

The background of the slide is a microscopic image of wood tissue, showing a dense network of cells with several large, clear, circular or oval structures, likely tracheids or vessels, arranged in vertical columns.

***Изменение программы дифференцировки  
производных камбия  
в градиенте сахарозы и ауксина***

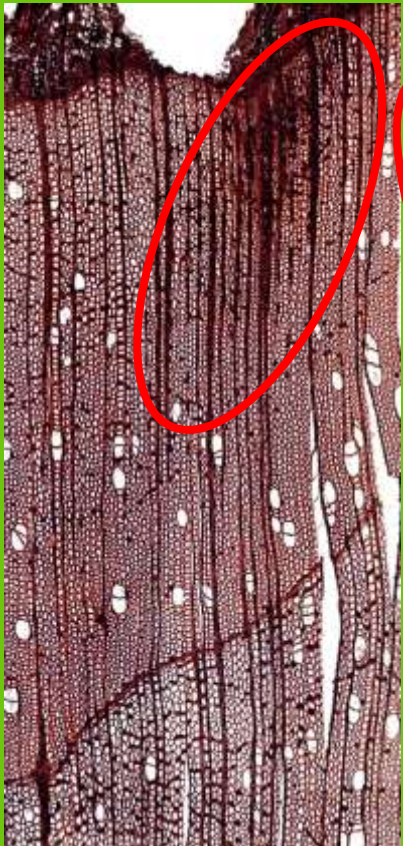
***Новицкая Л.Л., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В.,  
Николаева Н.Н., Никерова К.М.***

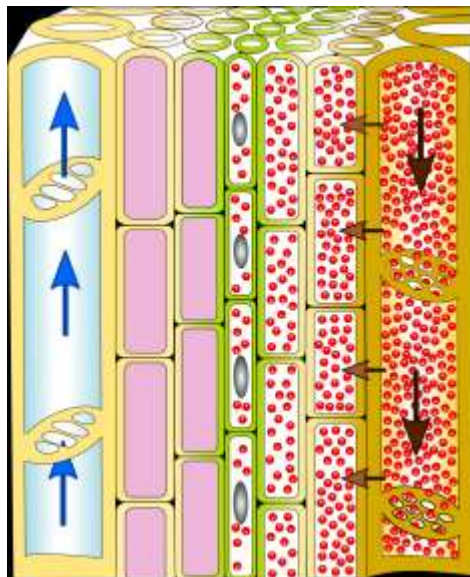
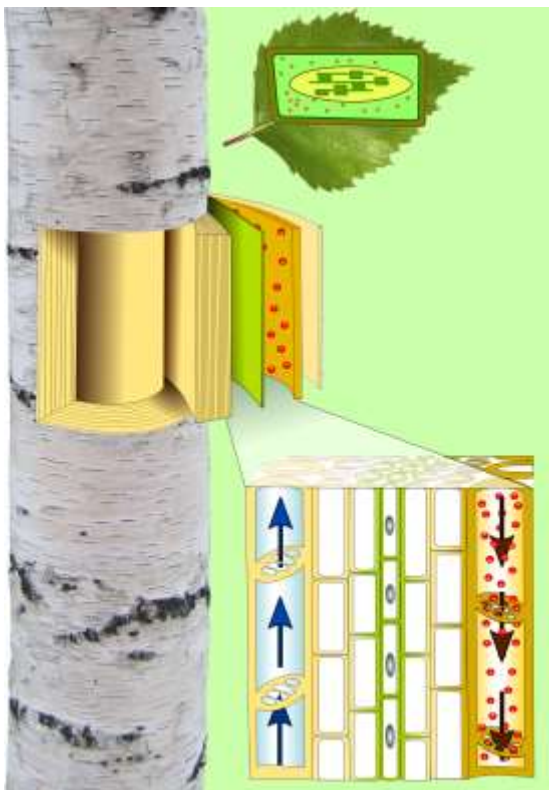
***Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск***

