

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»
(КарНЦ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор КарНЦ РАН
член-корр. РАН

О.Н. Бахмет

«*for*» *августа* 20 22г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«МОРФОГЕНЕЗ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ
СТВОЛА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ»**

**НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
1.5.21. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ**

г. Петрозаводск
2022

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – изучение физиолого-биохимических и молекулярно-генетических основ ксило- и флоэмогенеза, путей повышения продуктивности древесных растений.

Задачей преподавания данной дисциплины является формирование у студентов представлений о функционировании камбия (основной вторичной меристемы ствола древесных растений), процессах дифференциации его флоэмных и ксилемных производных и физиолого-биохимических и молекулярно-генетических механизмах, участвующих в регуляции камбиальной активности и формирования проводящих тканей ствола, а также привитие необходимых навыков исследований, постановки и проведения экспериментов.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Обязательная для изучения дисциплина, направленная на сдачу кандидатского экзамена по научной специальности 1.5.21. Физиология и биохимия растений.

Относится к элективным дисциплинам образовательного компонента Основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений.

Период освоения – 5-6 семестры.

3. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

ЗНАТЬ: понятия, определения, термины (понятийный аппарат курса); факты, события, явления (фактологический материал курса), признаки, параметры, характеристики, свойства изучаемых в курсе объектов; принципы, основы, теории, законы, правила, используемые в курсе для изучения объектов курса; методы, средства, приемы, способы решения задач курса; оценки, границы, пределы, ошибки, ограничения изучаемых в курсе методов.

УМЕТЬ: оформлять, представлять, описывать, характеризовать данные, сведения, факты, результаты работы на языке символов, введенных и используемых в курсе; высказывать, формулировать, выдвигать гипотезы о причинах возникновения той или иной ситуации (состояния, события), о путях (тенденциях) ее развития и последствиях; планировать свою деятельность по изучению курса и решению задач курса; рассчитывать, определять, находить, решать, вычислять, оценивать, измерять признаки, параметры, характеристики, величины, состояния, используя известные методы, средства, решения, технологии, приемы, теории, закономерности; выбирать способы, методы, приемы, меры, средства, модели, законы, критерии для решения задач курса; контролировать, проверять, осуществлять самоконтроль до, в ходе и после выполнения работы.

ВЛАДЕТЬ: работать с компьютером как средством управления информацией; ставить цель и организовывать её достижение, уметь пояснить свою цель; использовать знания письменной и разговорной речи, в т.ч. на иностранных языках; организовывать планирование и анализ своей учебно-познавательной деятельности; классифицировать, систематизировать, дифференцировать факты, явления, объекты; описывать результаты, формулировать выводы; обобщать, интерпретировать полученные результаты по заданным или определенным критериям; отыскивать причины явлений, обозначать свое понимание или непонимание по отношению к изучаемой проблеме и др.

4. Перечень компетенций выпускника аспирантуры, на формирование которых направлено освоение дисциплины

Способность генерировать теоретические знания и осваивать современные методы фундаментальных и прикладных исследований в области физиологии и биохимии растений;

Способность генерировать теоретические знания и осваивать современные методы фундаментальных и прикладных исследований в области экологической физиологии растений;

Способность генерировать теоретические знания и осваивать современные методы фундаментальных и прикладных исследований в области изучения фотосинтеза растений;

Способность генерировать теоретические знания и осваивать современные методы фундаментальных и прикладных исследований в области изучения процесса роста и развития растений;

Готовность применять методы теоретических и экспериментальных исследований, а также сервисы поиска и ресурсы научной информации в области физиологии и биохимии растений в организации научно-исследовательской деятельности;

Способность осуществлять поиск научной информации по теме исследования в области физиологии и биохимии растений, критически анализировать ее и обобщать;

Способность планировать, организовывать и осуществлять экспериментальную работу в области физиологии и биохимии растений;

Готовность обобщать литературные сведения и результаты экспериментальной работы в области физиологии и биохимии растений в виде научных публикаций на государственном и иностранном языках;

Готовность представлять результаты научных исследований в области физиологии и биохимии растений в виде устных и стендовых докладов на конференциях на государственном и иностранном языках;

Способность представлять результаты научно-исследовательской работы в области физиологии и биохимии растений в виде научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук, подготовленной и оформленной по установленным требованиям.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

ЗНАТЬ:

- общие принципы функционирования камбия и формирования проводящих тканей ствола древесных растений;
- физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы регуляции камбиальной активности и дифференциации камбиальных производных в разные типы клеток в составе проводящих тканей;
- современные представления о механизмах аномального камбиального роста;
- теоретическую и практическую значимость исследований морфогенеза проводящих тканей ствола в решении задач практического лесоводства и биотехнологии.

