский, 1980; Рутковский, 1980; Шеверножук, 1997), свидетельствующие о возможности применения в селекционной практике ряда физиологических и биофизических методов, в том числе и электрофизиологических.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы являлась сравнительная оценка физиологического состояния привитых и корнесобственных деревьев сосны обыкновенной по физиологическим и биофизическим параметрам и разработка методов экспресс -диагностики для отбора ценных биотипов при формировании ПЛСУ и семенных плантаций. Объектами исследований служили плюсовые деревья, постоянные лесосеменные участки, лесосеменные плантации сосны обыкновенной, произрастающие в лесхозах Среднего Поволжья.

Для диагностики жизнеспособности и неспецифической устойчивости семенных деревьев к неблагоприятным факторам среды применялись методики, основанные на определении параметров, характеризующих уровень интенсивности обмена веществ организмов (биоэлектрический потенциал-БЭП) и показателей водного режима, как прямых (влажность, скорость водного тока, осмотический потенциал), так и коррелятивных (импеданс прикамбиального комплекса тканей, температурные параметры стволов).

Ставилась задача определения информативности определяемых параметров при действии неблагоприятных факторов среды и выявления возможности их использования для экспресс-диагностики физиологического состояния деревьев в селекции наиболее устойчивых и высокопродуктивных биотипов на ранних этапах онтогенеза. При проведении исследований использовались общепринятые методы исследований и разработанные авторами методики и приборные

комплексы. Интенсивность фотосинтеза определялась кондуктометрическим способом (Карасев, 1988). Интенсивность транспирации определялась методом быстрого взвешивания. Измерения биоэлектрических потенциалов производились высокоомным ламповым милливольтметром постоянного тока с электрометрическим усилителем с использованием платиновых электродов (Экстра-999). Были приняты следующие схемы отведения биопотенциалов. Для деревьев семенного происхождения участками отведения БЭП были: корневая шейка – ствол на высоте 1,3 м; верхушечная почка бокового побега на средней части кроны с южной стороны – первая мутовка этого же побега. Для привитых деревьев БЭП измерялись на участках: корневая шейка – ствол выше места прививки; корневая шейка – ствол ниже места прививки; верхушечная почка бокового побега выше места прививки – первая мутовка этого же побега. Импеданс прикамбиального комплекса тканей (импеданс ПКТ) измерялся на частоте 0,5 кГц с применением электродов игольчатого типа диаметром 1 мм и длиной 10 мм, вводимых с северной стороны с базой 25 мм, использовался модернизированный датчик от электронного влагомера древесины ЭВ-2К. Температура стволов деревьев в заданной точке определялась на основе терморезистивного эффекта (Карасев, 2001). Для измерения температуры стволов деревьев применялись 8-канальный цифровой микропроцессорный термометр BM8036, при этом использовался цифровой датчик с программируемым разрешением DS18B20 фирмы Dallas Semiconductors и 24- канальные электротермометры. Линейная скорость водного тока измерялась кондуктометрическим экспресс-методом (Карасев, 1988), содержание общего хлорофилла – фотоэлектроколориметрическим методом (Годнев, 1952). Результаты исследования физиологического состояния семенных деревьев на ПЛСУ и ЛСП, проведенные в Вятско-Полянском спецсемлесхозе и характеристика объектов приводятся ниже. Пробная площадь №1 заложена в квартале 45 в выделе 19 Вятско-Полянского лесничества Вятско-Полянского спецсемлесхоза на ЛСП сосны обыкновенной. Закладка ЛСП производилась весной 1983 года в условиях свежей субори, на свежих вырубках на площади 5,0 га, почва дерново-подзолистая, супесчаная свежая. Производилась посадка саженцев сосны обыкновенной, привитых в питомнике в подготовленные площадки размером 1х1 м, было принято размещение 8 метров между рядами и 6 м в ряду. Густота посадки составляла 210 растений на га. В качестве подвоев использовались 2-х летние сеянцы, выращенные в открытом грунте. Черенки для производства прививок были заготовлены с плюсовых деревьев в марте 1982 года. Прививка осуществлена в апреле-мае 1982 года, сердцевиной на камбий. На участке представлено потомство 20 клонов. Мероприятия по уходу за семенной плантацией заключались в прополке сорняков, обрезке подвоев, уходу за почвой, уходу за кроной, внесении удобрений. Возраст плантации в момент исследований составлял 24 года. Пробная площадь №2 заложена в квартале 45 Вятско-Полянского лесничества на ЛСП сосны обыкновенной, заложенной весной 1998 года на площади 7,0 га. Категория лесокультурной площади - свежая вырубка, рельеф ровный, тип условий произрастания $B_2$, почва дерново-подзолистая, супесчаная свежая. Технология создания плантации такая же как и на пробной площади №1. Прививка осуществлена в мае 1997 года, сердцевиной на камбий, на участке представлено потомство 54 клонов. Возраст плантации при проведении исследований 9 лет. Также изучалось состояние привитых растений сосны обыкновенной на плантациях 5-летнего возраста и полигонах доращивания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении особенностей роста привитых и корнесобственных семенных деревьев сосны обыкновенной в 24-летнем возрасте можно отметить их значительную изменчивость по интенсивности семеношения, по таким параметрам; как средняя высота, диаметр, проекция крон, величина импеданса прикамбиального комплекса тканей различия были несущественны (табл.1). Существенные различия в интенсивности основных физиологических процессов были выявлены при изучении состояния привитых деревьев сосны обыкновенной различной семенной продуктивности (табл.2)

