



ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА
им. Г.К. БОРЕСКОВА



Водород как основа
низкоуглеродной экономики



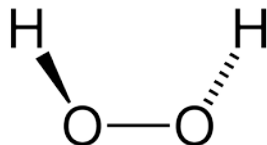
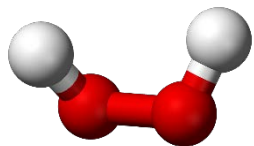
Пероксид водорода: перспективные методы получения и применения в технологиях защиты окружающей среды и в энергетике

Лебедева М.В., Мальцева Н.В., Селищев Д.С., Смирнова Н.В., Першин А.А., Козлов Денис Владимирович



Шерегеш, 2023

Пероксид водорода H₂O₂



Свойства водных растворов

Массовая концентрация, вес.%	Плотность, г/см ³	Концентрация, М
3%, медицинская	1,007	0,9
37%, пергидроль	1,14	12,4

- Оптовая стоимость 37% H₂O₂ – 100 р/литр или 237 р/кг(H₂O₂)
- Россия – 1/3 или 87 тыс. тонн H₂O₂ импортируется на сумму ~ 20,1 млрд. руб.

Области использования H₂O₂

Целлюлозно-бумажная промышленность



Сельское хозяйство

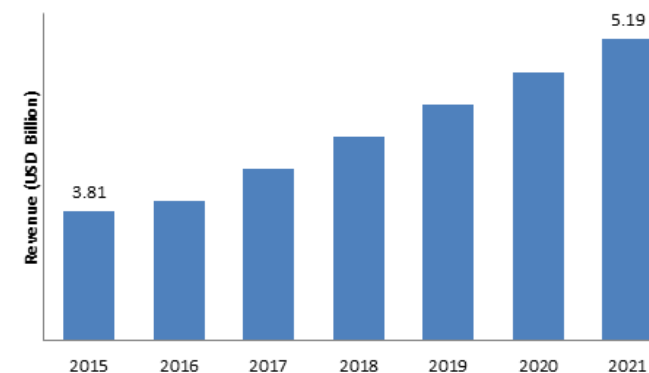


Медицинские учреждения



Рынок H₂O₂ (\$ млрд./год)

Global Hydrogen Peroxide Market Revenue, 2015 – 2021(USD Billion)



Source: Zion Research Analysis 2016

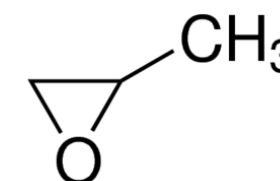
Очистка воды



Текстильная промышленность

HPPO

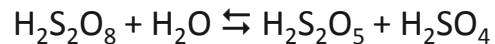
(Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide)



Металлургия, электроника и др.

Технологии синтеза перекиси водорода

Электролиз серной кислоты

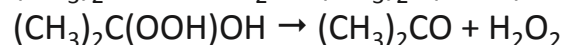


I поколение

3% производства H_2O_2 в РФ

- Использование Pt анодов, который быстро деградируют;
- Высокая концентрация H_2SO_4 (~50%) во время дистилляции

Окисление изопропилового спирта



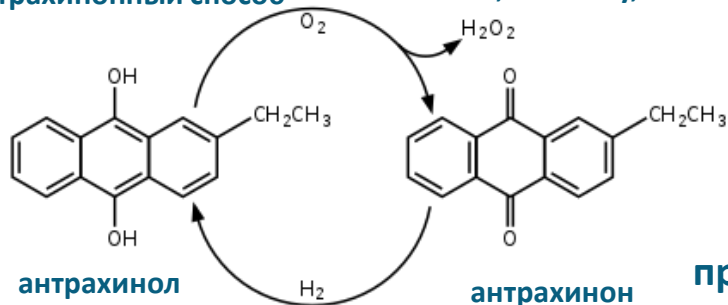
II поколение

94% производства H_2O_2 в РФ

- Высокие давление (1.1 МПа) и температура (105-150 °С)
- Низкая энергоэффективность

Антрахиноновый способ

BASF, Germany, 1939



III поколение
95% мирового
производства H_2O_2

- Низкая экологичность процесса (регенерация гидрогенизированного антрахинона и очистка H_2O_2 от органики)
- Высокая энергоемкость (16×10^6 Дж/кг)

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Современное производство H_2O_2 – крупнотоннажные производства на стационарных заводских площадях (условие экономической выгоды)



Необходимость доставки до места использования!



Добавление стабилизаторов и очистка от них

потребитель

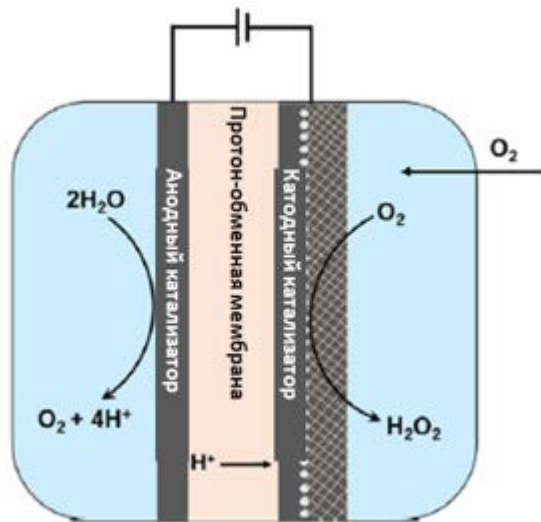
Локальное распределенное малотоннажное производство H_2O_2

фотокаталитический и электрохимический способы

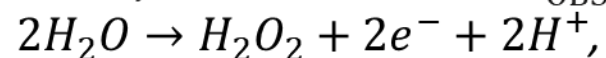
<http://catalysis.ru>

I. Электрохимическое получение пероксида водорода

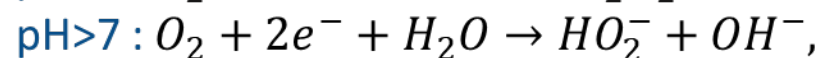
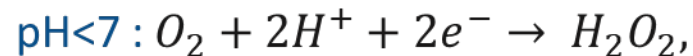
Топливный элемент с
протонообменной мембраной



Анодное получение: $E^0 = 1,77 \text{ В}_{\text{ОВЭ}'}$

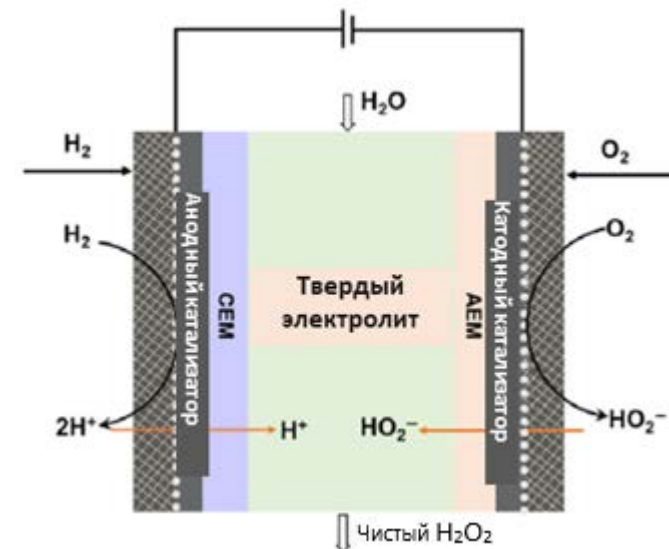


Катодное получение: $E^0 = 0,69 \text{ В}_{\text{ОВЭ}'}$



ОВЭ – обратимый водородный электрод

Твердотельный топливный
элемент



Недостатки

Chuan Xia et al., Science, 2019

- ✓ Отсутствие технологии приготовления селективного и дешёвого катализатора
- ✓ Низкая стабильность углеродных/композитных электродов
- ✓ Дегградация полимерных мембран при получении концентрированных растворов H_2O_2 .

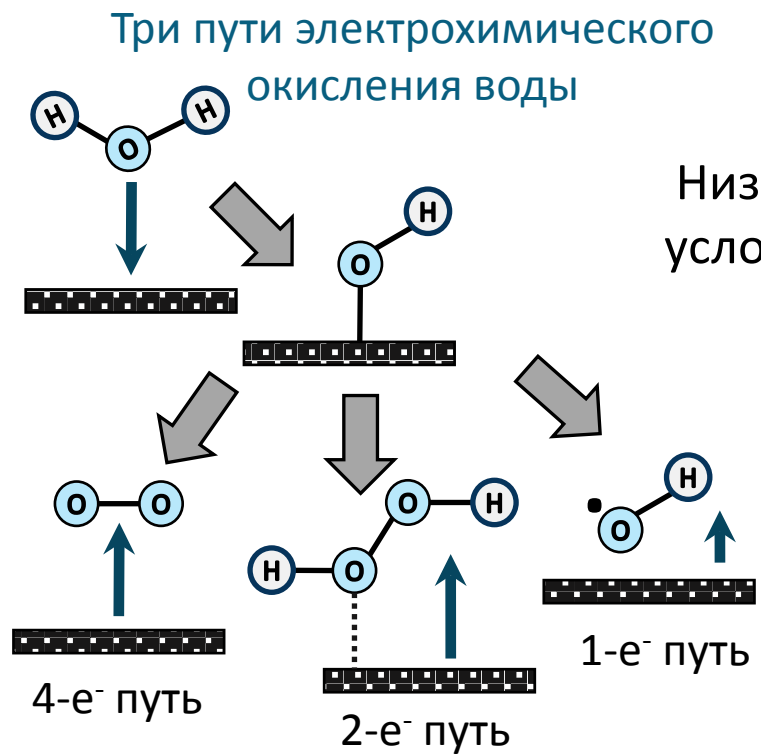
Достоинства

- ✓ Получение H_2O_2 в одну стадию – один реактор;
- ✓ Отсутствие органических реагентов и растворителей;
- ✓ Использование углеродных материалов в качестве электродов, либо композитных материалов с низким содержанием металлов;
- ✓ Экономически выгоднее (**в настоящее время**) при получении разбавленных растворов (3-9 %) в умеренных количествах $< 10 \text{ тонн}_{\text{H}_2\text{O}_2}/\text{год}^*$;
- ✓ Возможность контролирования концентрации получаемого раствора H_2O_2 путем изменения скорости потока электролита и напряжения ячейки