УМЕТЬ:

- самостоятельно работать с научной литературой по проблемам регуляции камбиальной активности и дифференциации камбиальных производных;
- планировать отбор растительного материала с учетом фаз камбиальной активности, ксило- и флоэмогенеза;

- использовать полученные знания для интерпретации полученных в ходе исследования результатов в соответствии с современными представлениями о морфогенезе проводящих тканей ствола древесных растений.

ВЛАДЕТЬ:

- современными методами проведения физиолого-биохимических и молекулярно-генетических исследований;
- навыками постановки и решения исследовательских задач;
- навыками обработки, анализа и систематизации экспериментального материала.

6. Объем дисциплины и виды учебных занятий (в виде таблицы)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, что составляет 180 часов.

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц
Объем дисциплины (всего)	180 / 5 з.е.
Аудиторная учебная нагрузка (всего), в том числе:	108 / 3 з.е.
лекции	36
практические занятия	54
семинары	18
Самостоятельная работа (всего)	72 / 2 з.е.
Вид итогового контроля по дисциплине	Зачет

7. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов, видов учебных занятий, форм текущего контроля (приложение)

8. Содержание тем (разделов) дисциплины

Лекционные занятия

№	Тема занятия	Кол-во час.
1	Камбиальный рост древесных растений. Общие понятия. Классификация меристем древесных растений. Место камбия в системе вторичных меристем. Строение покоящегося и активного камбия. Понятие о камбиальной инициали и материнских клетках ксилемы и флоэмы. Типы делений камбиальных клеток, их частота. Флоэмные и ксилемные производные камбия.	2
2	Сезонная активность камбия. История фенологических исследований камбия. Анатомо-цитологические особенности строения клеток активного камбия. Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические исследования камбиальной зоны в сезонной динамике. Механизмы, участвующие в регуляции сезонной активности камбия. Связь между развитием ассимиляционного аппарата и фазами камбиальной активности у разных	4

	видов древесных растений.	
3	Регуляция камбиальной активности. Фитогормоны. Современные представления о регуляции различных типов камбиальных делений. Участие фитогормонов в регуляции камбиальной активности и начальных этапов дифференциации камбиальных производных. История вопроса и современные представления о сигналинге гормонов в камбиальной зоне древесных растений.	4
4	Регуляция камбиальной активности. Низкомолекулярные пептиды. Участие низкомолекулярных пептидов в регуляции камбиальной активности. Роль CLE41/44-PXY-WOX сигналинга в поддержании пролиферативной активности камбиальных клеток.	2
5	Регуляция камбиальной активности. Обеспеченность фотоассимилятами. Транспорт веществ и воды в активном камбии, основные транспортные формы фотоассимилятов. Место камбия в системе донорно-акцепторных отношений органов и тканей при распределении фотоассимилятов. Влияние обеспеченности фотоассимилятами на камбиальную активность. Роль ферментов углеводного обмена в регуляции камбиальной активности. Современные представления о метаболической, осмотической и сигнальной роли сахаров в регуляции камбиальной активности.	4
6	Дифференциация камбиальных производных. Ксилогенез. Основные этапы дифференциации ксилемных производных камбия. Современные представления о растяжении клеток ксилемы и формировании вторичной оболочки клеток. Программируемая клеточная смерть проводящих элементов ксилемы. Участие фитогормонов, низкомолекулярных пептидов и сахаров в процессах дифференциации разных типов элементов ксилемы, физиолого-биохимические и молекулярно-генетические исследования. Метаболизм и транспорт веществ в живых паренхимных клетках зрелой ксилемы. Продолжительность жизни паренхимных клеток в ксилеме. Программируемая клеточная смерть паренхимных клеток и формирование ядровой древесины.	6
7	Дифференциация камбиальных производных. Флоэмогенез. Основные этапы дифференциации флоэмных производных камбия. Особенности программируемой клеточной смерти ситовидных элементов флоэмы. Участие фитогормонов, низкомолекулярных пептидов и сахаров в процессах дифференциации разных типов элементов флоэмы, физиолого-биохимические и молекулярно-генетические исследования. Метаболизм и транспорт веществ в живых паренхимных клетках зрелой флоэмы.	4
8	Влияние факторов окружающей среды на камбиальную активность и морфогенез проводящих тканей ствола. Методы изучения камбиальной активности у деревьев, произрастающих в насаждениях и естественных древостоях. Структура годичных колец древесных растений как отражение условий роста. Влияние условий произрастания и факторов окружающей среды на формирование флоэмы.	4
9	Аномалии камбиального роста. Нарушение регуляции камбиальной активности и образование структурных аномалий проводящих тканей ствола древесных растений. Ямчатость ствола, сувели, сферобласты.	2