*Betula pendula* var. *carelica*



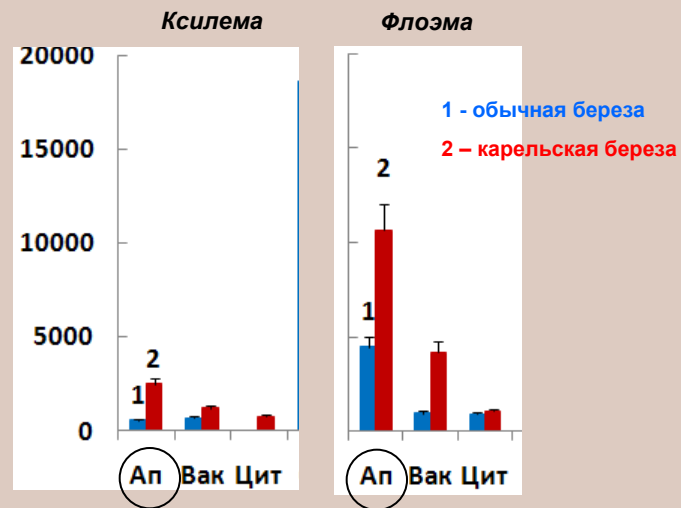
*Betula pendula* var. *pendula*



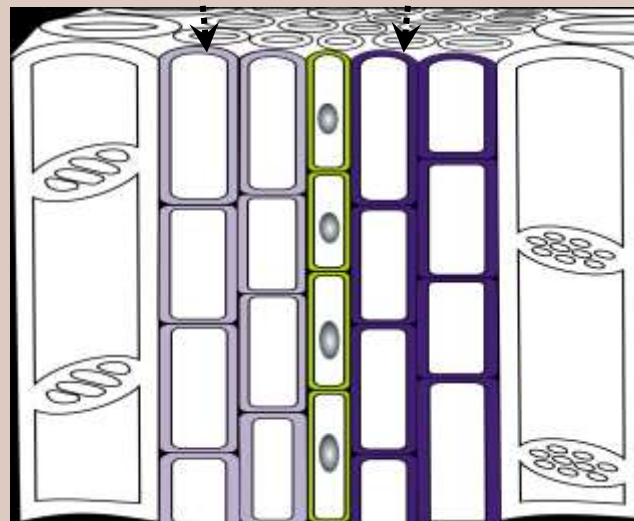


**Активность инвертаз  
(нмоль распавшейся сахарозы на г сырой ткани)**

Ап – апопластная, Вак – вакуолярная,  
Цит – цитоплазматическая



600 2500 4500 10700



**Инвертаза:**

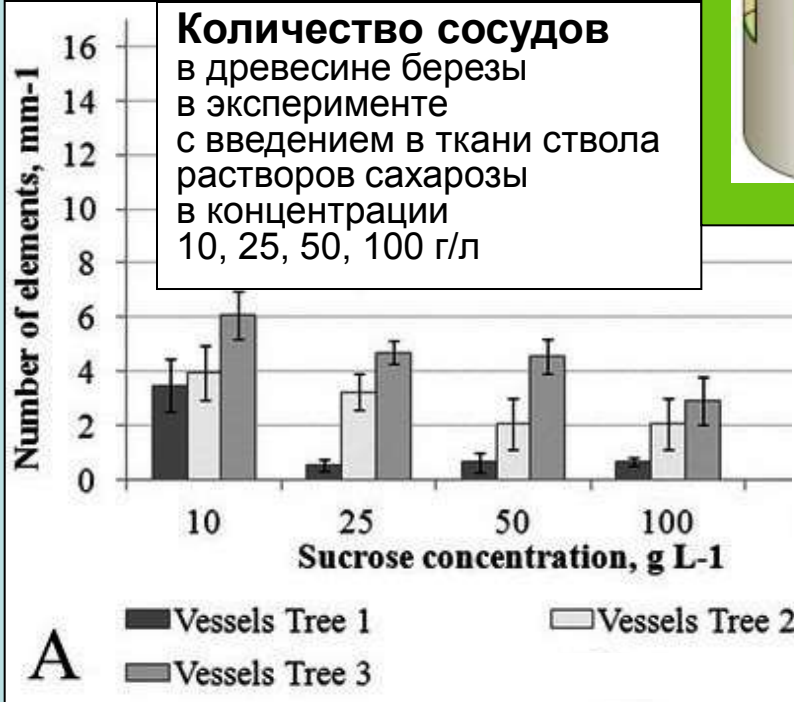
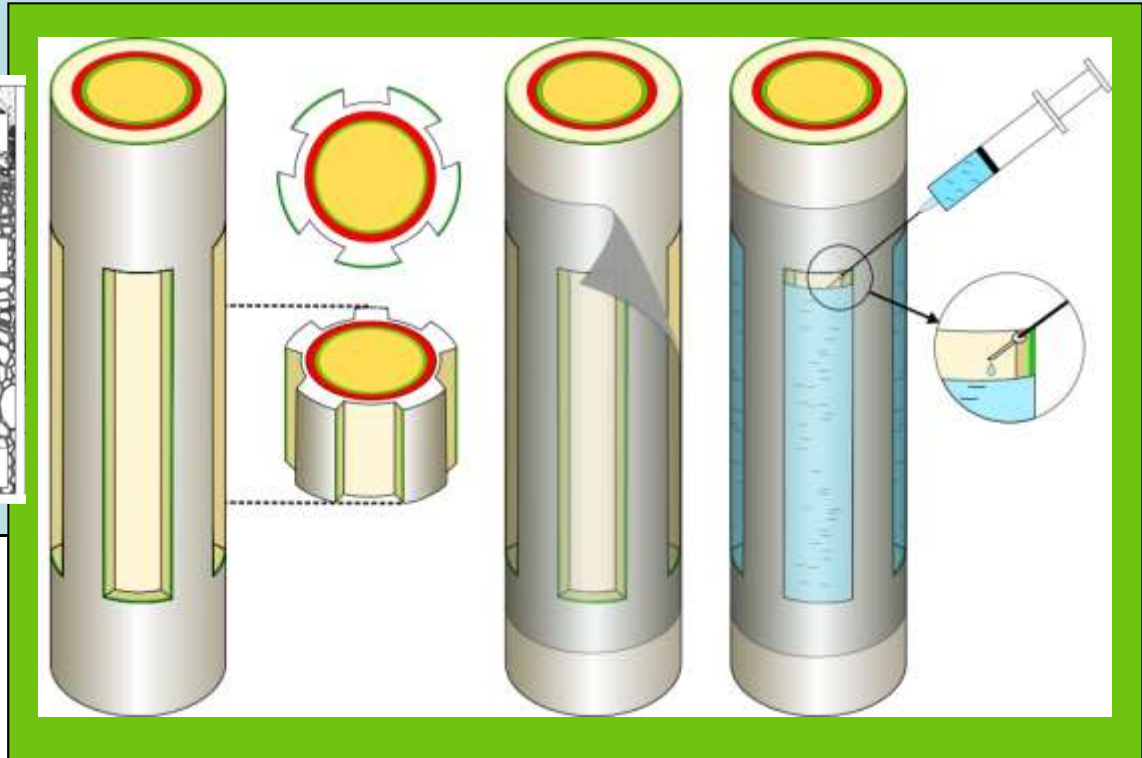
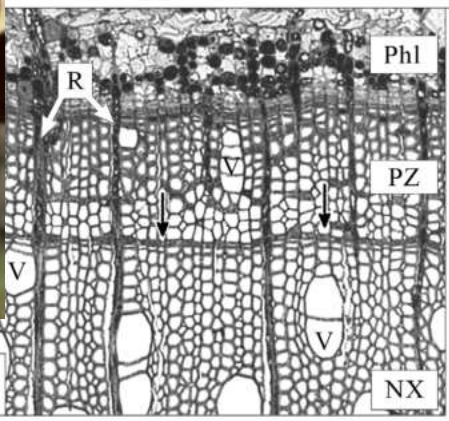


Гексокиназы  
Фруктокиназы

Фосфаты моносахаров

Гликолиз  
Цикл Кребса  
ПФП

Эксперимент с введением в ткани ствола березы (*B. pendula* var. *pendula*) растворов сахарозы разной концентрации (10, 25, 50, 100, 200 г/л)