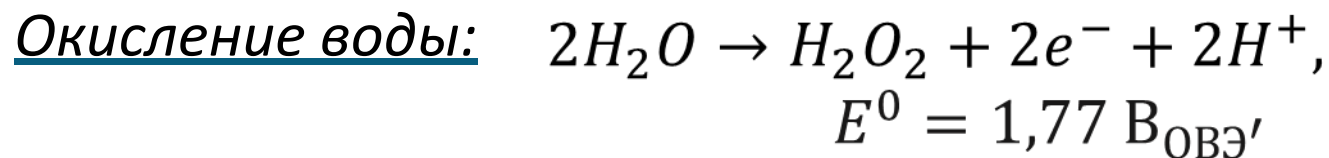
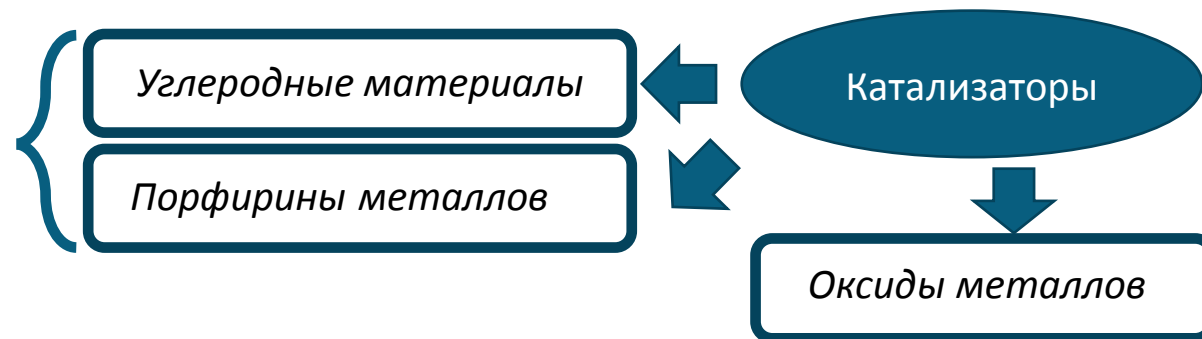
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

<http://catalysis.ru>

Анодное получение H_2O_2 (WOR – water oxidation reaction)



Низкая стабильность в условиях эксперимента



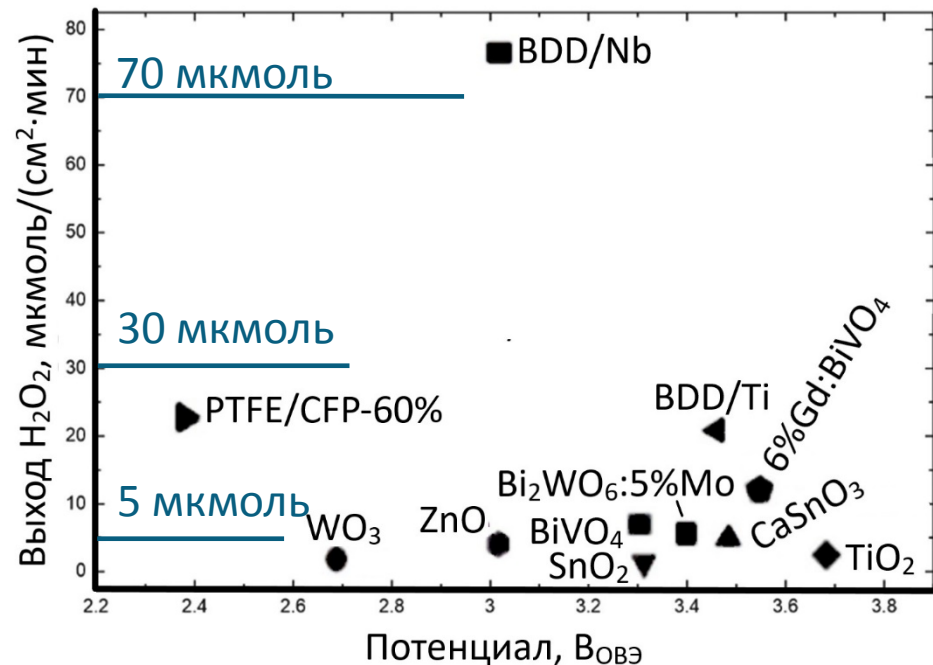
ОВЭ – обратимый водородный электрод

Проблемы:

- ✓ Высокий анодный потенциал ($>2 \text{ В}$), что вызывает окисление большинства материалов;
- ✓ Низкая активность и селективность катализаторов

Perry S. C. et al. Future perspectives for the advancement of electrochemical hydrogen peroxide production //Current Opinion in Electrochemistry. – 2021. – Т. 30. – С. 100792.

Анодное получение H_2O_2 (WOR – water oxidation reaction)



BDD/Nd - бором допированный алмаз на Nb подложке

BDD/Ti - бором допированный алмаз на Ti подложке

6%Gd:BiVO₄ – Ванадат висмута модифицированный Gd

CaSnO₃ – смешанный оксид Ca и Sn

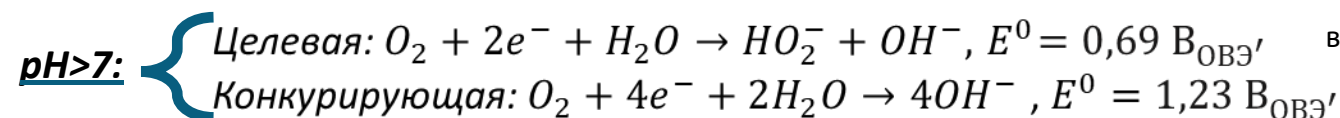
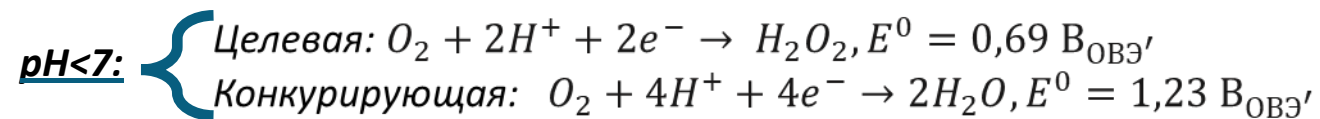
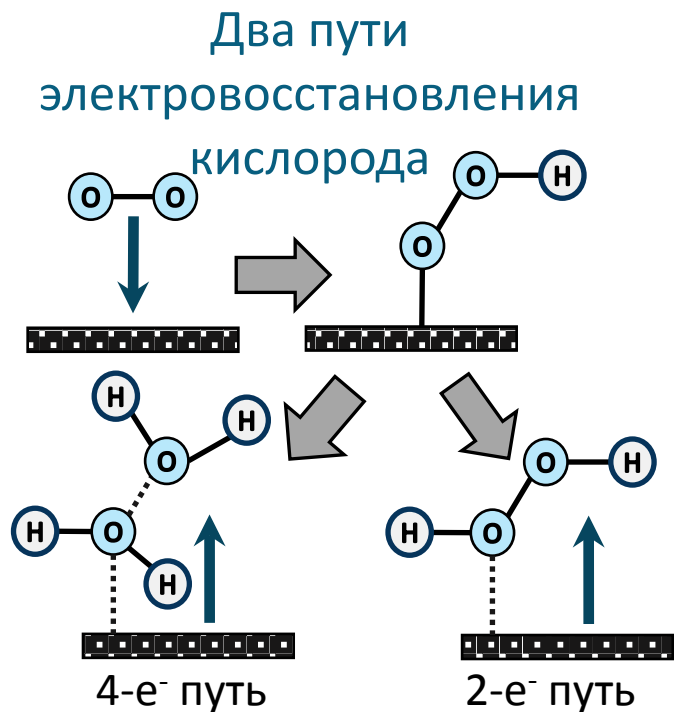
Bi₂WO₆:5%Mo - Ванадат висмута модифицированный Mo

PTFE/CFP-60% - политетрофтор этилен нанесенный на бумагу из углеродного волокна

Пути дальнейших исследований:

- ✓ Увеличение стабильности и селективности катализаторов;
- ✓ Разработка более детальных моделей, включающих влияние электролита для поиска эффективных катализаторов

Катодное получение H_2O_2 (ORR – oxygen reduction reaction)



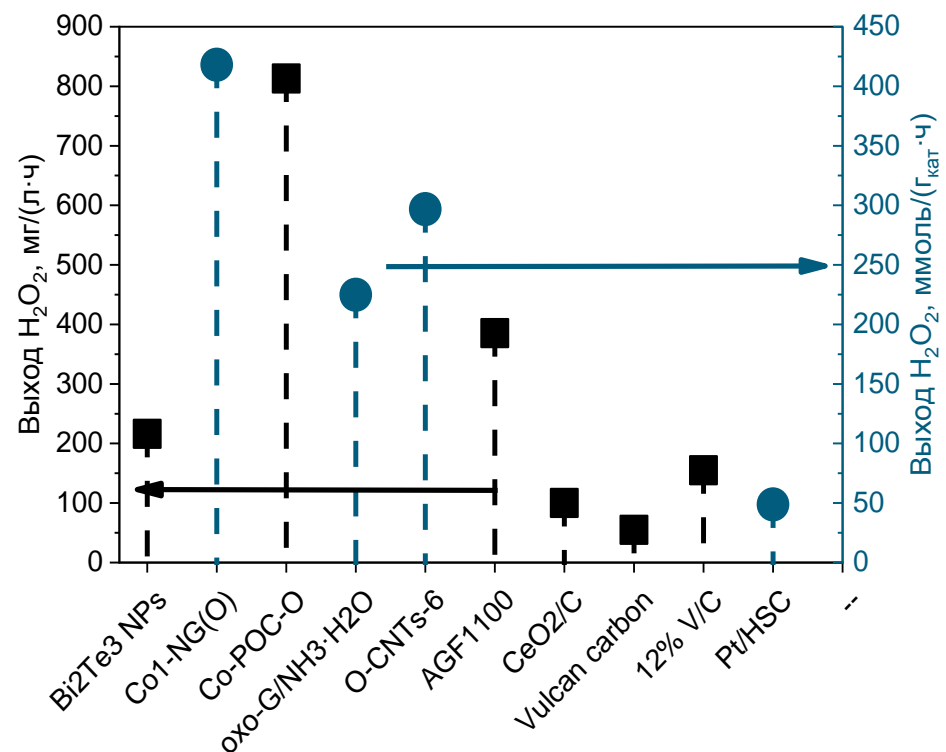
ОВЭ – обратимый водородный электрод

Проблемы:

- ✓ Низкая каталитическая активность и стабильность при получении H_2O_2 ;
- ✓ Не в полной мере изучен каталитический механизм реакции восстановления кислорода до H_2O_2 ;



Катодное получение H_2O_2 (ORR – oxygen reduction reaction)



Bi₂Te₃NPs – нанопластины Bi₂Te₃

Co₁-NG(O) – single-atom катализатор на азотсодержащем графене

Co-POC-O – пиролизированный порфирин кобальта.

Оxo-G/NH₃·H₂O – кислородсодержащий графен, модифицированный азотом.

O-CNTs-6 – окисленные углеродные нанотрубки.

AGF1100 – активированный графитовый войлок.

CeO₂/C – оксид церия нанесённый на вулкан.

12% V/C – оксид ванадия нанесённый на вулкан

Pt/HSC – наночастицы платины нанесённые на углерод с высоким содержанием серы.