**Таблица 1 –Биометрические показатели семенных деревьев разного происхождения**

| Показатели | Статистические показатели | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_{ср}$ | ±δ | $\pm m_x$ | C, % | P, % | $t_{факт}$ | $t_{теор\ 0,95}$ | $t_{теор\ 0,99}$ |
| корнесобственные деревья. пробная площадь №1 возраст 24 года | | | | | | | | |
| Диаметр, см | 17,6 | ±4,47 | ±0,45 | 25,52 | 2,58 | 38,80 | 1,98 | 2,63 |
| Проекция кроны, м | 4,2 | ±0,82 | ±0,09 | 19,86 | 2,13 | 46,98 | 1,99 | 2,63 |
| Импенданс ПКТ, кОм | 25,7 | ±4,74 | ±0,48 | 18,78 | 1,90 | 52,72 | 1,98 | 2,63 |
| Балл семеношения | 2,1 | ±1,26 | ±0,14 | 61,03 | 6,66 | 15,02 | 1,99 | 2,64 |
| привитые деревья. пробная площадь №1 возраст 24 года | | | | | | | | |
| Диаметр, см | 16,9 | ±3,89 | ±1,04 | 23,45 | 6,27 | 15,96 | 2,16 | 3,01 |
| Проекция кроны, м | 4,2 | ±0,89 | ±0,25 | 21,56 | 5,98 | 16,73 | 2,18 | 3,05 |
| Импенданс ПКТ, кОм | 22,6 | ±5,18 | ±1,38 | 22,94 | 6,13 | 16,31 | 2,16 | 3,01 |
| Балл семеношения | 2,6 | ±0,92 | ±0,26 | 35,29 | 9,79 | 10,22 | 2,18 | 3,05 |
| корнесобственные деревья. пробная площадь №2, возраст 9 лет | | | | | | | | |
| Диаметр | 7,8 | ±2,35 | ±0,36 | 30,93 | 4,72 | 21,20 | 2,02 | 2,70 |
| Проекция кроны, м | 1,9 | ±0,60 | ±0,09 | 31,58 | 4,99 | 20,03 | 2,02 | 2,71 |
| Импенданс ПКТ, кОм | 16,0 | ±2,87 | ±0,44 | 17,93 | 2,73 | 36,57 | 2,02 | 2,70 |
| привитые деревья. пробная площадь №2, возраст 9 лет | | | | | | | | |
| Диаметр | 7,2 | ±1,90 | ±0,24 | 28,66 | 3,64 | 27,47 | 2,00 | 2,66 |
| Проекция кроны, м | 1,8 | ±0,60 | ±0,08 | 35,48 | 4,51 | 22,20 | 2,00 | 2,66 |
| Импенданс ПКТ, кОм | 16,9 | ±2,29 | ±0,29 | 14,02 | 1,78 | 56,14 | 2,00 | 2,66 |

