САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ С.М. КИРОВА

Лесопромышленный форум, 2026

Переработка древесины березы для получения раствора ксилозы

Бахтиярова Анна Валерьевна

Старший преподаватель кафедры технологии химической переработки биомассы дерева

Рынок и ресурсы:

- Доля берёзы в лесосырьевой базе СЗФО выросла до 40,6% – это недоиспользованный ресурс
- Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 требует глубокой переработки
- Ежегодно в мире — более 5000 патентов и статей по гидролизу пентозансодержащего сырья
- Ксилоза и ксилит — импортозависимые продукты для фармы, пищепрома, косметики



СПбГЛТУ

Целевые продукты

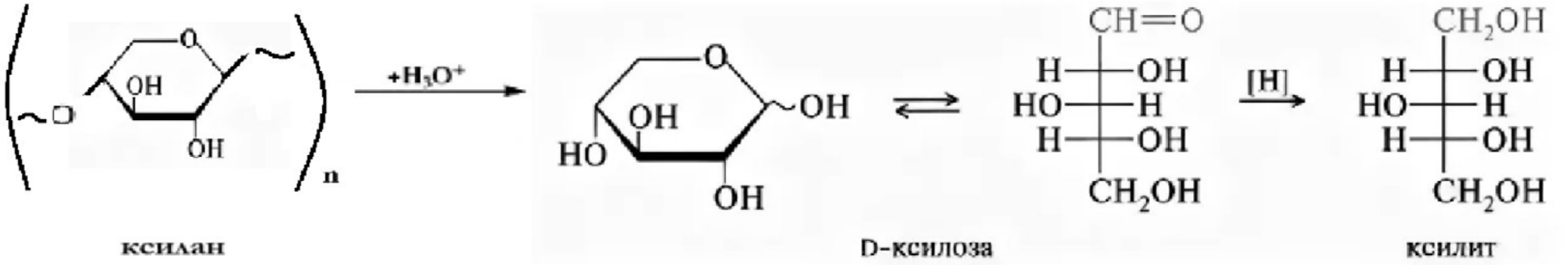
Гемицеллюлозы берёзы богаты пентозанами, при гидролизе которых образуется ксилоза — сырьё для получения ксилита.

Мировой рынок, 2025 г.: оценки аналитиков – от 1,0 до 2,0 млрд долл. США (IMARC: 1,06 млрд; Straits Research: 1,21 млрд; Global Market Insights: 2,02 млрд).

Российский рынок ксилита — это рынок перепродажи, а не производства. Собственное производство отсутствует, что создаёт нишу для организации полного цикла — от переработки берёзы до выпуска готового ксилита.

Применение:

- фармацевтика;
- косметика;
- пищевая промышленность;
- кормовые и химические продукты