Пути дальнейших исследований:

- ✓ Разработка активных и стабильных катализаторов;
- ✓ Улучшение методов математического моделирования и анализа для определения взаимосвязи между структурой и составом катализатора и его активностью и селективностью;

Что сделано нами

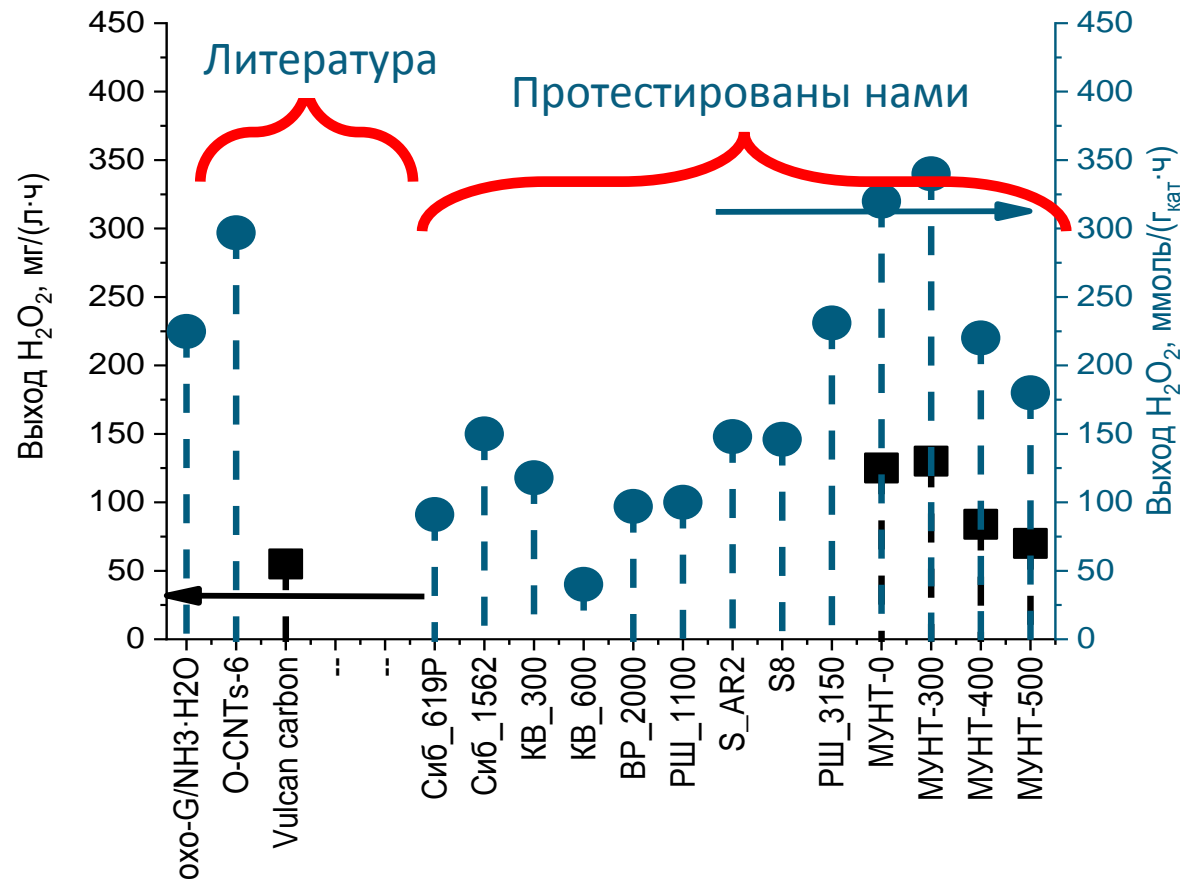
Протестированы материалы с различным текстурными характеристиками:

- Мезопористые (Сибунит 619P (1562), KetjenBlack 300J (600 DJ), Black Pearls 2000)
- Микро-мезопористые (Sutcliffe AR-2, S-8, АУМ из риси шелухи)
- Наноструктурированные (окисленные МУНТ*)

Разработка проточных ячеек различного типа:



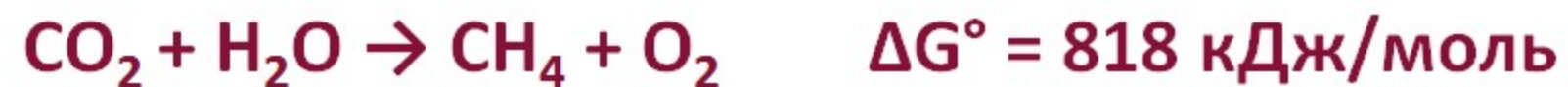
Наибольшие выходы наблюдаются для окисленных МУНТ
Найдена зависимость от функционализации поверхности кислородными группами



*МУНТ – Многостенные углеродные нанотрубки

II. Фотокаталитическое получение пероксида водорода

Важные реакции, которые могут быть реализованы с использованием энергии света:



энергия

$\Delta G^\circ > 0$



Фотосинтез!

1 Солнце = 100 мВт/см² = 1 кВт/м² = 1 кДж/с·м²

за световой день (10 часов) = 36000 кДж/м²

при STP = 10% → 30 моль H₂O₂ с 1 м²

(3 л 37 масс. % пергидроля с 1 м²)


Текущий уровень: 10÷10³ мкмоль H₂O₂

II. Фотокаталитическое получение пероксида водорода

Важные реакции, которые могут быть реализованы с использованием энергии света:



энергия

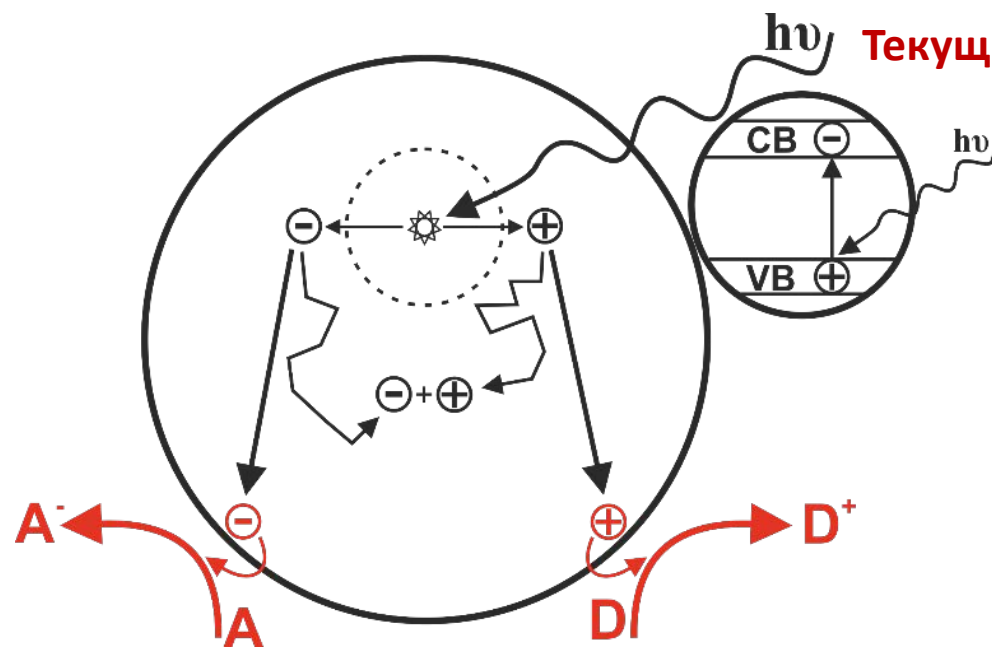
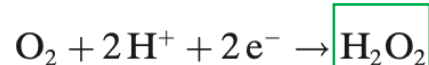
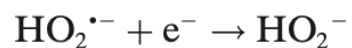
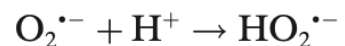
$\Delta G^\circ > 0$  **Фотосинтез!**

1 Солнце = 100 мВт/см² = 1 кВт/м² = 1 кДж/с·м²

за световой день (10 часов) = 36000 кДж/м²

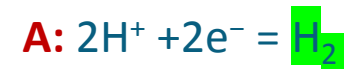
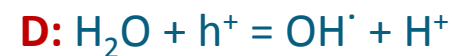
при STP = 10% → 30 моль H₂O₂ с 1 м²
(3 л 37 масс. % пергидроля с 1 м²)

Электронный маршрут



Текущий уровень: $10 \div 10^3$ мкмоль H₂O₂

Дырочный маршрут

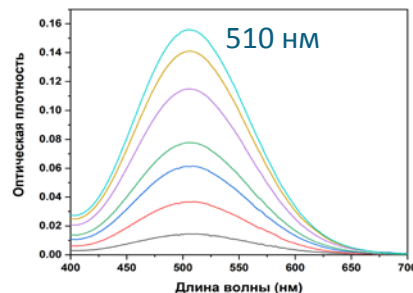
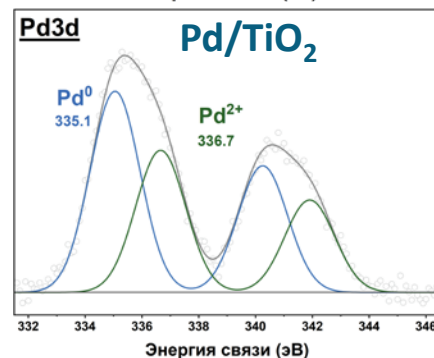
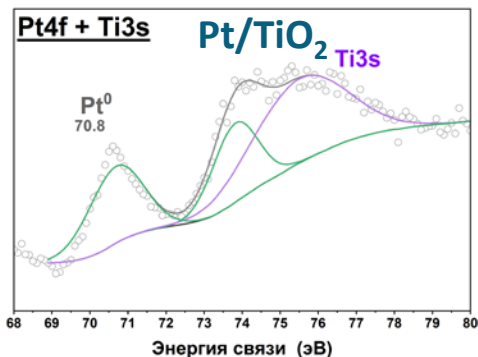
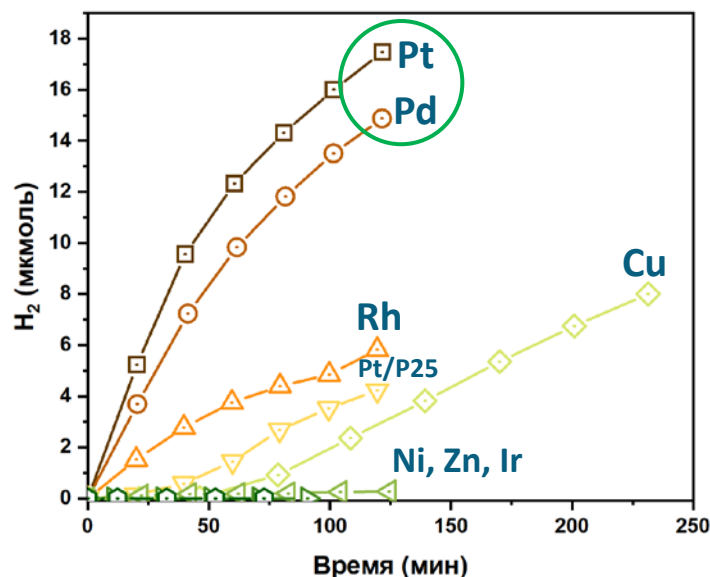