Активность АПИНВ (мкмоль расщепленной сахарозы на г сырого веса)	Концентрация экзогенного раствора сахарозы (г/л)			
	10	20	50	100
	49	61	75	112

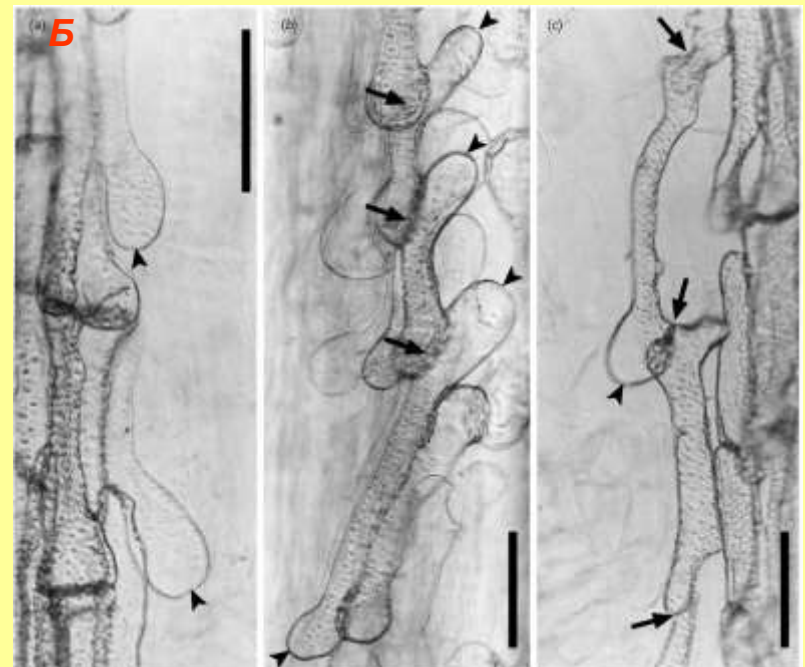
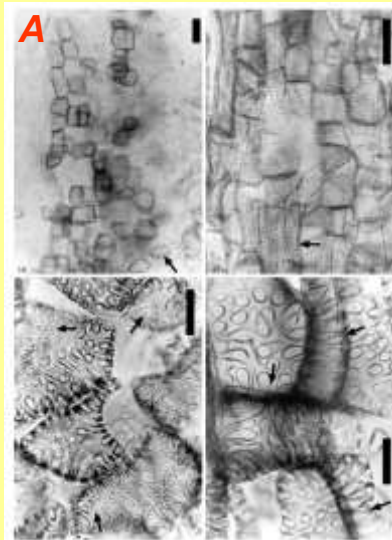


*Fukuda, 1992, 1994, 1996, 1997, 2000; Fukuda et al., 1998; Kuriyama, Fukuda, 2001.*

Большой прогресс в понимании событий клеточной дифференцировки и их регуляции внесли эксперименты в культуре клеток *Zinnia*, которые показали, что **клетки мезофилла реди дифференцировались в трахеальные элементы в ответ на внесение ауксина.**

*Kalev N., Aloni R. Role of auxin and gibberellin in regenerative differentiation of tracheids in *Pinus pinea* seedlings. *New Phytol* (1998) 138: 461-468.*

В проростках сосны трахеиды дифференцировались из паренхимных клеток под влиянием ауксина и гиббереллина. Причем, если применяли один ауксин (**А**), то формировались очень короткие трахеиды, а использование ГА в присутствии ауксина (**Б**) способствовало удлинению трахеид в результате интрузивного роста.



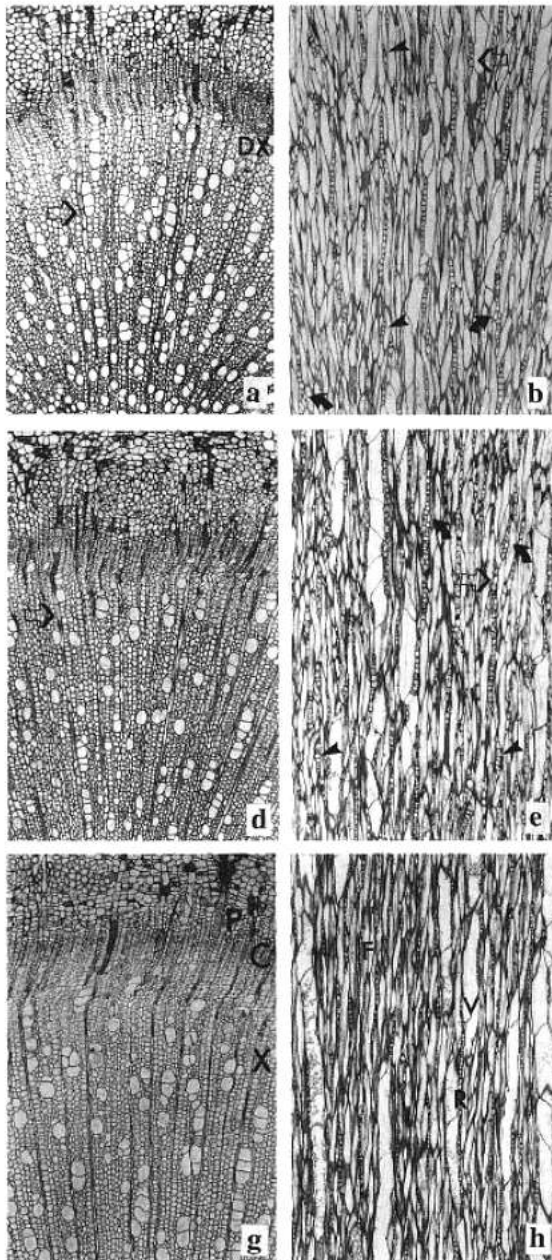


Figure. Xylem anatomy at the basal part of the stem in transgenic (a, d) and wild-type hybrid aspen (g).

*Tuominen H., Sitbon F., Jacobsson C., Sandberg C., Olsson O., Sundberg B.* Altered Growth and Wood Characteristics in Transgenic Hybrid Aspen Expressing *Agrobacterium fumefaciens* T-DNA Indoleacetic Acid-Biosynthetic Genes. *Plant Physiol* (1995) 109: 1179-1189.