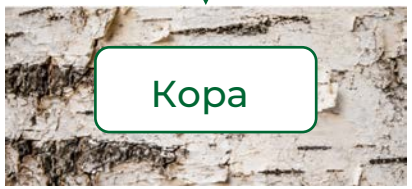
ксилан — D-ксилоза — ксилит

СПбГЛТУ

Принципиальная схема получения раствора ксилозы



Окорка, рубка, измельчение

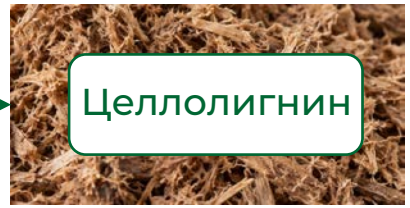


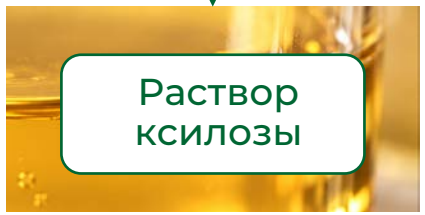
Фракционирование стружки

Гидролиз гемицеллюлоз



Экстракция





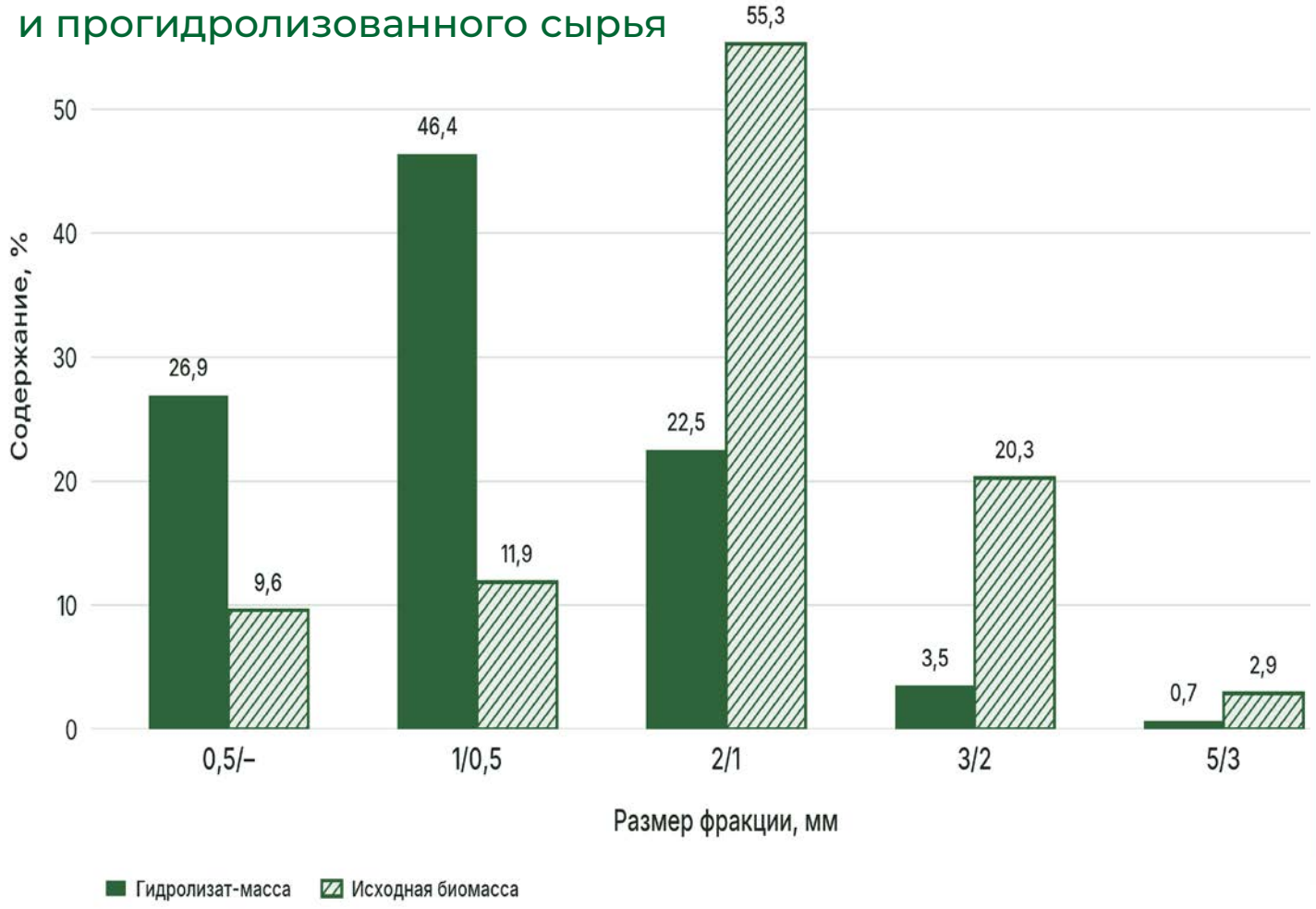
Технологический режим гидролиза

Продолжительность, мин	20…100
Концентрация H_2SO_4, %	0.1…0.5
Температура,°C	160…180
Гидромодуль	1…5