**Таблица 2 - Физиологические показатели деревьев сосны обыкновенной различной семенной продуктивности на ПЛСУ**

| №№ деревьев | Интенсивность транспирации 2-летней хвои, г $H_2O$ на 1 г абс. сухой массы в час | Интенсивность реального фотосинтеза, мг $CO_2$ на 1 г абс. сухой массы в час для 1-летней хвои | Интенсивность дыхания 1-летней хвои, мг $CO_2$ на 1 г абс. сухой массы | Величина БЭП на участке бокового побега «верхушечная почка–первая мутовка, мВ | Содержание общего хлорофилла, мг/г к абс. сухой массе |
|---|---|---|---|---|---|
| обильносеменосящие | | | | | |
| 1 | 0,41 | 2,06 | 0,27 | 184,0 ± 3,9 | 1,365 |
| 7 | 0,39 | 1,93 | 0,18 | 180,0 ± 2,9 | 1,430 |
| 5 | 0,44 | 1,85 | 0,26 | 140,0 ± 3,4 | 2,396 |
| среднесеменосящие | | | | | |
| 4 | 0,37 | 0,45 | 0,24 | 64,0 ± 2,5 | 1,613 |
| 10 | 1,15 | 2,31 | 0,28 | 178,0 ± 4,1 | 1,610 |
| 13 | 0,68 | 1,38 | 0,19 | 80,0 ± 2,5 | 0,706 |
| слабосеменосящие | | | | | |
| 15 | 0,66 | 0,96 | 0,29 | 42,0 ± 2,6 | 1,160 |
| 8 | 0,79 | 0,90 | 0,20 | 180,0 ± 5,0 | 0,840 |
| 14 | 0,27 | 0,52 | 0,21 | 60,0 ± 5,5 | 2,083 |

На основе приведенных данных, можно отметить проявление индивидуальной изменчивости в интенсивности основных физиологических процессов: интенсивность транспирации семенных деревьев сосны обыкновенной при одинаковых погодных условиях может отличаться в 4 раза, интенсивность фотосинтеза – в 5 раз, а содержание общего хлорофилла – в 3 раза. Деревья сосны с обильным семеношением также как и у лиственницы имеют более высокие показатели интенсивности фотосинтеза и биоэлектрических потенциалов. По интенсивности транспирации и дыхания четкой связи со степенью семеношения не выявлено.

Информативными показателями, позволяющими вести раннюю диагностику на устойчивость и продуктивность с применением инструментальных методов, без нарушений целостности организмов являются параметры биоэлектрических потенциалов.

Семенные деревья сосны обыкновенной, ели европейской и лиственницы сибирской лучших баллов урожайности в 70–80% случаев существенно отличаются от деревьев всех других баллов урожайности более высокими значениями БЭП на разных участках его отведения, большим содержанием в листьях хлорофилла, ажурностью крон, более высокими значениями реального фотосинтеза (Карасев, 2001). Часто величины БЭП семенных деревьев низких и средних баллов урожайности по статистическим параметрам между собой существенно не различаются. Встречаются также деревья низких баллов урожайности с хорошо развитой кроной, отличающиеся быстрым ростом и высокими значениями БЭП, что обусловлено их индивидуальными особенностями. Примером проявления индивидуальных особенностей обмена веществ и формирования БЭП является устойчивое наличие у семенных деревьев, созданных прививкой черенков, взятых с перестойных стадийно старых плюсовых деревьев, слабых баллов урожайности и очень низких значений БЭП, величины которых в 3–4 раза меньше, чем у непривитых (корнесобственных) семенных деревьев одинакового возраста и растущих в пределах одного ПЛСУ (табл. 3).