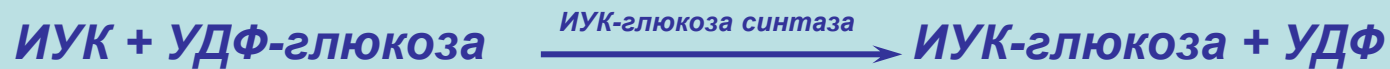
**Сверхэкспрессия генов бактериального биосинтеза ИУК в трансгенных растениях осины приводила к увеличению плотности сосудов (число сосудов на площадь поперечного среза)**

*Aloni R.* Role of hormones in controlling vascular differentiation and the mechanism of lateral root initiation. *Planta* (2013) 238:819–830

**Высокая концентрация ауксина способствовала появлению перфораций в трахеидах гипокотыля проростков сосны, т.е. превращению их в сосуды.**

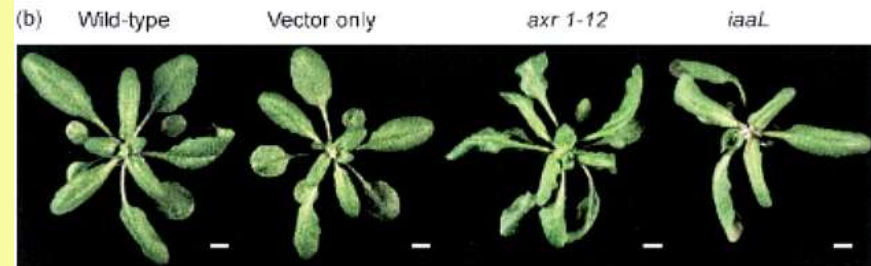
В тканях растений широко распространена реакция взаимодействия ауксина с УДФ-глюкозой (УДФГ), в результате которой образуется его конъюгат ИУК-глюкоза (Michalczuk, Bandurski, 1982; Sztein et al., 1995; Ludwig-Müller, 2011).

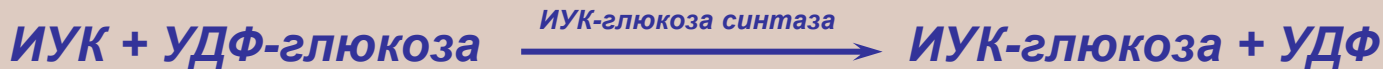
Ферментативный синтез конъюгата ИУК (ИУК-глюкоза) впервые был описан Michalczuk и Bandurski (1982):



Jackson R.G., Kowalczyk M., Li Yi, Higgins G., Ross J., Sandberg G., Bowles D.J. Over-expression of an *Arabidopsis* gene encoding a glucosyltransferase of indole-3-acetic acid: phenotypic characterisation of transgenic lines. *The Plant Journal* (2002) 32: 573-583

Сверхэкспрессия гена, кодирующего ИУК-глюкоза синтазу, ведет к изменениям фенотипа растений: листья трансгенных линий были морщинистыми, скрученными, имели аномальную среднюю жилку. Это свидетельствует о нарушении дифференцировки проводящих тканей.





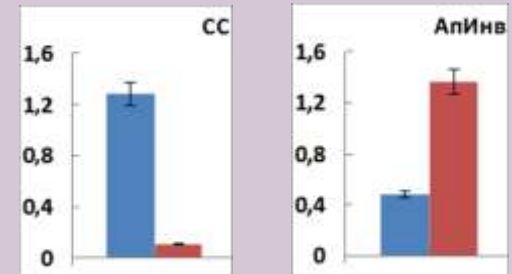
Основной вклад в синтез УДФ-глюкозы (УДФГ) в растениях осуществляют сахарозосинтаза, УДФГ-пирофосфорилаза и УДФ-сахар-пирофосфорилаза (обзор Kleczkowski et al., 2010).

**Сахарозосинтаза:** сахароза + УДФ ↔ УДФГ + фруктоза

**Пирофосфорилазы:** глюкозо-1-фосфат + УТФ ↔ УДФГ + ФФН

УДФГ-пирофосфорилаза специфична для глюкозо-1-фосфата (Гл-1-Ф), УДФ-сахар-пирофосфорилаза может использовать в качестве субстрата различные моносахарид-1-фосфаты с образованием соответствующих УДФ-сахаров, включая УДФ-глюкозу, УДФ-галактозу, УДФ-арабинозу и УДФ-ксилозу.

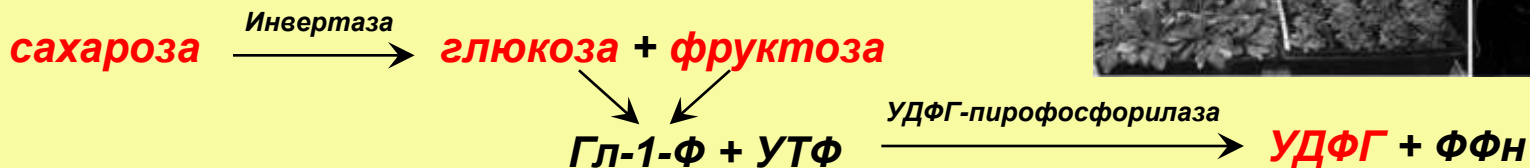
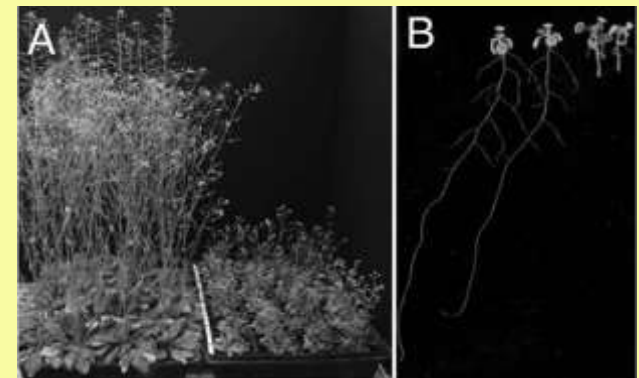
По сравнению с **обычной березой повислой** у **карельской березы** активность сахарозосинтазы (СС) в зоне формирования структурных аномалий древесины существенно снижена, в то же время отмечена высокая активность апопластной инвертазы (АпИнв).