СПбГЛТУ

Химический и фракционный состав сырья – березовой стружки

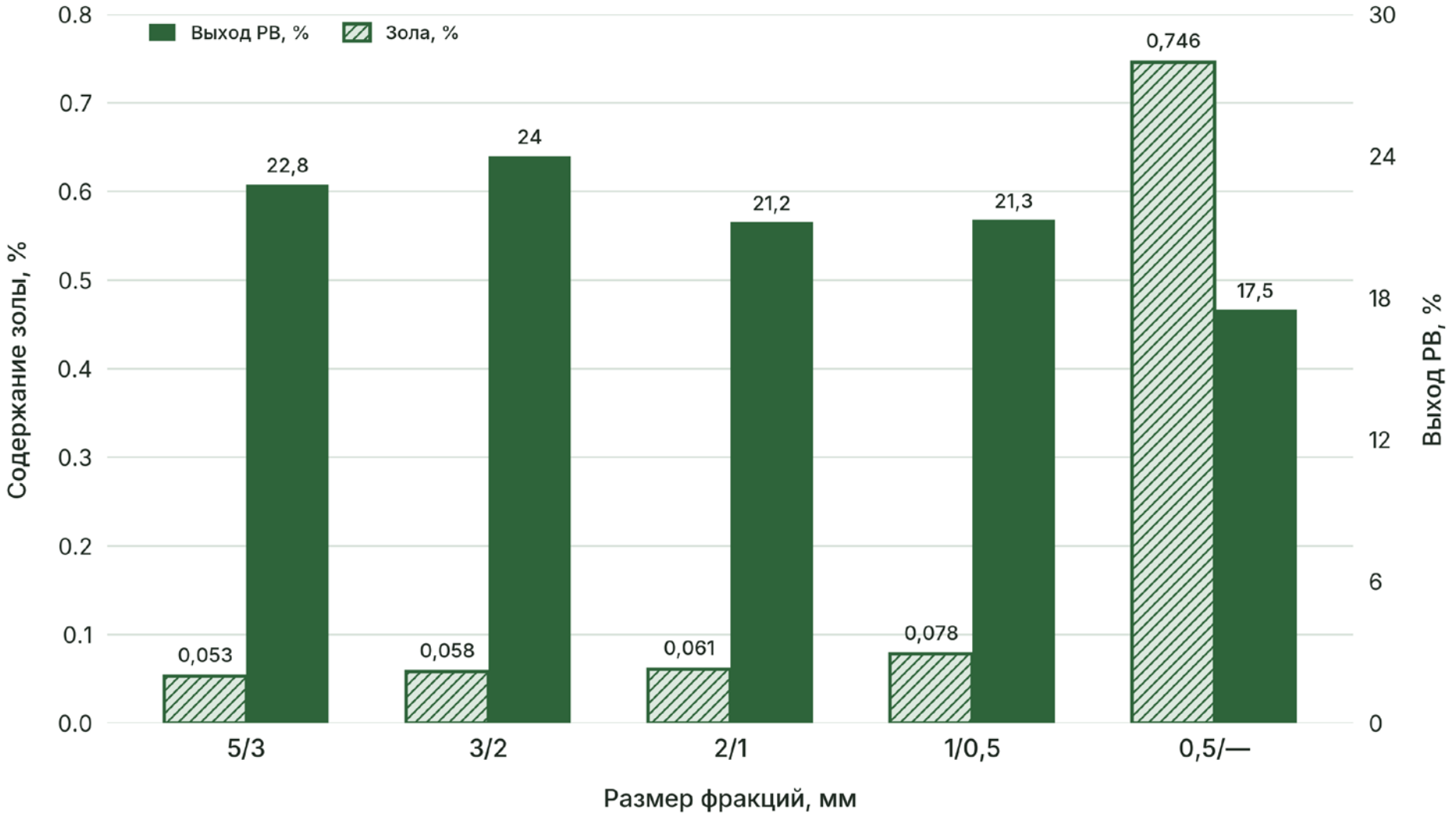
Фракционный состав исходного и прогидролизованного сырья



Компонент	Выход, %
Вещества, экстрагируемые диэтиловым эфиром	0.8±0.1
Лигнин	20.0±0.2
Целлюлоза	42.7±0.3
Пентозаны	21.0±0.2
Зола	0.19±0.01
Легкогидролизуемые полисахариды	25.2±0.2
Трудногидролизуемые полисахариды	41.9±0.3

СПбГЛТУ

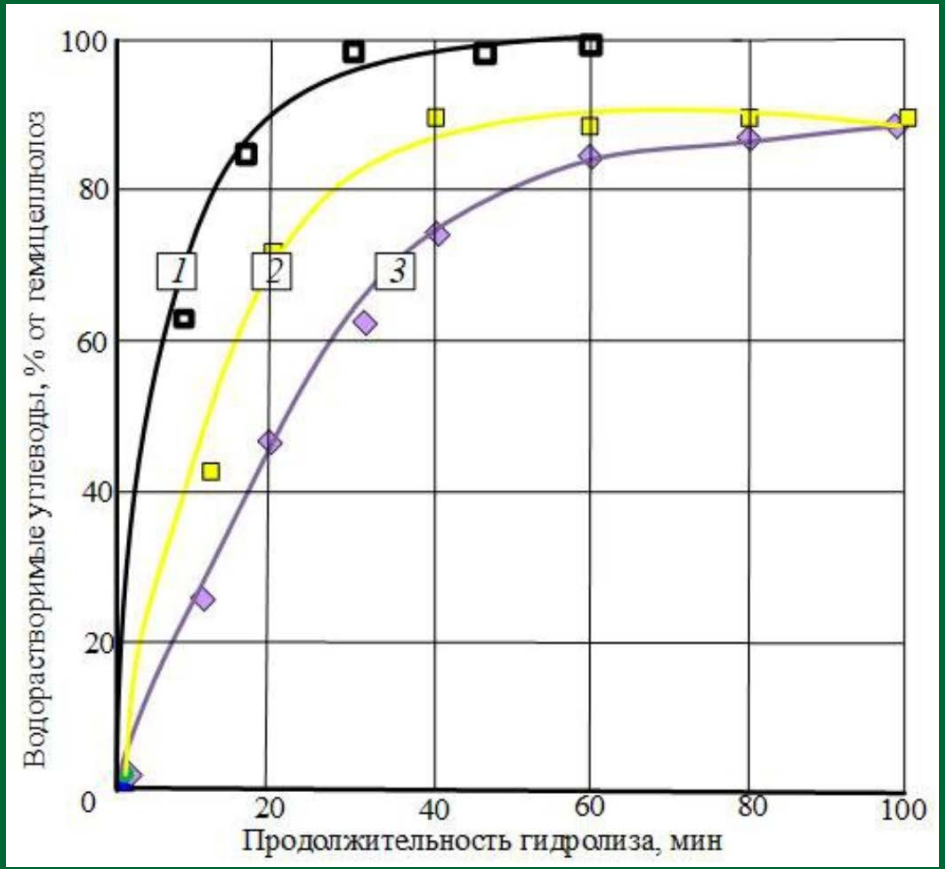
Содержание золы и выход редуцирующих веществ по размерам частиц