**Таблица 3 – Показатели БЭП привитых и корнесобственных 20-летних семенных деревьев сосны обыкновенной в Вятско-Полянском спецсемлесхозе**

| Участки отведения БЭП | Среднее значение, мВ | σ, мВ | С, % | Р, % | Достоверность результатов t |
|---|---|---|---|---|---|
| деревья без прививки (корнесобственные) | | | | | |
| Верхушечная почка–основание побега | 168,4±6,2 | 22,3 | 13,2 | 3,7 | 27,2 |
| Корневая шейка–ствол на высоте 1,3 м | 143,6±5,0 | 23,7 | 16,5 | 3,5 | 29,0 |
| деревья, созданные прививкой черенками от стадийно старых плюсовых деревьев сосны | | | | | |
| Верхушечная почка–основание побега | 65,6±5,8 | 19,2 | 29,3 | 8,8 | 11,3 |
| Верхушечная почка–основание побега | 40,9±3,3 | 10,9 | 26,7 | 8,1 | 12,4 |
| Верхушечная почка–основание побега | 78,8±4,9 | 16,3 | 20,7 | 6,2 | 16,1 |
| стадийно старые плюсовые деревья сосны (120–140 лет) | | | | | |
| Корневая шейка – ствол на высоте 1,3 м | 42,8±2,1 | 6,6 | 15,4 | 4,9 | 20,4 |

**Примечание**: Измерение БЭП в кронах деревьев производилось в средней части с южной стороны, у стволов — с северной. Температура ПКТ стволов в местах отведения БЭП: у корневой шейки семенных деревьев 15,5°С, плюсовых стадийно старых 14,0°С; на высоте ствола 1,3 м у семенных деревьев 21,5°С, у плюсовых стадийно старых — 15…16°С. Температура побегов 25…27°С.

Закономерно низкое значение БЭП стадийно старых плюсовых деревьев передается не только части семенного дерева выше места прививки, но и приводит к феномену снижения в 1,5–2 раза величины БЭП на участке ствола ниже места прививки, т.е. на молодом подвое, что позволяет в относительных единицах или в долях среднеквадратического отклонения оценивать степень селекционной

совместимости привоя и подвоя. В данном случае речь идет не о совместимости в чисто биологическом аспекте, с учетом видовой принадлежности, анатомических особенностей привоя и подвоя и др., а имеется в виду совместимость в плане ожидаемого селекционного эффекта. Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют ($\eta^2$ = 0,736–0,946), что в 73,6–94,6 % случаев очень низкие значения БЭП привитых семенных деревьев на всех участках их отведения (табл. 3) и, соответственно, низкие баллы их урожайности обусловлены использованием при прививке черенков со стадийно старых перестойных плюсовых деревьев. Черенки для производства прививок при создании ПЛСУ, клоновых плантаций и др. необходимо заготавливать с более молодых (для сосны обыкновенной, например, 60–80 лет) плюсовых деревьев, имеющих достаточно высокие значения БЭП, с таким расчетом, чтобы к моменту наступления репродуктивной фазы величины БЭП привитых деревьев существенно не отличались бы от величин БЭП непривитых деревьев такого же возраста или чтобы БЭП привитых деревьев не опускались бы ниже значений БЭП непривитых (корнесобственных) деревьев на величину 2,5–3,0 σ. Показатели импеданса прикамбиального комплекса тканей в большей степени отражают состояние водного режима в момент исследований и информативны при ослаблении растений длительно действующими неблагоприятными факторами среды. Средние значения импеданса прикамбиального комплекса тканей корнесобственных и привитых деревьев в 24 летнем возрасте существенно не отличались.