10	Карельская береза как объект изучения аномалий камбиального роста древесных растений. Особенности дифференциации камбиальных производных при формировании проводящих элементов ксилемы и флоэмы карельской березы. Регуляторные механизмы, определяющие аномальное развитие проводящих тканей ствола карельской березы.	2
11	Морфогенез проводящих тканей ствола после поранения. Современные представления о каллусогенезе в очагах поранения на стволах древесных растений. Формирование каллуса на обнаженной поверхности древесины и коры. Дифференциация раневого камбия. Особенности строения раневой древесины.	2
	Итого	36

Практические занятия

№	Тема занятия	Кол-во час.
1	Знакомство с методами фиксации образцов и изготовления постоянных и временных препаратов для микроскопии. Микроскопический анализ препаратов активного и покоящегося камбия разных видов древесных растений.	20
2	Микроскопический анализ препаратов проводящих тканей ствола (ксилемы и флоэмы) разных видов древесных растений.	10
3	Знакомство с коллекцией аномальной древесины лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса КарНЦ РАН	8
4	Изучение коллекции микроскопических препаратов органов и тканей карельской березы.	10
5	Микроскопический анализ препаратов проводящих тканей ствола разных видов древесных растений в экспериментах с различной обеспеченностью камбия сахарами.	6
	Итого	54

Семинары

№	Тема занятия	Кол-во час.
1.	Методические подходы в изучении камбиальной активности деревьев.	2
2.	Гормональный сигналинг и регуляция камбиальной активности. Низкомолекулярные регуляторные пептиды.	2
3.	Транспорт ассимилятов в системе «проводящая флоэма – камбиальная зона – ксилема» и уровни его регуляции.	2
4.	Сигналинг сахаров и его место в системе регуляции камбиальной активности.	2
5.	Дифференциация элементов ксилемы.	2
6.	Использование генной инженерии для повышения продуктивности лесных древесных растений.	2
7.	Формирование ядровой древесины: молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы.	2
8.	Проблемы и перспективы использования биотехнологических подходов,	2

	направленных на получение древесины и коры с заданными свойствами.	
9.	Аномалии камбиального роста. Формирование узорчатой древесины карельской березы.	2
	Итого	18

9. Методические материалы для текущего контроля

Вопросы контрольной работы по программе «Морфогенез проводящих тканей ствола древесных растений»

1. Как классифицируются деления камбиальных клеток в зависимости от ориентации клеточной пластинки?
2. Как изменяется активность камбия в течение вегетационного сезона?
3. Какие факторы внешней среды оказывают наиболее существенное влияние на камбиальную активность?
4. Какие гормоны участвуют в регуляции камбиальной активности?
5. Какие низкомолекулярные пептиды участвуют в регуляции камбиальной активности?
6. Как обеспеченность фотоассимилятами влияет на камбиальную активность и дифференциацию камбиальных производных?
7. Каковы основные этапы дифференциации проводящих элементов ксилемы?
8. Какова роль ауксина в регуляции роста растяжением проводящих элементов ксилемы?
9. Чем отличаются процессы программируемой клеточной смерти проводящих элементов ксилемы и флоэмы?
10. Почему гибель паренхимных клеток при формировании ядровой древесины можно рассматривать как программируемую клеточную смерть?
11. Какой основной фактор определяет продолжительность жизни паренхимных клеток в ксилеме?
12. Как проявляются аномалии камбиального роста?
13. У каких видов древесных растений наиболее часто встречаются аномалии развития проводящих тканей ствола?
14. Какие клетки участвуют в формировании каллуса на обнаженной поверхности древесины и коры?
15. Чем раневая древесина отличается от древесины, типичной для вида?