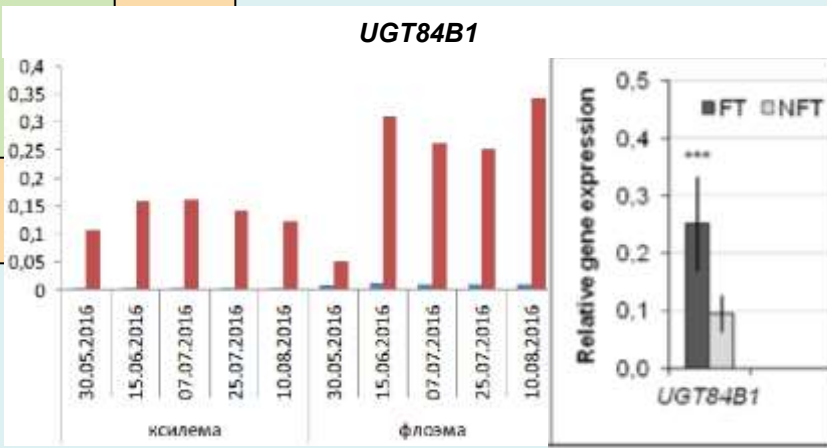
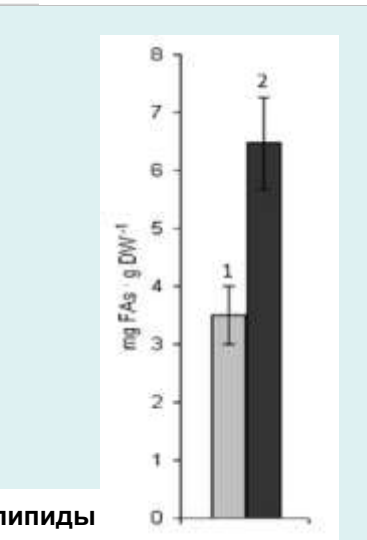
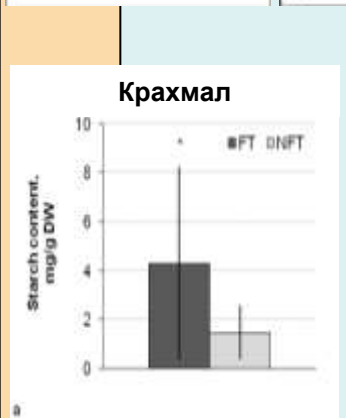
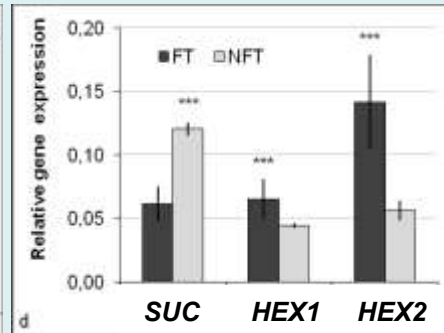
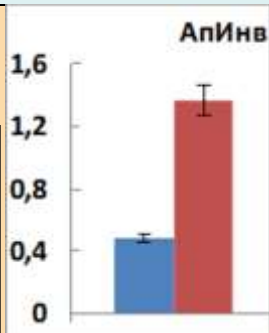
Чтобы пирофосфорилазы были эффективны в отношении синтеза УДФГ, ткани должны быть хорошо обеспечены Гл-1-Ф.

*Barratt, D.H.P., Derbyshire P., Findlay K., Pike M., Wellner N., Lunn J., Feil R., Simpson C., Maule A. J., Smith, A.M. Normal growth of Arabidopsis requires cytosolic invertase but not sucrose synthase. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. (2009) 106: 13124–13129*

Мутанты, у которых была подавлена активность сахарозосинтазы не отличались от нормы по синтезу крахмала, содержанию сахаров, липидов, целлюлозы и структуре клеточной стенки. В то же время мутанты с подавленной активностью инвертазы сильно отставали по скорости роста и имели другие аномальные характеристики. Сделан вывод, что инвертаза может обеспечивать количество УДФГ, необходимое для нормального роста и развития растения. Это свидетельствует о том, что гексозы, образующиеся в инвертазной реакции, превращаются в Гл-1-Ф, который взаимодействует с пирофосфорилазами клетки.







# Карельская береза (*Betula pendula* var. *carelica*)

Узорчатое дерево

Безузорчатая часть ствола  
узорчатого дерева

Безузорчатое дерево

Обычная береза повислая  
(*Betula pendula* var. *pendula*)



1



2

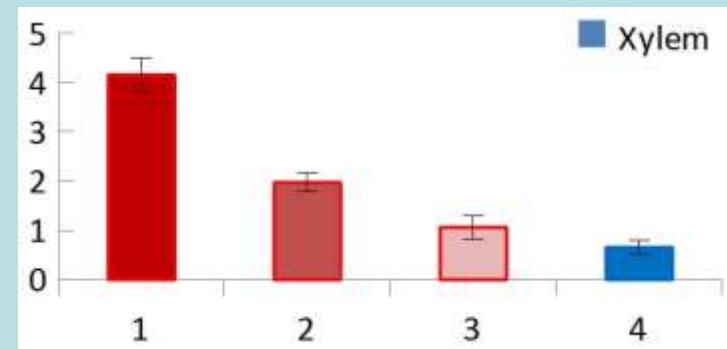
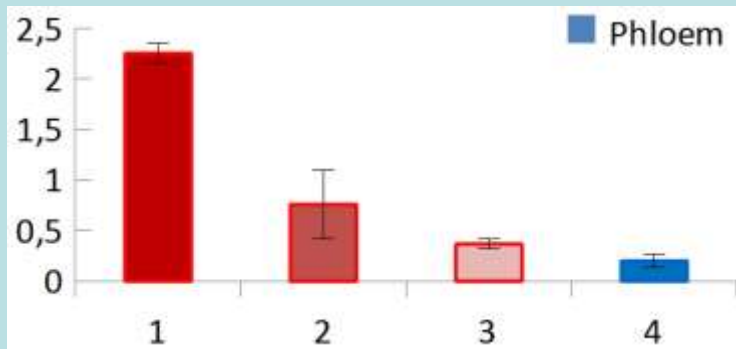