Фотокаталитическое получение пероксида водорода: TiO₂ фотокатализаторы



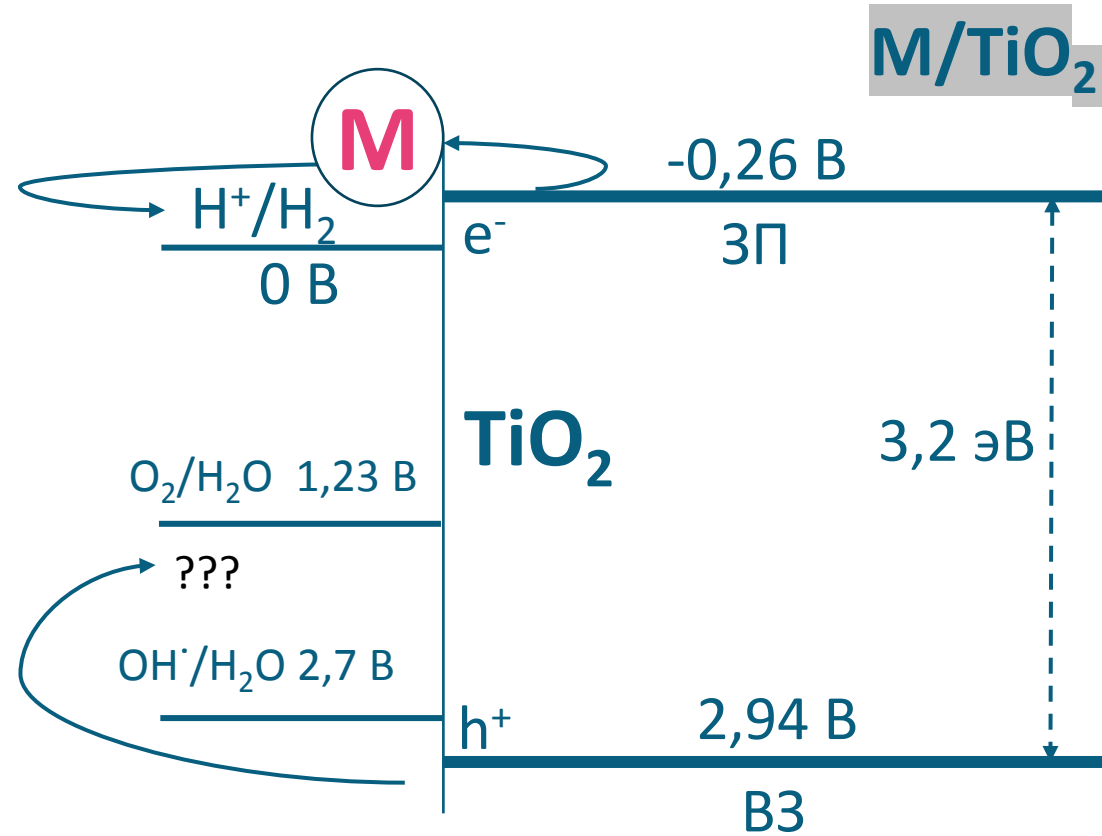
Накопление H₂ при фоторазложении воды

1%M/TiO₂ (365 нм)



Отсутствует статистически значимое накопление O₂ в газовой фазе

Детектируется образование перекисных соединений в водной суспензии фотокатализатора, но в воде H₂O₂ не детектируется.

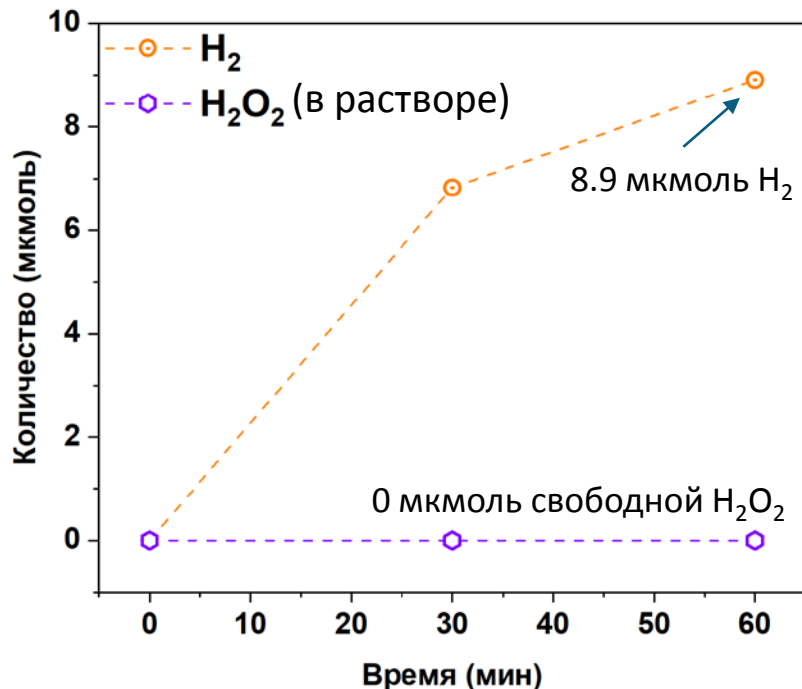


Метод Триндера - ферментный калориметрический метод определения H₂O₂ (пероксидаза + H₂O₂)

Фотокаталитическое получение пероксида водорода: где H_2O_2 ?



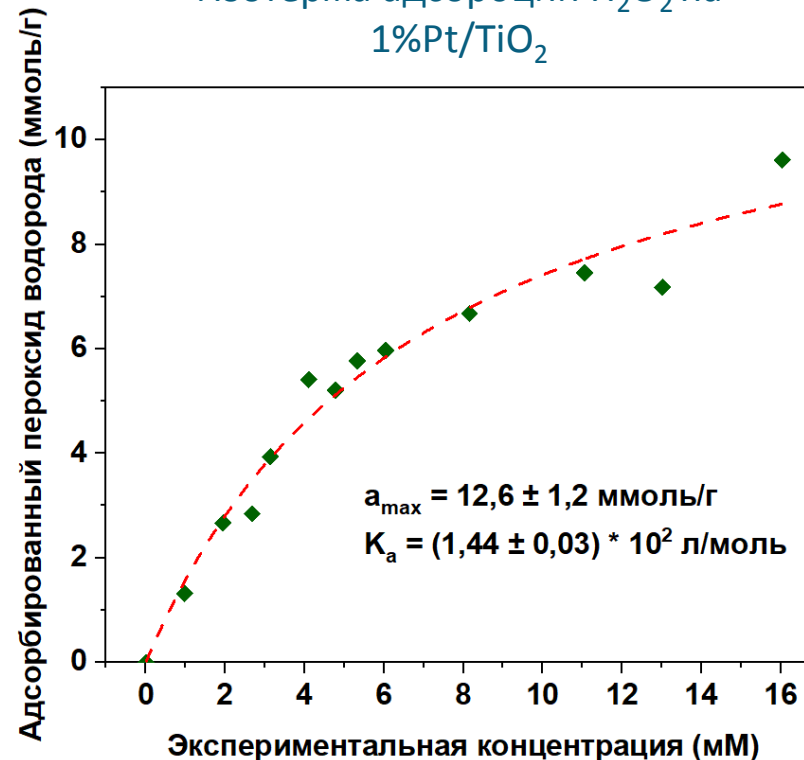
Накопление продуктов при фоторазложении воды
1%Pt/TiO₂ (365 нм)



Согласно стехиометрии должно быть:

8.9 мкмоль H_2O_2

Изотерма адсорбции H_2O_2 на
1%Pt/TiO₂



Если учесть физическую адсорбцию, то должно быть:

4.5_(в растворе) + 4.4_(на поверхности) = 8.9 мкмоль H_2O_2

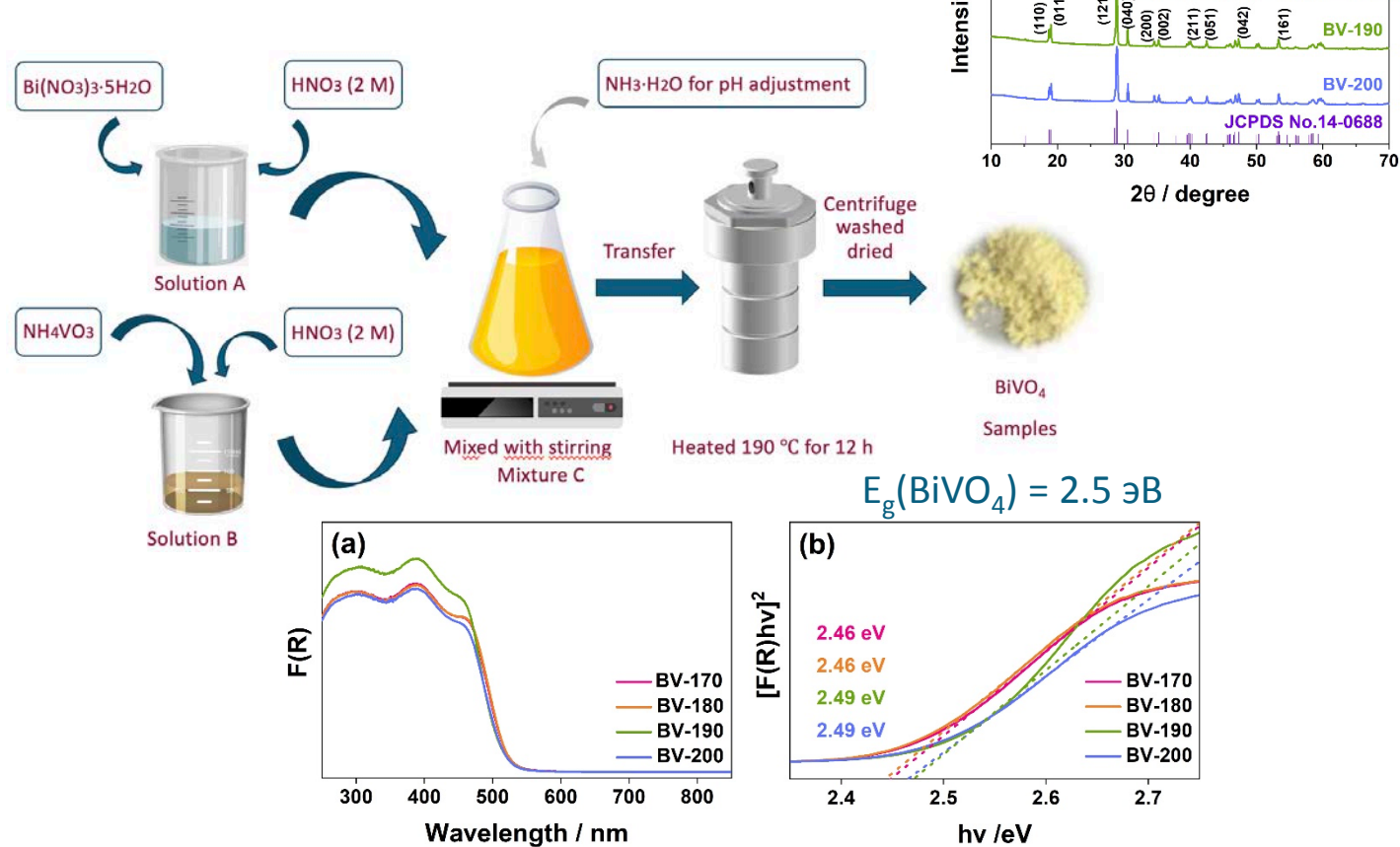
Выводы: - сильное химическое взаимодействие H_2O_2 с поверхностью TiO_2 ($[\text{TiO}-\text{H}_2\text{O}_2]^{2+} - ?$)
- свободная H_2O_2 появляется в растворе только при длительном освещении