10. Методические материалы для оценивания итоговых результатов обучения по дисциплине

Вопросы к зачету

1. Строение покоящегося и активного камбия. Понятие о камбиальной инициали и материнских клетках ксилемы и флоэмы.
2. Типы делений камбиальных клеток, их частота. Флоэмные и ксилемные производные камбия.
3. Механизмы, участвующие в регуляции сезонной активности камбия.
4. Роль ауксина в регуляции камбиальной активности и начальных этапов дифференциации камбиальных производных
5. Роль цитокинина в механизмах регуляции камбиальной активности.
6. Роль сигналинга гиббереллина, этилена, абсцизовой кислоты и брассиностероидов в процессах формирования проводящих тканей ствола древесных растений.
7. Роль CLAVATA-подобной системы в регуляции пролиферативной активности клеток камбия.
8. Метаболическая роль сахаров в процессах деления и дифференциации клеток в камбиальной зоне.

9. Современные представления о сигнальной роли сахаров и их участии в регуляции экспрессии генов.
10. Участие тканеспецифичных транскрипционных факторов в дифференциации элементов ксилемы и флоэмы.
11. Трахеиды и сосуды ксилемы. Этапы дифференциации. Структура и функции.
12. Регуляция роста растяжением при дифференциации проводящих элементов ксилемы.
13. Регуляция процессов формирования вторичной клеточной оболочки трахеид, волокон и сосудов ксилемы.
14. Программируемая клеточная смерть проводящих элементов ксилемы.
15. Активность ферментов углеводного и фенольного метаболизма в паренхимных клетках заболони и транзитной зоны.
16. Клеточные аспекты гибели паренхимных клеток ксилемы при формировании ядровой древесины.
17. Ситовидные трубки флоэмы. Дифференциация. Структура и функции.
18. Участие ферментов углеводного обмена в поддержании концентрации сахаров в проводящей флоэме.
19. Влияние низких температур на камбиальный рост и дифференциацию камбиальных производных.
20. Влияние засухи на камбиальный рост и дифференциацию камбиальных производных.
21. Классификация аномалий камбиального роста.
22. Ямчатость ствола как результат нарушения камбиального роста. Возможные причины возникновения.
23. Структурно-функциональные особенности древесины с синдромом ямчатости стебля.
24. . Формирование косослойной древесины.
25. Особенности дифференциации камбиальных производных при формировании проводящих элементов ксилемы и флоэмы карельской березы.
26. Физиолого-биохимические индикаторы формирования аномальных по строению тканей ствола древесных растений.
27. Участие регуляторов роста в образовании узорчатой древесины карельской березы.
28. Каллусогенез при повреждении коры и древесины.
29. Морфогенез проводящих тканей при регенерации тканей ствола после поранения.
30. Структурные особенности раневой древесины.

11. Учебная литература

1) Перечень основной литературы

1. Антонова Г. Ф. Рост клеток хвойных. Новосибирск: Сибирская издательская фирма «Наука» РАН, 1999. 227 с.
2. Барыкина Р. П. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. Москва: Издательство МГУ, 2004. 312 с.
3. Ваганов Е., Шашкин А. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
4. Галибина Н. А. и др. Активность инвертазы в тканях ствола карельской березы // Физиология Растений. 2015b. Т. 62. № 6. С. 804–813.
5. Галибина Н. А. и др. Активность сахарозосинтазы в тканях ствола карельской березы в период камбиального роста // Физиология Растений. 2015a. Т. 62. № 3. С. 410–419.
6. Гамалей Ю. В. Транспортная система сосудистых растений. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 424 с.