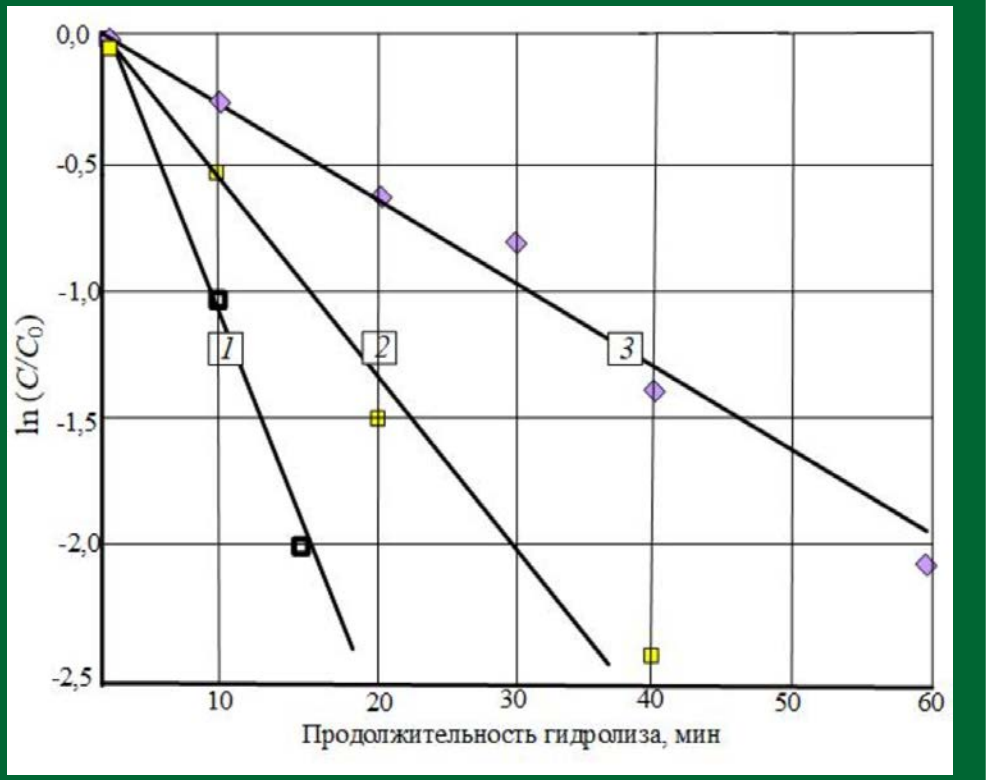
СПбГЛТУ

Динамика изменения выхода редуцирующих веществ

температура 170°С, ГМ 5, концентрация кислоты: 1– 0.25%, 2 – 0.15%, 3 – 0.10%

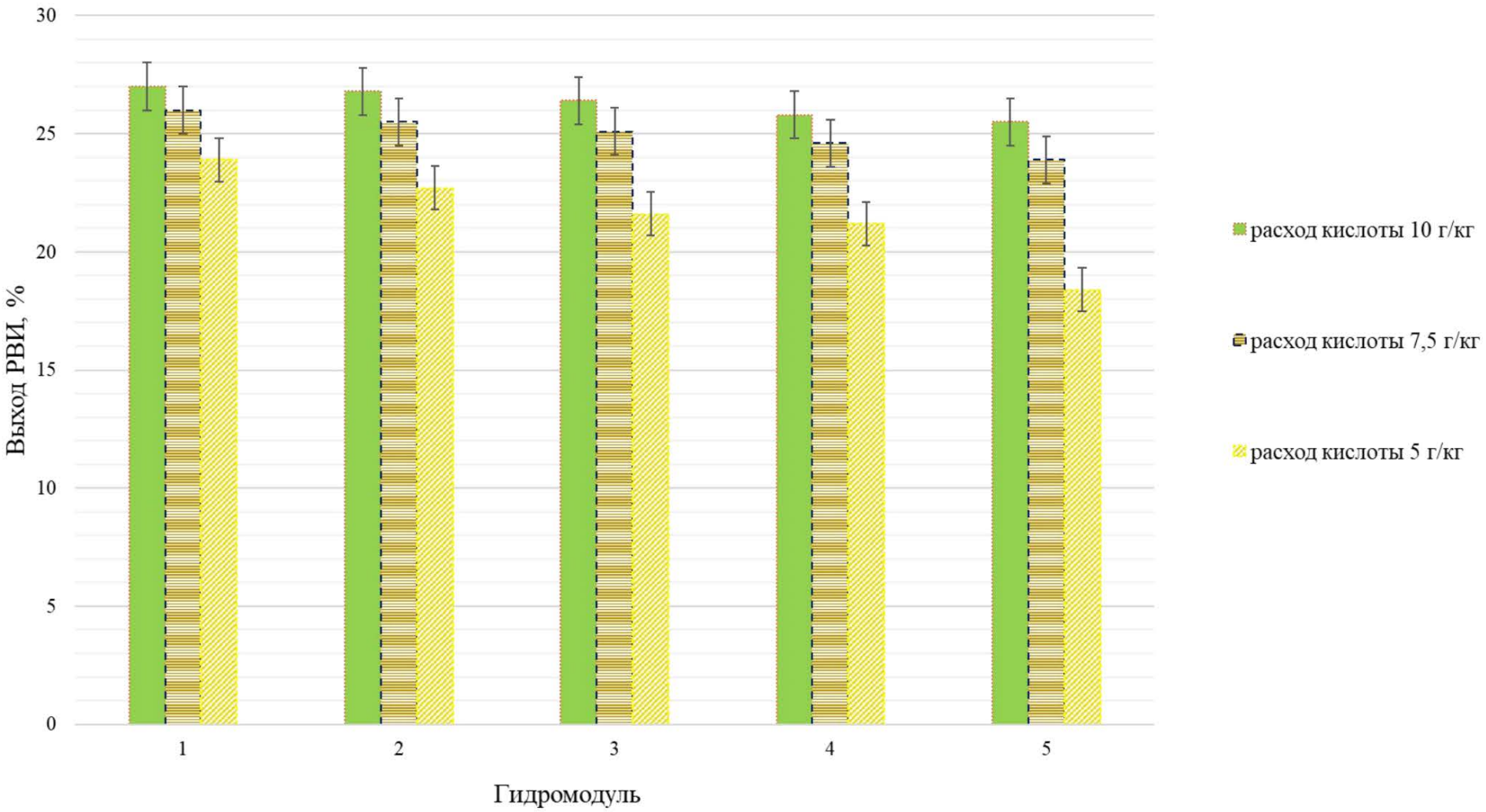


ln (C/C0) – степень конверсии легкогидролизуемых полисахаридов



СПбГЛТУ

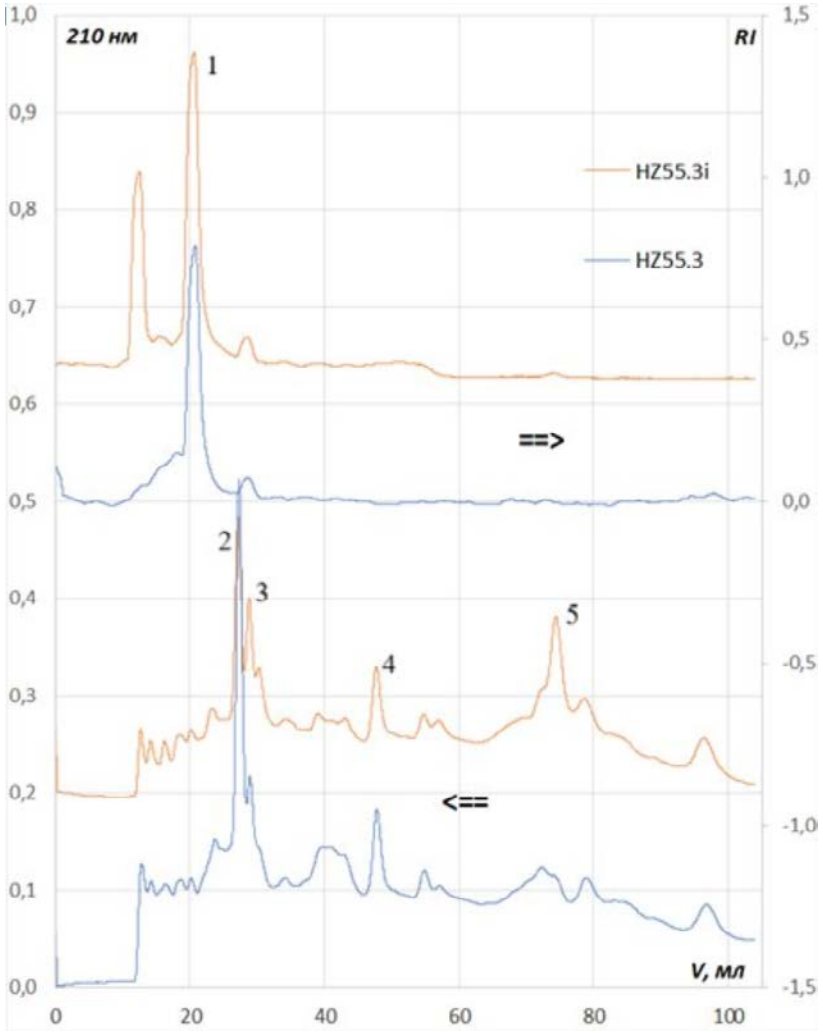
Влияние гидромодуля на выход редуцирующих веществ



СПбГЛТУ