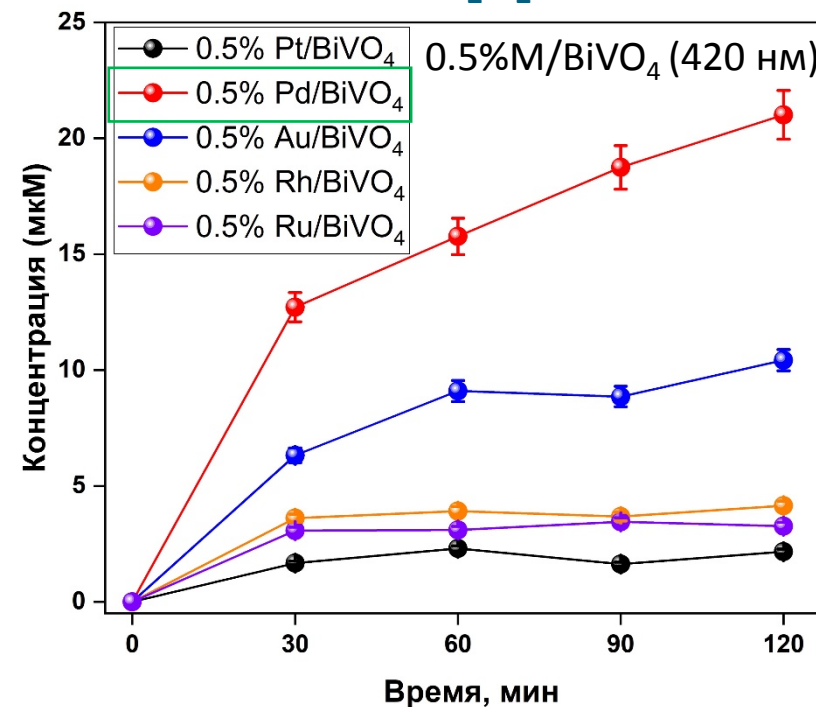
другие
материалы

Фотокаталитическое получение пероксида водорода: BiVO_4 фотокатализаторы

Синтез BiVO_4 : гидротермальный метод



Накопление H_2O_2 в растворе



Создание композитов для снижения рекомбинации и повышения выхода H_2O_2

III. Получение тока из пероксида водорода



Пергидроль 70 масс.% $\text{H}_2\text{O}_2 = 0,89 \text{ кг } (\text{H}_2\text{O}_2)/\text{л}$

3,1 МДж/л



резервуар с $\text{H}_{2(\text{г})}$ при давлении 70 МПа при комнатной температуре может производить 6,8 МДж/л, с учетом 20% затрат на сжатие

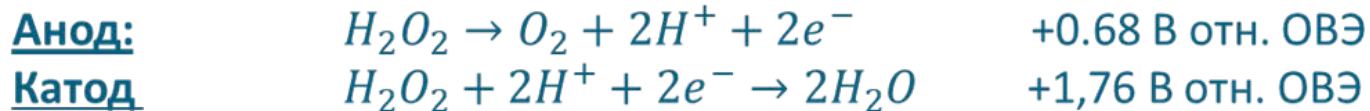
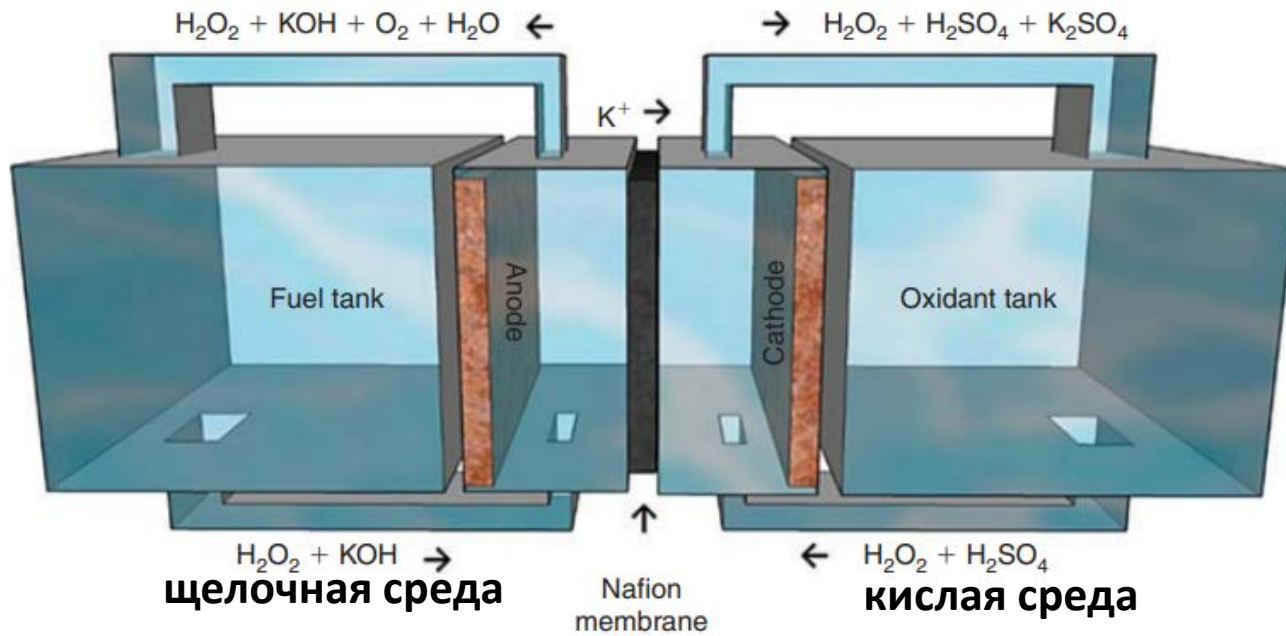
5,4 МДж/л

С учетом затрат на сжижение H_2 , стоимости оборудования используемого для сжижения, декомпрессии, хранения возможно оценить H_2O_2 ТЭ как привлекательные.

Система	Топливо	Окислитель	Анод	Катод	$E_{\text{теор}}, \text{В}$
H_2/O_2 ТЭ*	Водород (газ)	Кислород (газ)	Pt/C	Pt/C	1,23
Метанол/ O_2 ТЭ	Водный р-р метанола	Кислород (газ)	Pt/C	Pt/C	1,21
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_2$ ТЭ	Водный р-р H_2O_2	Водный р-р H_2O_2	Pt/C	Pt/C	1,09
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_2$ ФТЭ**	Водный р-р H_2O_2	Водный р-р H_2O_2	TiO_2 ***	Углерод	1,09

H₂O₂ ТЭ с разделенными анодным и катодным пространством

Топливный элемент с протонообменной мембраной



Суммарно НРЦ (расчетное):



Достигаемые экспериментальные НРЦ 0.7 – 0.9 В

Удельная мощность до 20 мВ/см² (20 °С), 60 мВ/см² (60 °С)

НРЦ (расчетное) сравнимо с H₂/O₂ ТЭ ($\Delta E = 1.23V$) и метанол/O₂ ТЭ ($\Delta E = 1.21 V$)

Катализаторы:

Катод - Ni/C, Pb/C, Co₃O₄, Перовскиты, Ag₂O, металлокомплексы и др.

Анод - Ni/C, Pb/C, NiOH, Au и др.

Достоинства:

- один вид топлива в обоих отделениях элемента
- экологически чистое топливо
- легко хранить, перевозить, готовить растворы

Проблемы:

- низкая активность и селективность катализаторов

C – углеродная бумага, углеродное волокно

H₂O₂ ТЭ (с общим отделением)

В щелочной среде:



Катод – Ag, Ag-Pb, Анод – Au

НРЦ до 0.15 В*, удельная мощность мкВт/см²

В кислой среде:

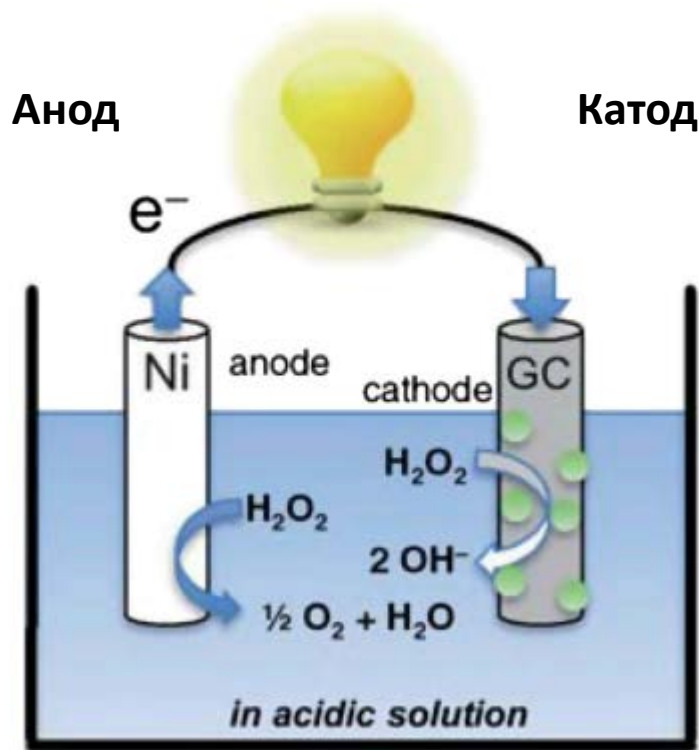


Катод - Pb/C, Fe фталоцианин, Анод - катализаторы на основе Ni

НРЦ до 0.6 В*, удельная мощность 1-2 мВт/см²

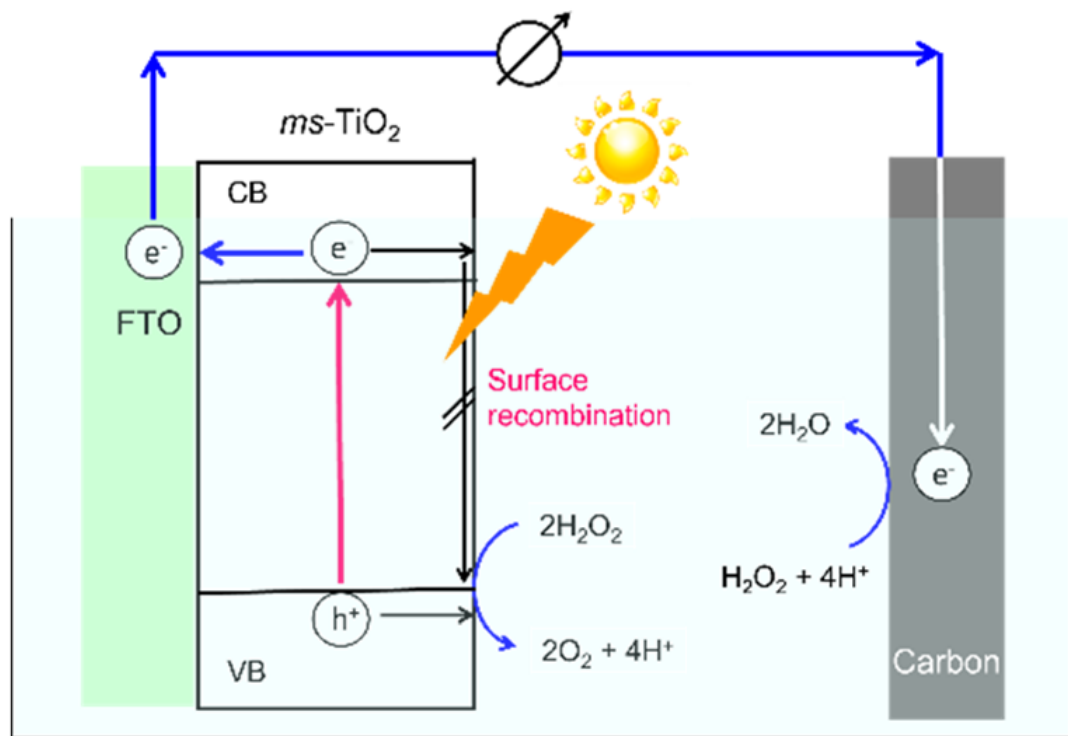
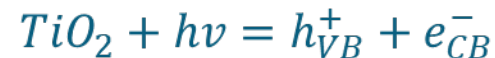
- ✓ **Большая эффективность достигается в кислой среде**
- ✓ **В настоящее время характеризуются низкой мощностью**
- ✓ **Требуется серьезная проработка катализаторов (увеличение селективности) для увеличения эффективности топливного элемента**

* Теоретическая величина НРЦ – 1,09 В



Основное достоинство - отсутствие мембраны. Значительно упрощает и удешевляет конструкцию.