У отдельных привитых семенных деревьев растений, которые отличаются замедленным ростом отмечены высокие значения импеданса прикамбиального комплекса тканей, что можно объяснить различием в ритмах цикличности физиологических процессов подвоя и привоя. Значения параметров импеданса данных привитых растений в два три раза превышают этот показатель, по сравнению с корнесобственными, что свидетельствует о нарушениях водного режима. Здоровые растения с нормальным водным режимом имеет более низкие параметры импеданса прикамбиального комплекса тканей по сравнению с ослабленными (табл. 4).

Показатели импеданса прикамбиального комплекса тканей целесообразно использовать при отборе привитых саженцев, обладающих более высокой жизнеспособностью и физиологической совместимостью.

**Таблица 4 – Биометрические и электрофизиологические показатели семенных деревьев сосны обыкновенной разного состояния**

| Происхождение семенных деревьев | Категория состояния | Высота, м | Диаметр, см | Импеданс ПКТ, кОм | БЭП, мВ | Разница температур, $^0$С |
|---|---|---|---|---|---|---|
| привитые | лучшие | 6,5 | 20,0 | 27,0 ±0,7 | 112 ± 4,6 | 6,1 ± 0,24 |
| | средние | 6,0 | 12,0 | 29,0 ± 0,9 | 72 ± 2,5 | 6,6 ± 0,28 |
| корнесобственные | лучшие | 6,6 | 20,0 | 23,0 ± 0,3 | 166 ±3,1 | 4,6 ±0,11 |
| | средние | 6,2 | 14,0 | 26,0± 0,4 | 123 ±3,4 | 4,8 ±0,17 |

Примечание. Приведены данные разницы между температурой стволов на высоте 1,3 м и температурой корнеобитаемого слоя почвы. Измерения проведены при температуре воздуха 27 $^0$С и температуре корнеобитаемого слоя почвы 13,8 $^0$С

Данные исследований показывают, что корнесобственные деревья по физиологическим значениям имеют лучшие показатели по сравнению с привитыми деревьями. У привитых деревьев отмечены более низкие значения биоэлектрических потенциалов. Температура стволов привитых деревьев на 2...4 $^0$С выше, что свидетельствует о пониженной скорости водного тока по сравнению с непривитыми. При дальнейшем формировании плантации необходимо оставлять привитые деревья, имеющие параметры близкие к корнесобственным, что свидетельствует об их нормальном физиологическом состоянии.

При изучении физиологического состояния привитых 4-х летних саженцев, растущих в полигонах доращивания (прививка производилась на 3-х летние сеянцы с закрытой корневой системой) установлена значительная изменчивость, как в показателях водного режима, так и в интенсивности фотосинтетической деятельности, обусловленных качеством прививки, совместимостью привоя и подвоя и др. факторами. Непривитые 3-х летние растения сосны, пересаженные в полиэтиленовые пакеты, имеют также высокие значения импеданса ПКТ (в среднем 113 кОм), в 4-х летнем возрасте значения параметра уменьшаются до 40-45 кОм. Высокое значение импеданса ПКТ саженцев объясняется послепосадочной депрессией растения. Через один-два года водный режим растений нормализуется и импеданс составляет 35-40 кОм

Важное значение для повышения интенсивности роста привоя имеет технология ухода за прививками. Полное удаление хвои и боковых побегов подвоя после снятия обвязки приводит к ослаблению интенсивности физиологических процессов растения в целом, ассимиляционный аппарат привоя не в состоянии обеспечить в полной мере растение органическими веществами. Оставление небольшого количества хвои или небольшого бокового побега на подвое в течение первого года после прививки способствует лучшему росту и водообмену прикамбиального комплекса тканей, что диагностируется по параметрам импеданса без нарушения жизнедеятельности растения. Значения импеданса ПКТ у привитых 4 –х летних растений с оставленной хвоей на подвое были близки к корнесобственным и составляли 30…40 кОм, прирост текущего года был равен 7…8 см, у растений этого же возраста с удаленной хвоей импеданс прикамбиального комплекса тканей варьировал в пределах 60-75 кОм, что свидетельствует о нарушении водного статуса, приросты у таких растений отсутствовали. В качестве модели, характеризующей привитые саженцы имеющие физиоло-