Характеристика гидролизат-массы и экстракта

(ГМ=1, Т=170 °С, расход кислоты 5 г/кг абс.сух.сурья)



ВЭЖХ экстракта

Показатель	Значение
Влажность, %	64.2±0.1
Водорастворимые вещества, %	24.9±0.4
Концентрация РВ, %	0.75±0.1
Выход РВ от а.с.д., %	23.8±0.2
Концентрация РВИ, %	0.80±0.1
Выход РВИ от а.с.д., %	24.1±0.2

Содержание органических соединений в экстракте, г/л

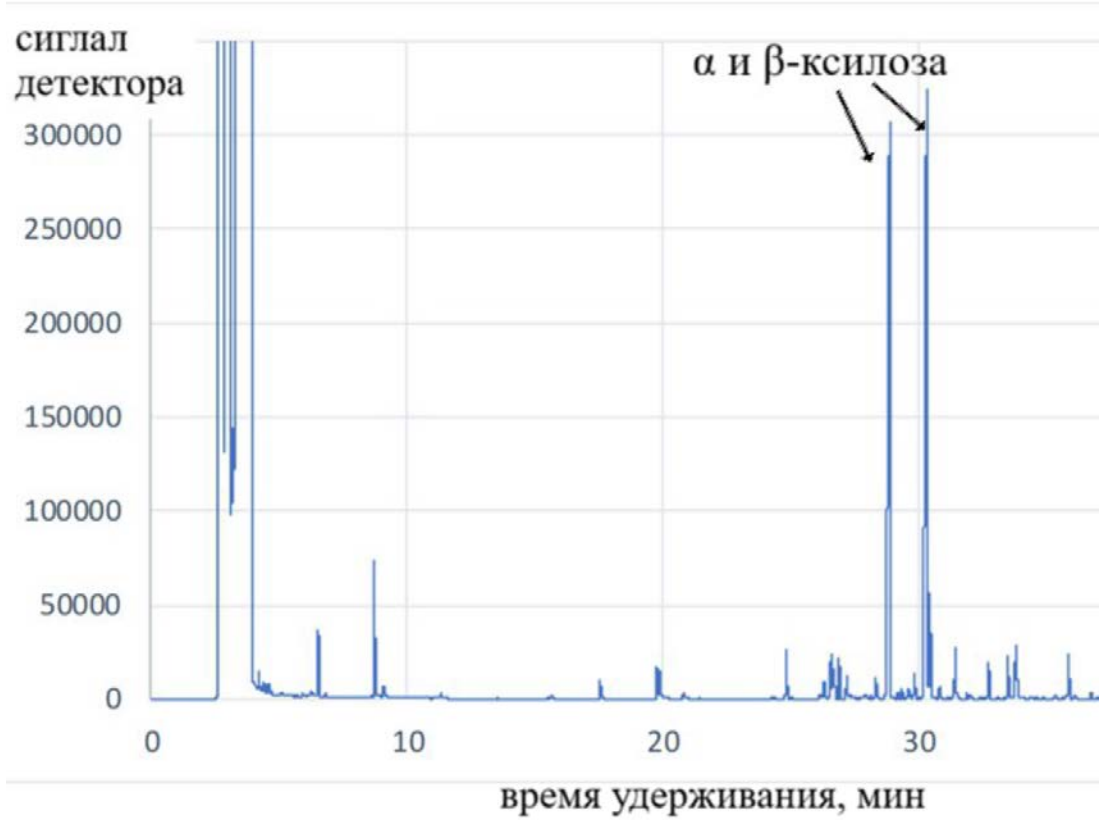
Органические соединения	V, мл*	До инверсии	После инверсии
Ксилоза** (1)	20.70	36.8	46.1
Глюкуроновая кислота	18.63	0.653	0.941
Муравьиная кислота (2)	27.22	32.0	14.3
Уксусная кислота (3)	28.86	5.69	5.15
Левулиновая кислота	34.16	0.075	0.090
Галловая кислота	47.75	0.039	0.033
5-Оксиметилфурфурол (4)	54.81	0.240	0.225
Резорцин	57.00	0.031	0.038
Фурфурол (5)	73.96	0.003	0.653
Фенол	82.96	0.009	0.001
m-Оксибензойная кислота	88.24	0.0005	0.0003