3



4

## Относительная экспрессия *UGT84B1*

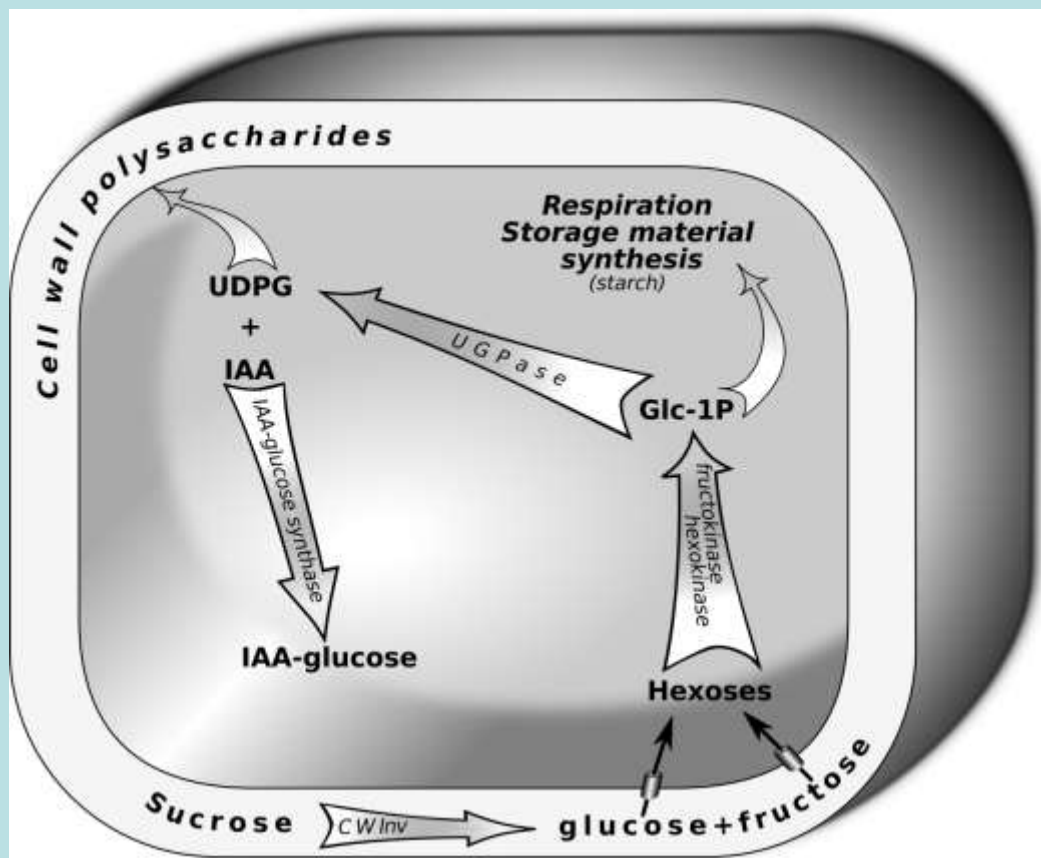


<https://doi.org/10.1007/s00344-019-09989-8>

## The Formation of Structural Abnormalities in Karelian Birch Wood is Associated with Auxin Inactivation and Disrupted Basipetal Auxin Transport

Ludmila L. Novitskaya<sup>1</sup> · Tatiana V. Tarelkina<sup>1</sup> · Natalia A. Galibina<sup>1</sup> · Yulia L. Moshchenskaya<sup>1</sup> · Nadezhda N. Nikolaeva<sup>1</sup> · Kseniya M. Nikerova<sup>1</sup> · Marina N. Podgornaya<sup>1</sup> · Irina N. Sofronova<sup>1</sup> · Ludmila I. Semenova<sup>1</sup>

### Синтез конъюгата ауксина ИУК-глюкоза при формировании структурных аномалий древесины карельской березы



019

var. *carelica* (Merckl.) Hämet-Ahti) is highly appraised for its ornamental value. However, the mechanism of wood figure formation is largely unclear; judging by available data, we are dealing here with a complex process. The aim of this study has been to reveal the correlations between wood figure formation and auxin metabolism. In figured wood plants had a much higher expression of the gene encoding for the enzyme IAA-glucosyltransferase. The data obtained suggest that auxin conjugation in figured wood may be associated with hexoses produced in the apoplast through sucrose transport. The activity of IAA-glucosyltransferase in figured Karelian birch trees is several times higher than in non-figured trees. We assume that a reduced number of vessels in figured wood may be associated with auxin inactivation and disrupted basipetal auxin transport. We regard, PIN3 may generate auxin fluxes with a complex configuration. PIN3 overexpression in trunk tissues of Karelian birch is associated with wood structure.