H₂O₂ (фото)топливный элемент (hydrogen peroxide photo-fuel cells)



Анод:



Катод:



Общая реакция:



Анод: Au/C₃N₄

Катод: графен

Напряжение разомкнутой цепи: 0,45 В

IV. Применение H_2O_2 для очистки воды.

Передовые окислительные процессы (AOPs): типы воздействий и окислители

Каталитические

HSO_5^- /катализатор
 H_2O_2 /катализатор
 O_3 /катализатор
Фентон



Электро-Фентон
Анодное окисление
Анодное окисление/ H_2O_2

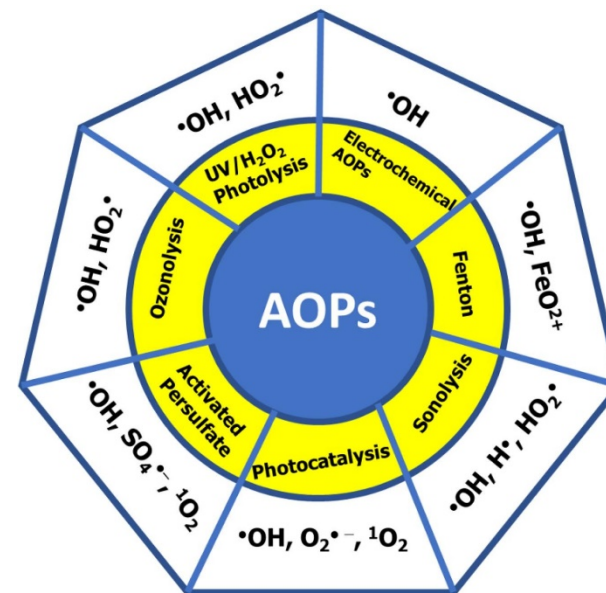
Физические

Микроволн. излуч.
Оптич. излуч.
Ультразвук
Плазма

Фотолиз
Фотокатализ
Фото-Фентон

Электрохимические

Фотохимические



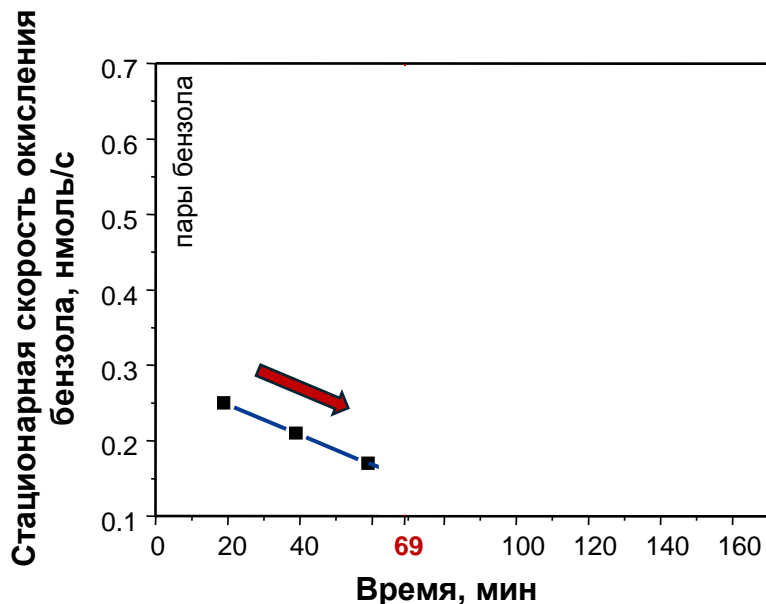
Основные используемые окислители:

- кислород (O_2);
- озон (O_3);
- **пероксид водорода (H_2O_2)**;
- пероксомonosульфат (HSO_5^-)

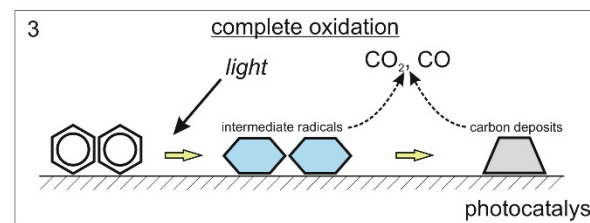
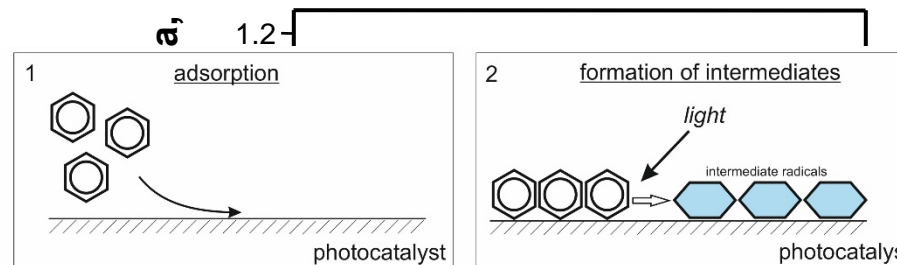
H_2O_2 широко используется во многих типах процессов, т.к.:

- образует высоко реакционноспособные частицы;
- экологически безопасен;
- имеет невысокую стоимость

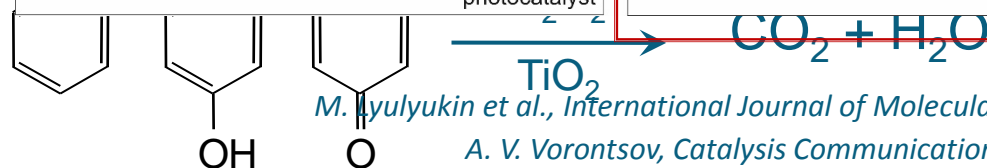
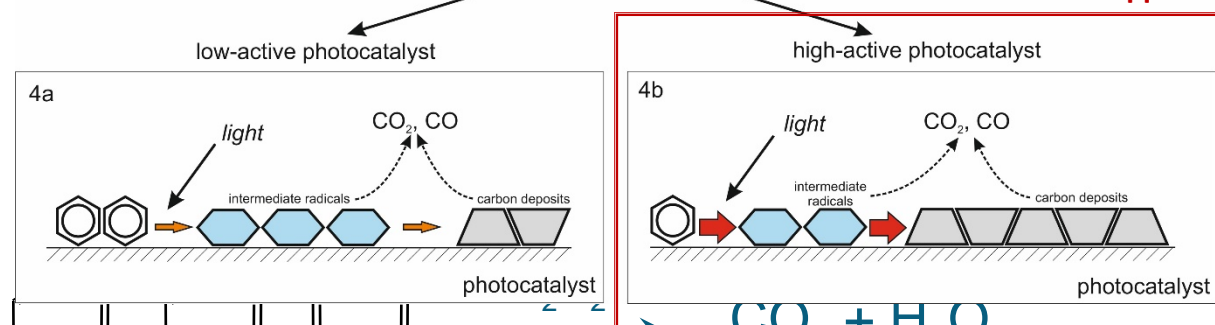
Влияние H₂O₂ на фотокаталитическое окисление паров ароматических соединений