* — Объем удерживания, мл. Соответствует максимуму пика на хроматограмме: для ксилозы по сигналу детектора-рефрактометра, для остальных компонентов — по сигналу УФ-детектора.

** — Как сумма моносахаридов, т.к. основной пик ксилозы маскирует пики других углеводов.

СПбГЛТУ

Углеводный состав экстракта



Газовая хроматограмма продуктов гидролиза

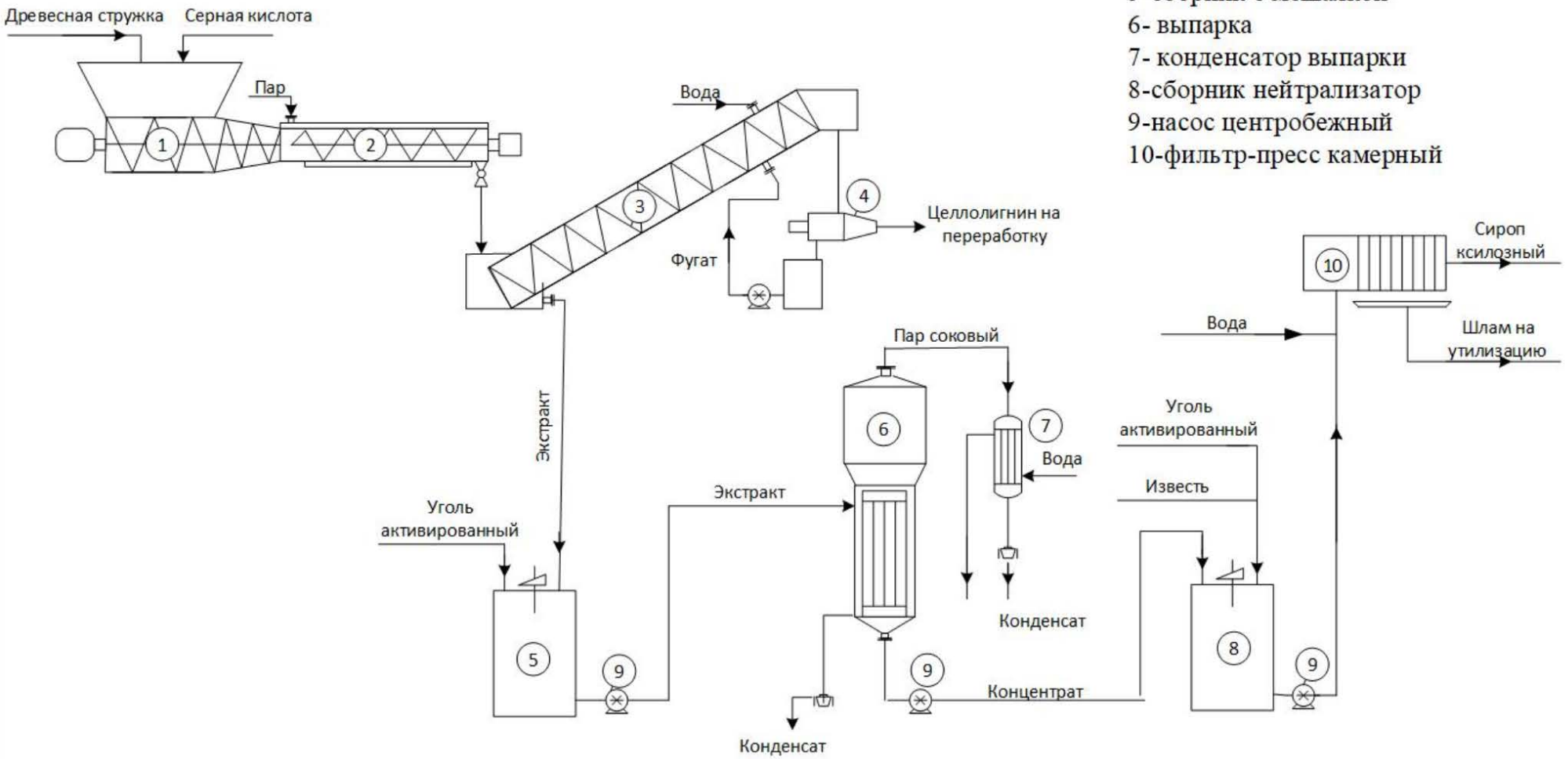
Содержание углеводов, г/дм^3

Углеводы	t, min	До инверсии	%	После инверсии	%
Арабиноза	26.3/27.2	0.420	1.9	0.49	2.0
Целлобиоза	51.6/52.1	0.094	0.4	—	
Галактоза	32.8/34.1	0.358	1.6	0.42	1.7
Глюкоза	33.5/35.9	0.912	4.1	1.45	5.8
Манноза	31.4/33.8	1.44	6.5	2.01	8.0
Рамноза	26.89	0.456	2.1	0.68	2.7
Ксилоза*	28.8/30.3	17.97	81.7	19.84	79.4
Галактуроновая кислота	35.4/36.8	0.254	1.2	0.06	0.2
Глюконовая кислота	36.25	0.033	0.2	—	
Глюкуроновая кислота	37.01	0.017	0.1	—	
ВСЕГО		22.01		24.98	

СПбГЛТУ

Аппаратурная схема получения раствора ксилозы

1-шнек пресс
2- гидролизер шнековый
3-экстрактор шнековый
4- центрифуга осадительная
5-сборник с мешалкой
6- выпарка
7- конденсатор выпарки
8-сборник нейтрализатор
9-насос центробежный
10-фильтр-пресс камерный



СПбГЛТУ

Ценообразование ксилита

Импортная закупка: ~1,6 долл./кг (из расчёта партии 20 т за 32 782 долл.).
Оптовые поставщики: 357–420 руб./кг.
Розница (аптеки): 285–323 руб. за 200–250 г, то есть 1 140–1 600 руб./кг

Удельные затраты на 1 т ксилозы

№	Условия гидролиза	Расход сырья, т	Расход кислоты, кг	Расход воды, т	Всего материальные затраты, руб	Расход пара, ГДж	Всего затрат, руб.
1	ГМ=1, Т=160 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.5%	5.21	26.04	16.64	28836	5.06	31873