7. Ермаков В. И., Новицкая Л. Л., Ветчинникова Л. В. Внутри- и межвидовая трансплантация коры березы и ее регенерация при повреждении. Петрозаводск: Карелия, 1991. 184 с.
8. Коровин В. В., Новицкая Л. Л., Курносков Г. А. Структурные аномалии стебля древесных растений. Москва: МГУЛ, 2003. 280 с.
9. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении. Москва: Наука, 1976. 647 с.
10. Новицкая Л. Л. Карельская береза: механизмы роста и развития структурных аномалий. Петрозаводск: Verso, 2008. 144 с.
11. Судаchkова Н. Е., Милютин И. Л., Романова Л. И. Биохимическая адаптация хвойных к стрессовым условиям сибирей. Новосибирск: ГЕО, 2012. 175 с.
12. Эзау К. Анатомия семенных растений. Москва: Мир, 1980. 560 с.
13. Aloni R. Ecophysiological implications of vascular differentiation and plant evolution // *Trees*. 2015. Т. 29. № 1. С. 1–16.
14. Arend M., Fromm J. Concomitant analysis of cambial abscisic acid and cambial growth activity in poplar // *Trees*. 2013. Т. 27. № 5. С. 1271–1276.
15. Biggs A. R. Anatomical and physiological responses of bark tissues to mechanical injury // *Defense Mechanisms of Woody Plants Against Fungi* / под ред. R. A. Blanchette, A. R. Biggs. Berlin: Springer-Verlag, 2008. С. 13–40.
16. Björklund S. и др. Cross-talk between gibberellin and auxin in development of Populus wood: gibberellin stimulates polar auxin transport and has a common transcriptome with auxin // *Plant J*. 2007. Т. 52. № 3. С. 499–511.
17. Bossinger G., Spokevicius A. V. Sector analysis reveals patterns of cambium differentiation in poplar stems // *J. Exp. Bot*. 2018.
18. Camargo E. L. O. и др. Digging in wood: New insights in the regulation of wood formation in tree species // *Molecular Physiology and Biotechnology of Trees* / под ред. F. M. Cánovas. London: Academic Press, 2019. С. 201–233.
19. Chen B. и др. Transcriptomic and epigenomic remodeling occurs during vascular cambium periodicity in Populus tomentosa // *Hortic. Res*. 2021. Т. 8. № 1. С. 102.
20. Fischer U. и др. The dynamics of cambial stem cell activity // *Annu. Rev. Plant Biol*. 2019. Т. 70. № 1. С. 293–319.
21. Fukuda H. Xylogenesis: initiation, progression, and cell death // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*. 1996. Т. 47. С. 299–325.
22. Immanen J. и др. Cytokinin and auxin display distinct but interconnected distribution and signaling profiles to stimulate cambial activity // *Curr. Biol*. 2016. Т. 26. № 15. С. 1990–1997.
23. Krabel D. Influence of sucrose on cambial activity // *Cell and Molecular Biology of Wood Formation* / под ред. R. A. Savidge, J. R. Barnett, R. Napier. Oxford: BIOS Scientific Publishers Limited, 2000. С. 113–125.
24. Larson P. R. Vascular cambium: development and structure. Berlin Heidelberg: Springer, 1994. 725 с.
25. Leitch M. A., Savidge R. A. Cell, tissue and organ culture for the study of cambial activity and wood formation—a resurgence of interest in an old technique // Savidge, R, A., Barnett, J, R., Napier, R ed (s). *Cell and molecular biology of wood formation*. Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers Ltd., 2000. С. 493–512.
26. Love J. и др. Ethylene is an endogenous stimulator of cell division in the cambial meristem of Populus // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2009. Т. 106. № 14. С. 5984–5989.
27. Moshchenskaya Yu. L. и др. The Role of Sucrose Synthase in Sink Organs of Woody Plants // *Russ. J. Plant Physiol*. 2019. Т. 66. № 1. С. 10–21.
28. Nieminen K. и др. Vascular Cambium Development // *Arab. Book*. 2015. Т. 13. С. e0177.
29. Nikerova K. M. и др. Upregulation of antioxidant enzymes is a biochemical indicator of abnormal xylogenesis in Karelian birch // *Trees*. 2021.

30. Prislan P. и др. Review of cellular and subcellular changes in the cambium // *IAWA J.* 2013. Т. 34. № 4. С. 391–407.
31. Sauter J. J. Photosynthate allocation to the vascular cambium: facts and problems // *Cell and Molecular Biology of Wood Formation* / под ред. R. A. Savidge, Barnett J.R., R. Napier R. Oxford: BIOS Scientific Publishers Limited, 2000. С. 71–83.
32. Schrader J. и др. A high-resolution transcript profile across the wood-forming meristem of poplar identifies potential regulators of cambial stem cell identity // *Plant Cell.* 2004. Т. 16. № 9. С. 2278–2292.
33. Sorce C. и др. Hormonal signals involved in the regulation of cambial activity, xylogenesis and vessel patterning in trees // *Plant Cell Rep.* 2013. Т. 32. № 6. С. 885–898.
34. Spicer R., Groover A. Evolution of development of vascular cambia and secondary growth // *New Phytol.* 2010. Т. 186. № 3. С. 577–592.
35. Sundberg B., Ugglä C., Tuominen H. Cambial growth and auxin gradients // *Cell and Molecular Biology of Wood Formation* / под ред. R. A. Savidge, J. R. Barnett, R. Napier. Oxford: BIOS Scientific Publishers Limited, 2000. С. 169–188.
36. Wang D. и др. Vascular Cambium: The Source of Wood Formation // *Front. Plant Sci.* 2021. Т. 12. С. 700928.