[C₆H₆]_{in} = 140 ppm: **постепенная дезактивация**

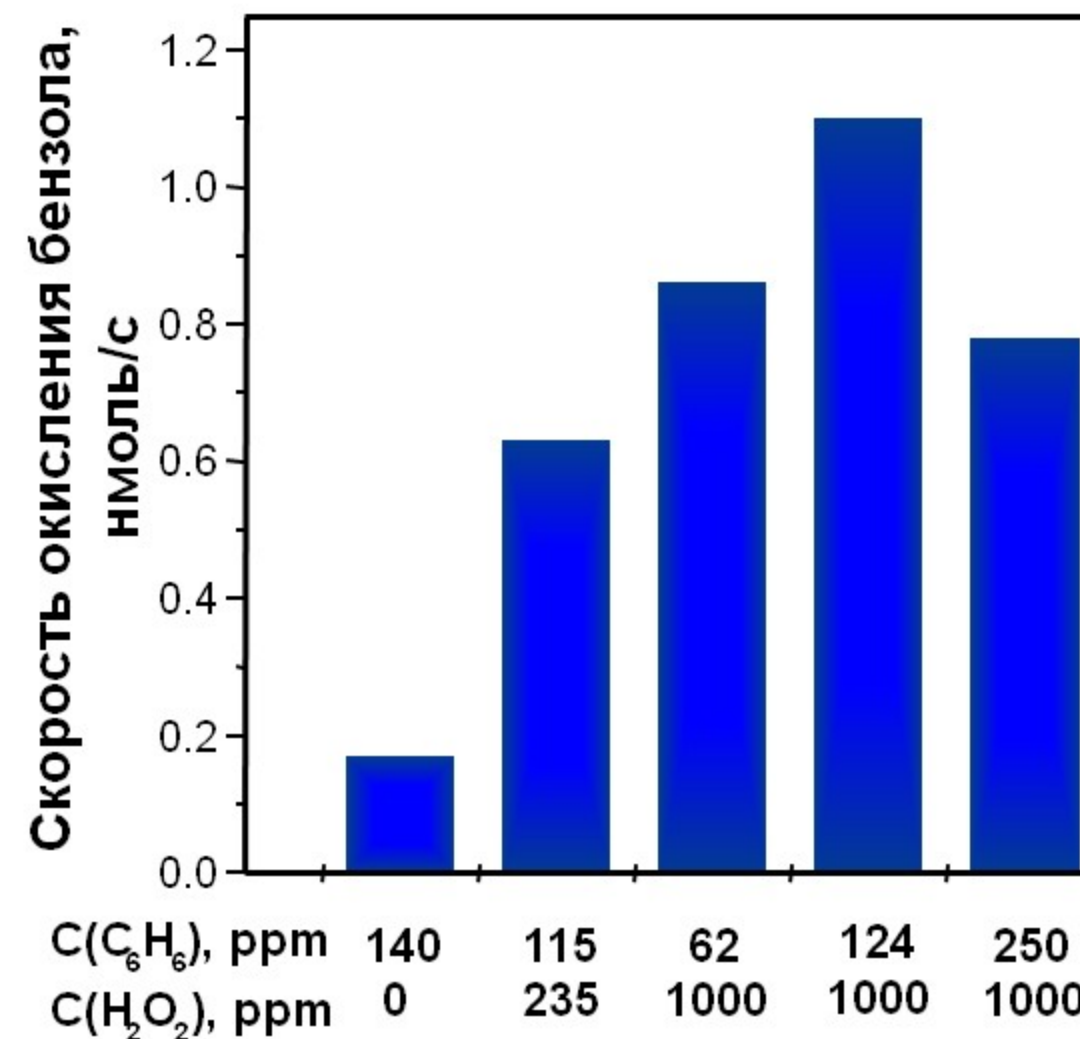
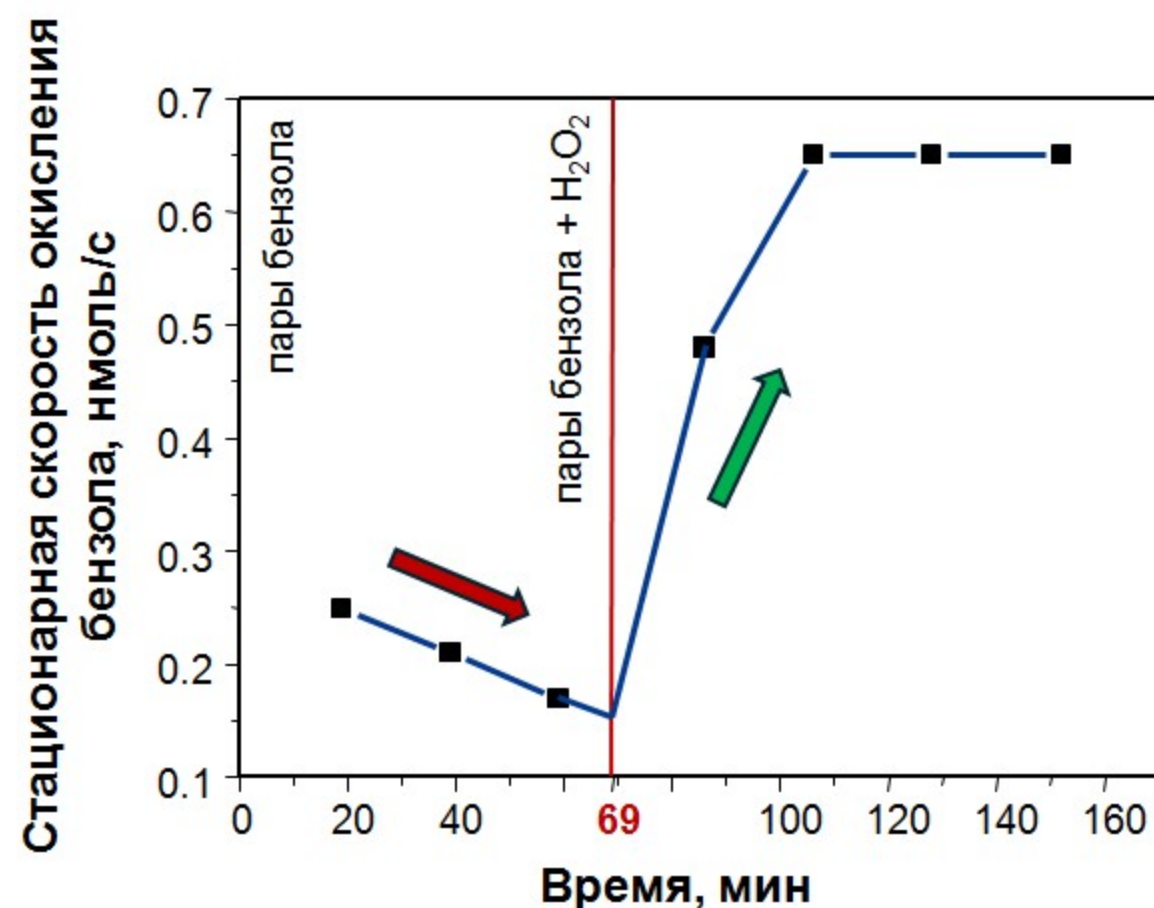


чем выше активность, тем больше дезактивация

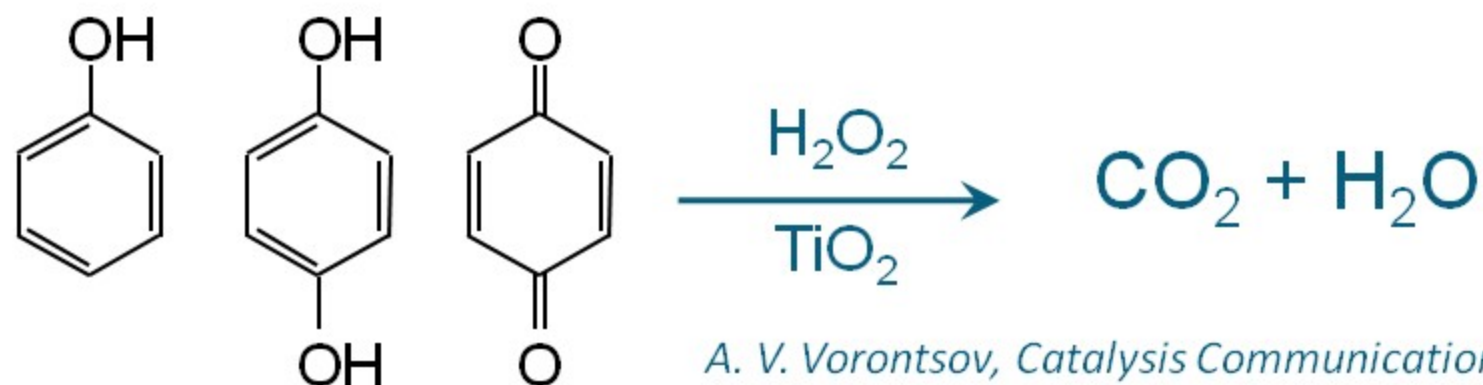


M. Lyulyukin et al., *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (2023) 5693
 A. V. Vorontsov, *Catalysis Communications*, 8 (2007) 2100-2104

Влияние H₂O₂ на фотокаталитическое окисление паров ароматических соединений



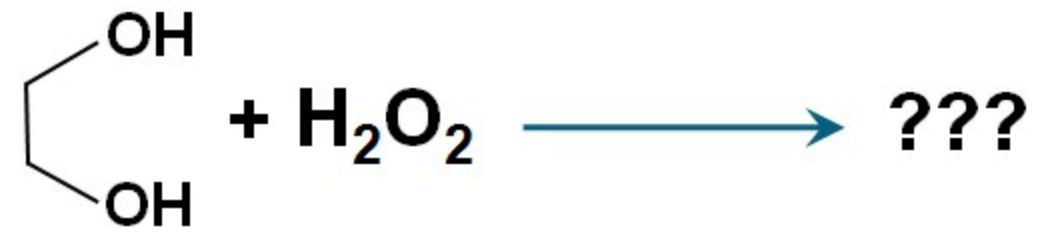
[C₆H₆]_{in} = 140 ppm: **постепенная дезактивация**
 +
 [H₂O₂]_{in} = 235 ppm: **стационарная активность**



A. V. Vorontsov, *Catalysis Communications*, 8 (2007) 2100-2104

Использование пероксида водорода для очистки воды

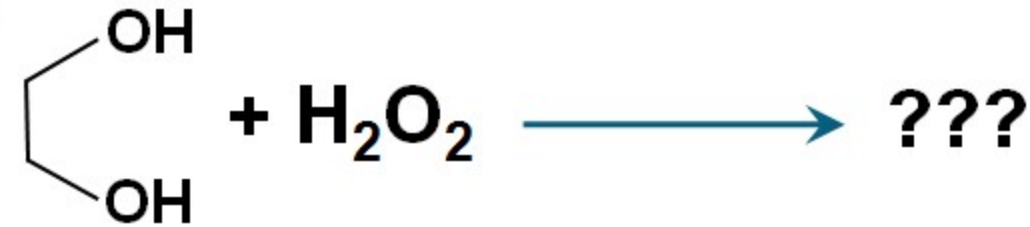
Этиленгликоль (ЭГ)



противообледенительная
жидкость

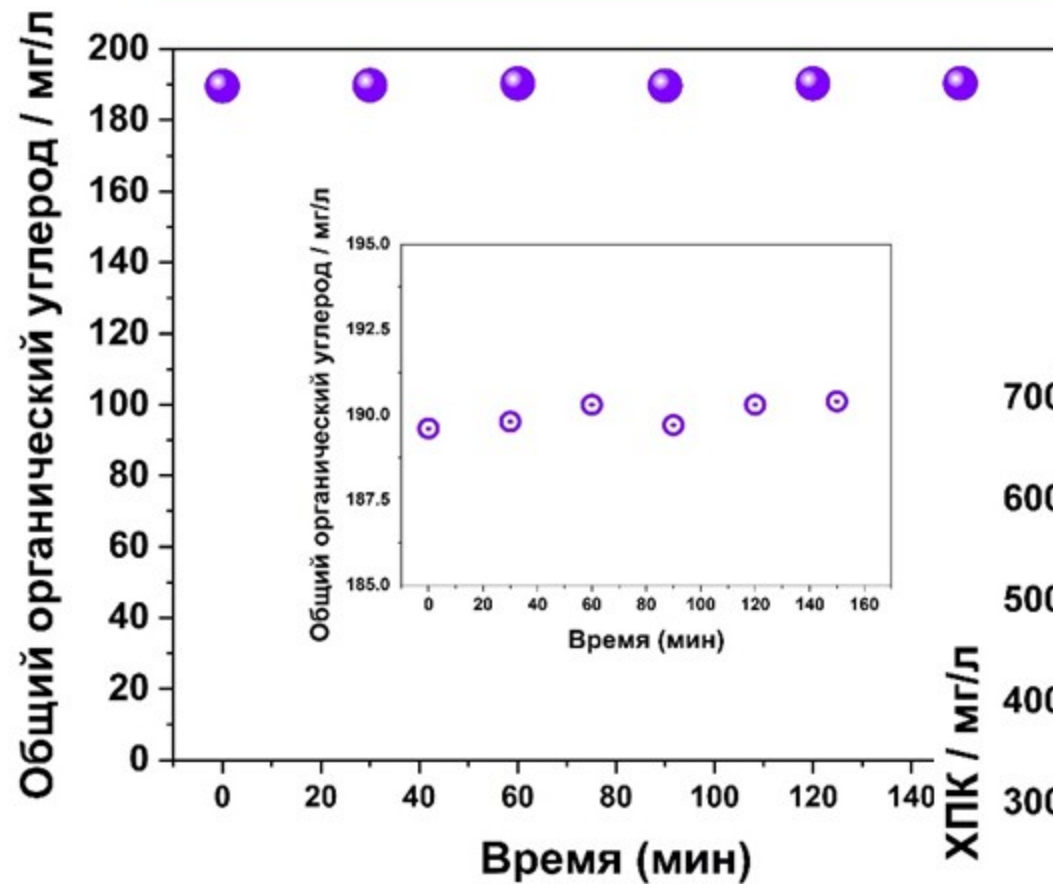
Использование пероксида водорода для очистки воды