2	ГМ=1, Т=170 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.5%	5.00	25.00	15.98	27683	5.33	30879
3	ГМ=1, Т=180 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.5%	4.98	24.88	15.90	27545	5.79	31018
4	ГМ=5, Т=160 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.5%	5.13	128.21	25.64	30818	22.34	44222
5	ГМ=5, Т=180 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.5%	4.88	121.95	24.39	29315	25.47	44594
6	ГМ=4, Т=130 °С, $C_{H_2SO_4}$=0.75%	5.43	108.70	21.74	32057	14.66	40850

СПбГЛТУ

Выводы

- Берёза является стратегическим ресурсом для глубокой переработки в СЗФО. Показано, что для эффективного гидролиза березовую стружку необходимо фракционировать и использовать фракции 5...0.5 мм, так как фракция менее 0.5 мм дает большее количество золы, что негативно сказывается на выходе сахаров.
- Установлено, что в исследованном интервале концентраций серной кислоты (0.10...0.5 %) процесс гидролиза гемицеллюлоз древесины березы подчиняется формально-кинетическому закону первого порядка. Гидролизаты, полученные при таких условиях, не уступают по качеству традиционным и пригодны для дальнейшей переработки.
- Производство ксилозы из берёзы экономически целесообразно. Более того, оно позволяет не просто заместить импорт, но и создать полноценную цепочку с высокой добавленной стоимостью внутри страны.

СПбГЛТУ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ С.М. КИРОВА

Спасибо за внимание!

Бахтиярова Анна Валерьевна

старший преподаватель кафедры технологии
химической переработки биомассы дерева СПбГЛТУ

+7(904) 607-87-22

Nyroc@rambler.ru