2) Перечень дополнительной литературы

1. Антонова Г. Ф., Стасова В. В. Сезонное развитие флоэмы в стволах сосны обыкновенной // *Онтогенез.* 2006. Т. 37. № 5. С. 368–383.
2. Гамалей Ю. В. Транспорт и распределение ассимилятов в растении. Подходы, методы и направления исследований // *Физиология Растений.* 2002. Т. 49. № 1. С. 22–39.
3. Додуева И. Е. и др. СLE-пептиды–универсальные регуляторы развития меристем // *Физиология Растений.* 2012. Т. 59. № 1. С. 17–31.
4. Додуева И. Е. и др. Латеральные меристемы высших растений: фитогормональный и генетический контроль // *Физиология Растений.* 2014. Т. 61. № 5. С. 611–631.
5. Тарелкина Т. В., Новицкая Л. Л. Изменение частоты и локализации антиклинальных делений в камбиальной зоне березы повислой под влиянием сахарозы // *Онтогенез.* 2018. Т. 49. № 4. С. 1–9.
6. Alonso-Serra J. и др. Tissue-specific study across the stem reveals the chemistry and transcriptome dynamics of birch bark // *New Phytol.* 2019. Т. 222. № 4. С. 1816–1831.
7. Buttò V. и др. The role of plant hormones in tree-ring formation // *Trees.* 2020. Т. 34. № 2. С. 315–335.
8. Carvalho M. C. da C. G. de и др. SAGE transcript profiling of the juvenile cambial region of *Eucalyptus grandis* // *Tree Physiol.* 2008. Т. 28. № 6. С. 905–919.
9. De Schepper V. и др. Phloem transport: a review of mechanisms and controls // *J. Exp. Bot.* 2013. Т. 64. № 16. С. 4839–4850.
10. Deslauriers A. и др. Ecophysiology and Plasticity of Wood and Phloem Formation // *Dendroecology Ecological Studies.* / под ред. M. M. Amoroso и др. Cham: Springer International Publishing, 2017. С. 13–33.
11. Endo H. и др. Multiple classes of transcription factors regulate the expression of VASCULAR-RELATED NAC-DOMAIN7, a master switch of xylem vessel differentiation // *Plant Cell Physiol.* 2015. Т. 56. № 2. С. 242–254.
12. Fajstavr M. и др. Auxin (IAA) and soluble carbohydrate seasonal dynamics monitored during xylogenesis and phloemogenesis in Scots pine // *IForest - Biogeosciences For.* 2018. Т. 11. № 5. С. 553–562.
13. Garcés M. и др. Proteomic analysis during ontogenesis of secondary xylem in maritime pine // *Tree Physiol.* 2014. Т. 34. № 11. С. 1263–1277.

14. Gričar J. Cambial cell production and structure of xylem and phloem as an indicator of tree vitality: a review // Sustainable Forest Management - Current Research / под ред. J. J. Diez. : InTech, 2012. С. 111–134.
15. Johnsson C. и др. The plant hormone auxin directs timing of xylem development by inhibition of secondary cell wall deposition through repression of secondary wall NAC-domain transcription factors // *Physiol. Plant.* 2019. Т. 165. № 4. С. 673–689.
16. Kim M.-H. и др. Wood transcriptome analysis of *Pinus densiflora* identifies genes critical for secondary cell wall formation and NAC transcription factors involved in tracheid formation // *Tree Physiol.* 2021. С. tpab001.
17. Lim K.-J. и др. A transcriptomic view to wounding response in young Scots pine stems // *Sci. Rep.* 2021. Т. 11. № 1. С. 3778.
18. Lim K.-J. и др. Developmental changes in Scots pine transcriptome during heartwood formation // *Plant Physiol.* 2016. Т. 172. № 3. С. 1403–1417.
19. Roach M. и др. Spatially resolved metabolic analysis reveals a central role for transcriptional control in carbon allocation to wood // *J. Exp. Bot.* 2017. Т. 68. № 13. С. 3529–3539.
20. Schrader J. и др. Cambial meristem dormancy in trees involves extensive remodelling of the transcriptome // *Plant J.* 2004. Т. 40. С. 173–187.
21. Shi R. и др. Tissue and cell-type co-expression networks of transcription factors and wood component genes in *Populus trichocarpa* // *Planta.* 2017. Т. 245. № 5. С. 927–938.
22. Wang M. и др. Dynamic changes in transcripts during regeneration of the secondary vascular system in *Populus tomentosa* Carr. revealed by cDNA microarrays // *BMC Genomics.* 2009. Т. 10. № 1. С. 215.

12. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Электронный ресурс научной библиотеки КарНЦ РАН

[режим доступа: <http://library.krc.karelia.ru/>]

Электронная научная библиотека eLIBRARY.RU

[режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>]

Электронная юбиблиотека ОБН РАН

[режим доступа: <http://www.sevin.ru/library/>]

Библиотека по естественным наукам РАН

[режим доступа: <http://www.benran.ru/>]

Электронная научная библиотека Wiley Online Library

[режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/>]

Электронная научная библиотека издательства Springer

[режим доступа: <http://www.springer.com/gp/>]

Электронная научная библиотека издательства Elsevier

[режим доступа: <http://www.elsevier.com/>]

Библиографическая и реферативная база данных Scopus

[режим доступа: <http://www.scopus.com/>]

Национальная библиотека Республики Карелия

[режим доступа: <http://library.karelia.ru/>]

Медико-биологический информационный портал и поисковая система Medline

[режим доступа: <http://www.medline.ru/medsearch/>]

13. Материально-техническое обеспечение

Оборудование лабораторий:

Микротом LKB Ultratome IV (LKB, Швеция)

Замораживающий микротом Frigomobil (R.Jung, Германия)

Микроскоп AxioImagerA1 (CarlZeiss, Германия) с камерой ADF PRO03 (ADF, Китай)

Стереомикроскоп ADF S645 с 10 Мп камерой(ADF, Китай)

Оборудование ЦКП для молекулярно-генетических исследований:

Центрифуга с охлаждением на 24 места Eppendorf Centrifuge 5415R (Eppendorf)

Система ПЦР в режиме реального времени, система анализа РНК IQ iCycler (Bio-Rad)

Амплификатор (термоциклер) МахуGene II Therm-1000 (Ахугене)

Система высокой очистки воды Simplicity с УФ лампы;

Микроцентрифуга-вортекс "Микроспин" FV-2400, 2800 об/мин, роторы R-1,5, R-0.5/0.2

Бокс абактериальной воздушной среды для работы с ДНК-пробами при проведении ПЦР-диагностики БАВ-ПЦР-"Ламинар-С."

14. Перечень лицензионного программного обеспечения

1. Microsoft Windows XP Лицензионное соглашение 42500214.
2. Программа Kaspersky Endpoint Security для бизнеса. Серийный номер 17E0-000451-46764E57, Договор № 51622/СПБ3971 от 20.04.2015г.
3. Программа АБВУ FineReader 10 Corporate Edition Серийный номер FCRC-1000-0000-9519-0829-2072. Договор № 1648-SPB19 от 8.09.2009г.
4. Программа Statistica 10 Серийный номер АХАР311G191026FA-R Договор № 5244/СПБ2414 от 30.09.2011г.
5. Программное обеспечение в комплекте с научным оборудованием.

15. Критерии оценивания для итогового контроля

Результаты зачета оцениваются на «зачтено», «не зачтено» по следующим основаниям:

«Зачтено» ставится, если ответ построен логично, в соответствии с планом, показано знание универсальных, общепрофессиональных и профессиональных вопросов, терминов и понятий, установлены содержательные межпредметные связи, выдвигаемые положения обоснованы, приведены примеры, показан аналитический и комплексный подход к раскрытию материала, сделаны содержательные выводы, продемонстрировано знание основной и дополнительной литературы.

«Не зачтено» ставится, если ответ построен не логично, план ответа соблюдается непоследовательно, отвечающий не раскрыты профессиональные знания и умения. Научное обоснование вопросов подменено рассуждениями дилетантского характера. Ответ содержит ряд серьезных неточностей и грубых ошибок. Не обнаружен аналитический и комплексный подход к раскрытию материала, сделанные выводы поверхностны или неверны, не продемонстрировано знание основной и дополнительной литературы.