гически совместимые привои и подвои, нормально функционирующие развитые корневые системы определены следующие биофизические параметры; высота привитых семенников в 5-летнем возрасте 1-1,5 м, импеданс ПКТ–15-20 кОм, параметры биопотенциалов 80—100 мВ. Выявленные закономерности интенсивности физиологических процессов и формирования биоэлектрических потенциалов у привитых и непривитых семенных деревьев позволяют сделать следующие выводы:

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Семенные деревья лучших баллов урожайности в 70-80 % случаев существенно отличаются от деревьев всех остальных баллов урожайности высокой интенсивностью фотосинтеза, более высокими величинами БЭП (160 мВ), и содержанием общего хлорофилла в хвое. Значительное повышение импеданса прикамбиального комплекса тканей свидетельствует о нарушениях водного режима привитых растений, обусловленных качеством прививки, несоответствием цикличности физиологических процессов или других факторов.

Создание семенных деревьев путем прививки черенков от стадийно старых плюсовых деревьев не имеет перспективы. Черенки для производства прививок при создании ПЛСУ, клоновых плантаций и др. необходимо заготавливать с более молодых (для сосны обыкновенной, например, 60–80 лет) плюсовых деревьев, имеющих достаточно высокие значения БЭП, с таким расчетом, чтобы к моменту наступления репродуктивной фазы величины БЭП привитых деревьев существенно не отличались бы от величин БЭП непривитых деревьев такого же возраста или чтобы БЭП привитых деревьев не опускались бы ниже значений БЭП непривитых (корнесобственных) деревьев на величину 2,5–3,0 σ.

Заключительная диагностика семенных деревьев по величинам БЭП дает дополнительную информацию о физиологическом состоянии деревьев и позволяет на фоне предварительной оценки жизнеспособности растений по термоэкспресс-методу и импедансу ПКТ стволов выявить наиболее ценные в селекционном отношении экземпляры семенных деревьев.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Годнев, Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения /Т.Н. Годнев. – Минск, 1952. – 327 с

Вознесенский, В.Л. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений / В.Л. Вознесенский, О.В. Заленский, О.А.Семихатова. – М.-Л.: Наука, 1965. – 305 с.

Иванов, Л.А. Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе /Л.А. Иванов, Н.А. Коссович //Ботанический журнал. – 1946. –Т. 31, №5. – С. 3-12.

Карасев, В.Н. Кондуктометрический экспресс-метод определения скорости водного тока древесных растений /В.Н. Карасев //Сб. «Вопросы интенсификации лесного хозяйства и охраны окружающей среды в Среднем Поволжье». – Йошкар-Ола, 1988. – С. 137-143. – Деп. в ЦБНТИлесхоз 08.08.88, №722- ЛХ 88.

Коловский, Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений /Р.А. Коловский. – Новосибирск: Наука, 1980. – 176 с.

Рутковский, И.В. Применение электрофизиологических методов в лесовыращивании /И.В. Рутковский, Ф.В. Кишенков //Лесоведение и лесоводство. – 1980. – Вып. 3. – 40 с.

Шеверножук, Р.Г. Функциональная диагностика адаптивных свойств растений и перспективы ее использования в лесной селекции: Автореф. … д-ра с.- х. наук /Р.Г. Шеверножук. – Брянск, 1997. – 35 с.

Поступила в редакцию 14 марта 2010 г.
Принята к печати 27 апреля 2011 г.