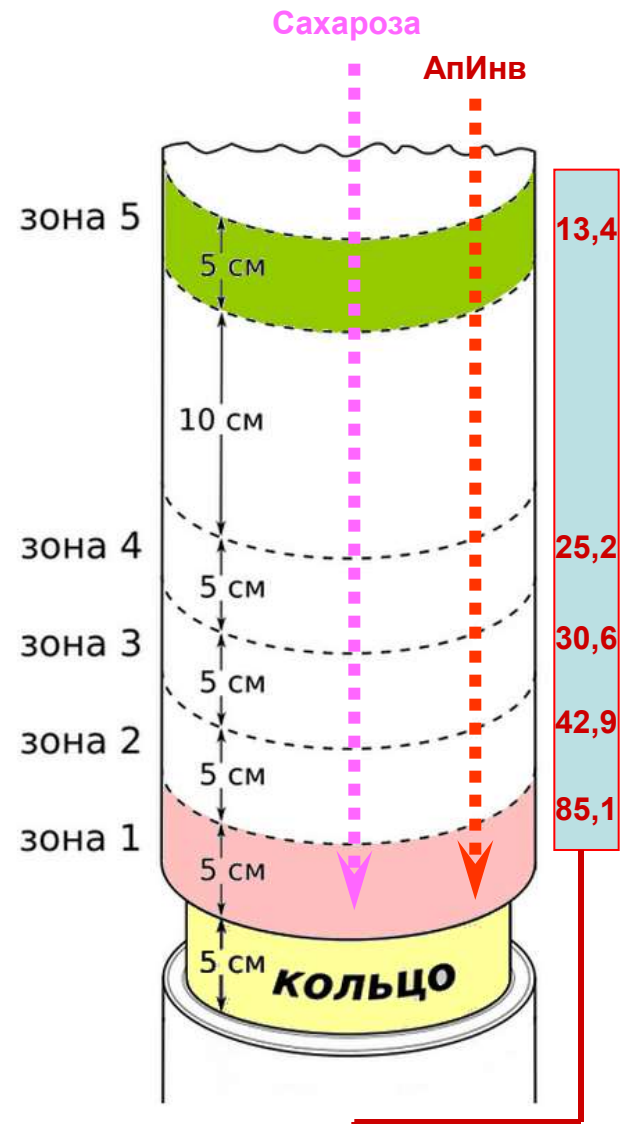
auxin inactivation · PIN proteins · Cell wall invertase

microstructure: pearly luster is due to the swirl of wood structural elements (Figs. 1–3), and figured pattern is generated by large inclusions of parenchyma cells (Lyubavskaya 2006; Novitskaya et al. 2016a, 2018). The more parenchyma inclusions there are, the richer is the figure (Novitskaya et al. 2016a).

Figured wood is a hereditary trait, but even with controlled pollination, part of the trees in the progeny would still have regular straight grain, the so-called non-figured Karelian birch trees. According to different estimates, their share in the progeny can be up to 60% (Yermakov 1986; Paganova 2004; Lyubavskaya 2006). Furthermore, the expression of wood figure may vary notably within the same trunk (Novitskaya et al. 2016b). High endogenous variability makes Karelian birch a unique object for the study of the mechanisms regulating wood formation.

# Эксперимент с кольцеванием ствола березы повислой (*Betula pendula* var. *pendula*)

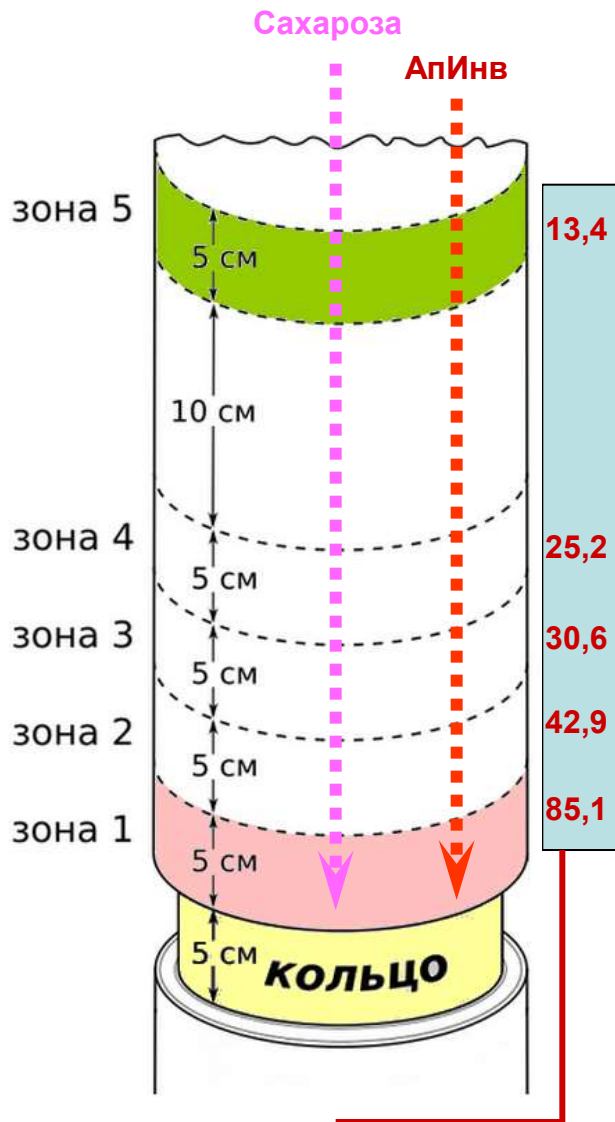
Зона 1



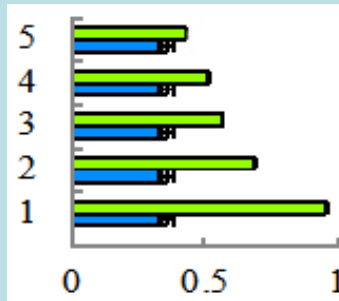
Зона 5



**Активность АпИнв** (мкмоль распавшейся сахарозы на г сырого веса)



**Активность АпИнв** (мкмоль  
распавшейся сахарозы на г сырого веса)

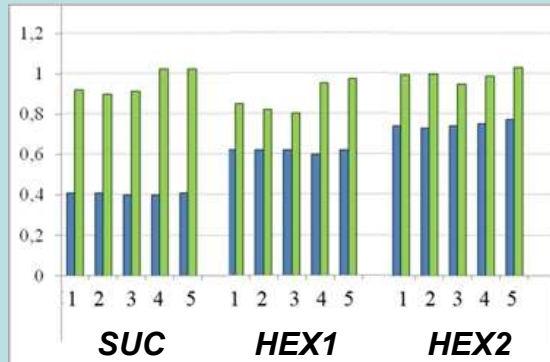


**CWIN**

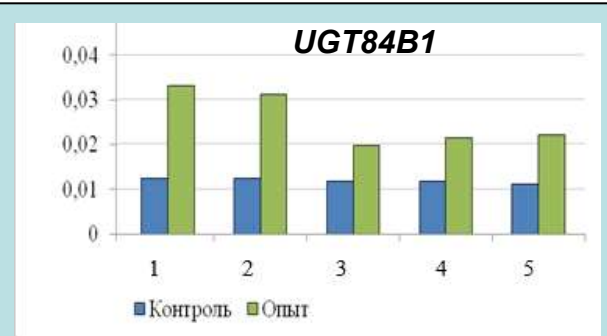
Относительная экспрессия гена, кодирующего АпИнв (CWIN), в эксперименте с кольцеванием ствола обычной березы повислой

Контроль

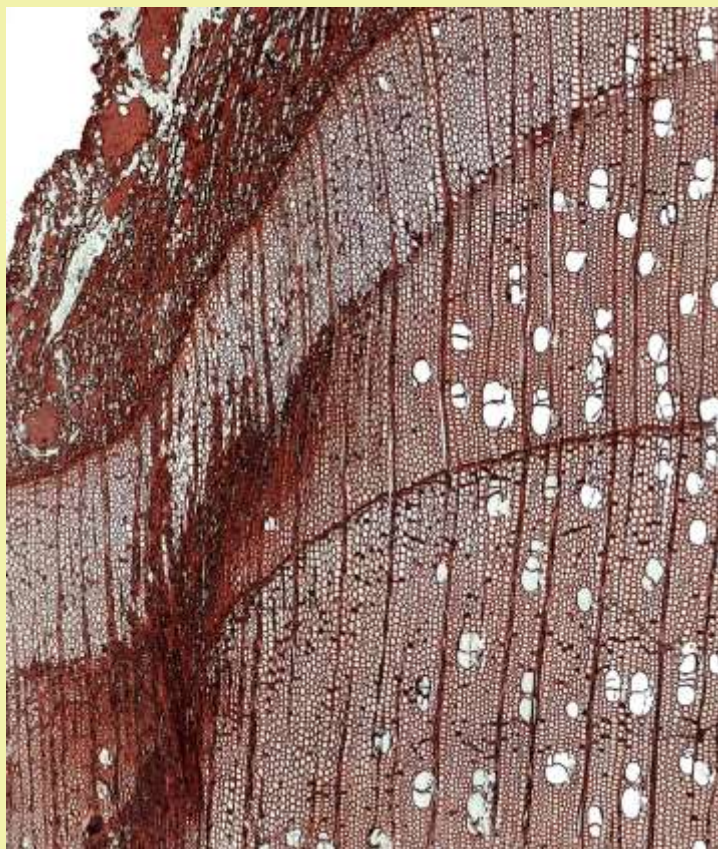
Опыт



**Рис. 18.** Относительная экспрессия генов, кодирующих белки-переносчики сахарозы (*Suc*) и гексоз (*Hex1*, *Hex2*) в эксперименте с кольцеванием ствола обычной березы повислой. 1-5 – зоны над кольцом.



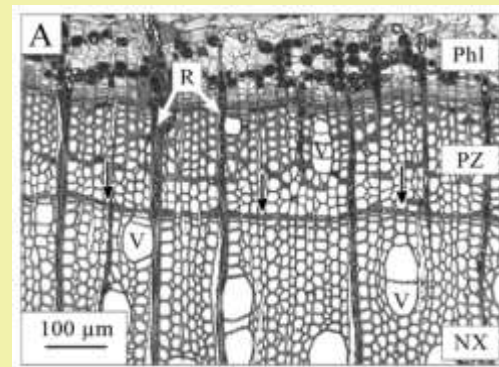
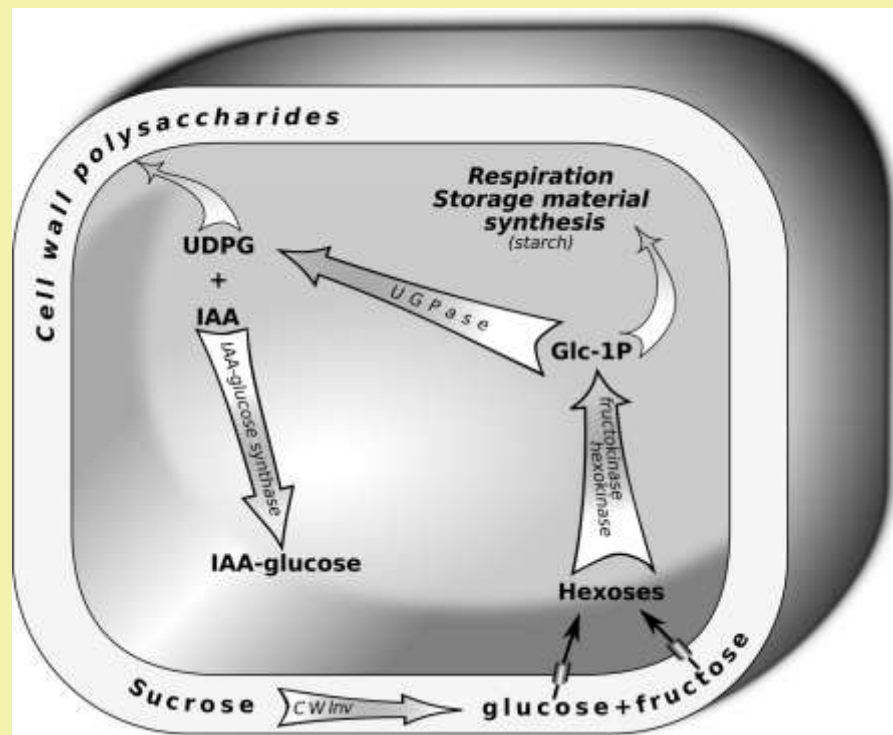
**Рис. 16.** Относительная экспрессия гена, кодирующего ИУК-глюкоза синтазу (ген-гомолог *UGT84B1*), в зоне дифференциации ксилемы в эксперименте с кольцеванием ствола обычной березы повислой. 1-5 – зоны над



Зоны формирования структурных аномалий  
ствола карельской березы



Зоны избыточного содержания  
сахарозы в экспериментах  
с кольцеванием ствола  
обычной березы повислой



Зоны избыточного содержания сахарозы  
в экспериментах с введением  
экзогенной сахарозы в ствол  
обычной березы повислой



**Спасибо за  
внимание!**