Этиленгликоль (ЭГ)

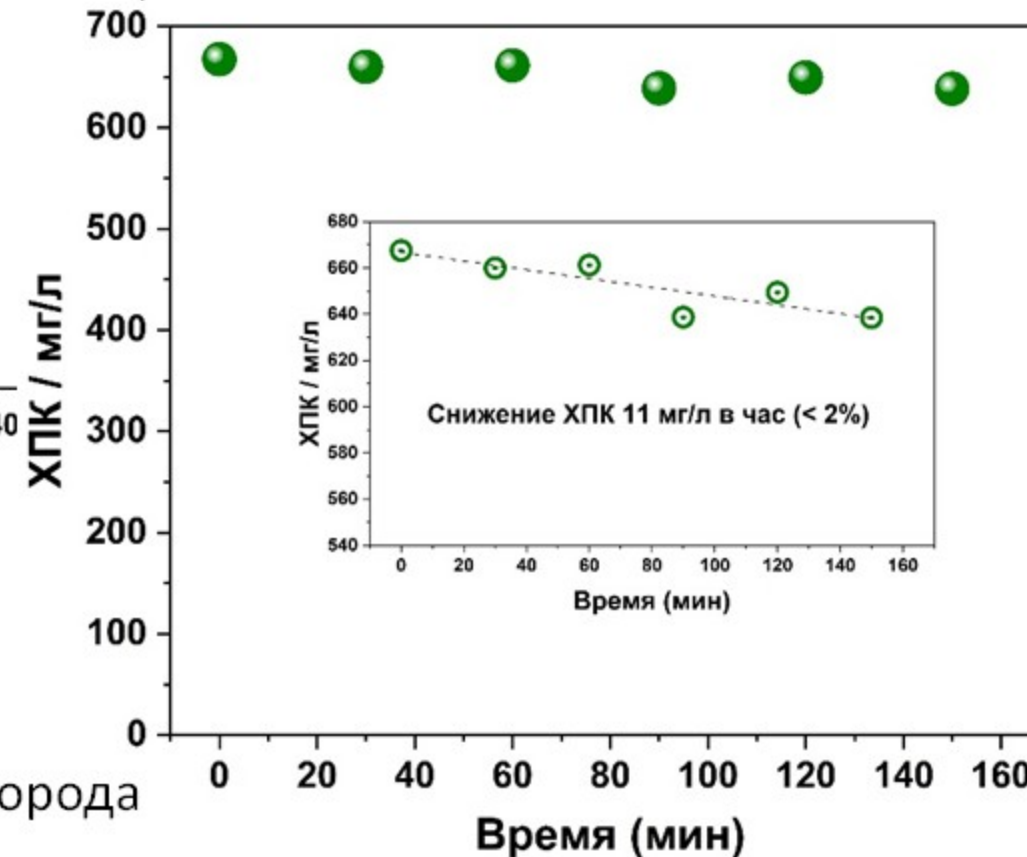


противообледенительная
жидкость

Изменение содержания ООУ



Изменение ХПК

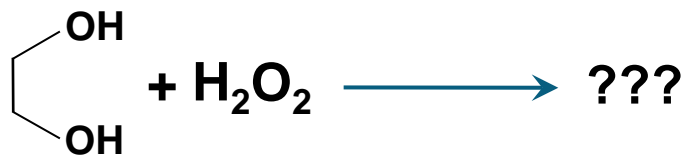


Добавление H_2O_2 к водному раствору этиленгликоля (ЭГ) не приводит к существенному снижению содержания ООУ и ХПК в растворе, что свидетельствует об **отсутствии даже частичного окисления молекул ЭГ при данных условиях**

ООУ = общий органический углерод
ХПК = химическое потребление кислорода

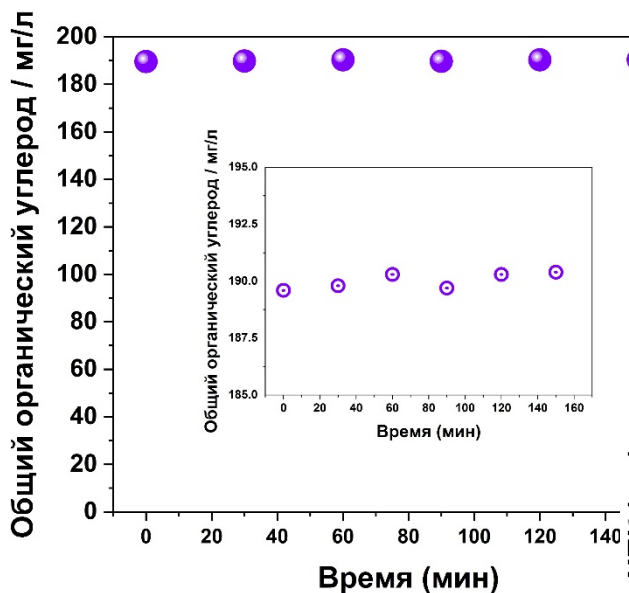
Использование пероксида водорода для очистки воды

Этиленгликоль (ЭГ)



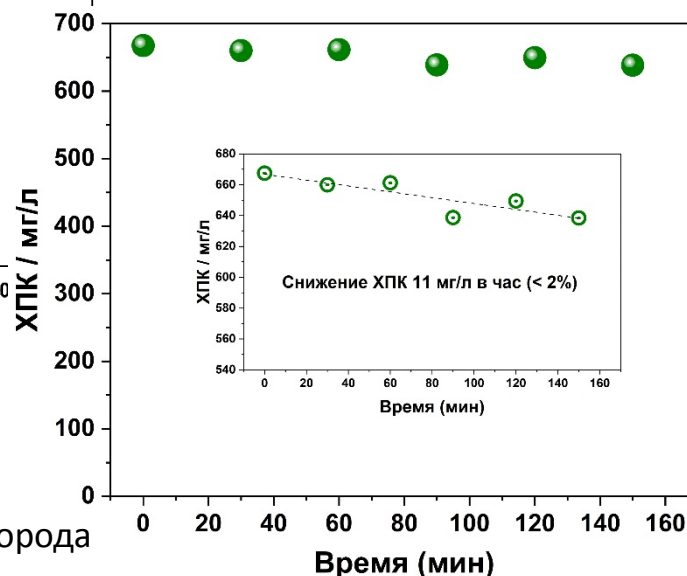
противообледенительная жидкость

Изменение содержания ООУ



ООУ = общий органический углерод
ХПК = химическое потребление кислорода

Изменение ХПК



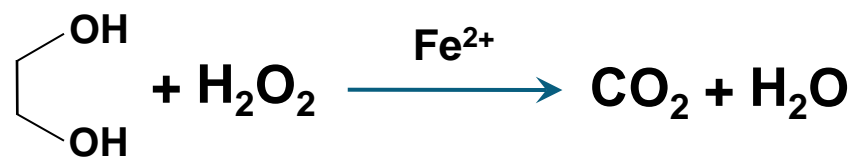
Добавление H_2O_2 к водному раствору этиленгликоля (ЭГ) не приводит к существенному снижению содержания ООУ и ХПК в растворе, что свидетельствует об **отсутствии даже частичного окисления молекул ЭГ при данных условиях**

Нужна активация H_2O_2

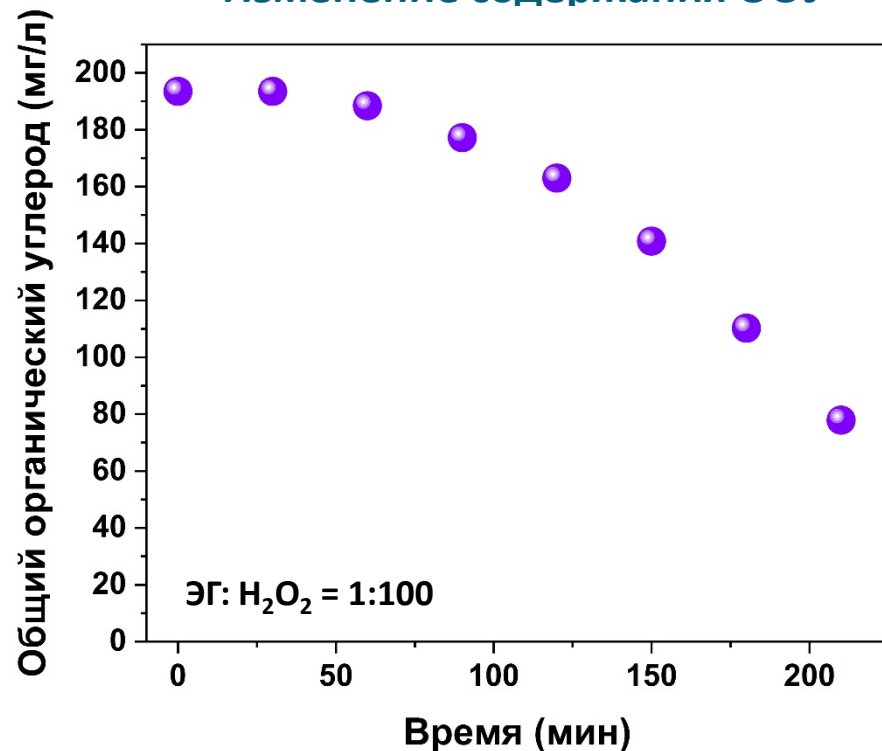
гомогенная система Фентона ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$);
гетерогенная система Фентона ($\text{Fe}(\text{Cu})\text{-кат.} + \text{H}_2\text{O}_2$);

$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$;
 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV-C}$

Использование пероксида водорода для очистки воды: система Фентона



Изменение содержания ООУ

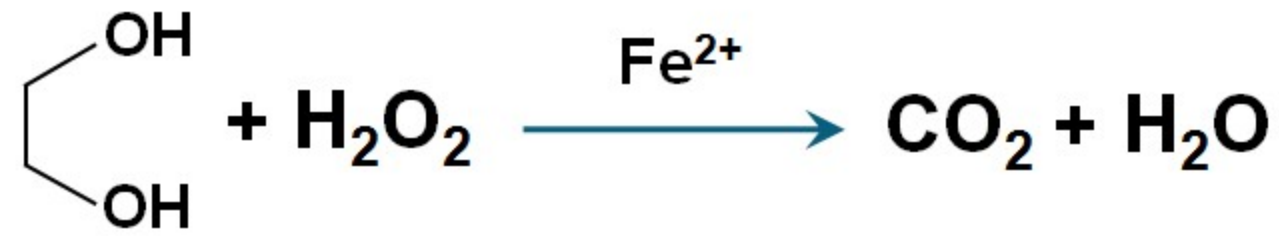


ООУ = общий органический углерод

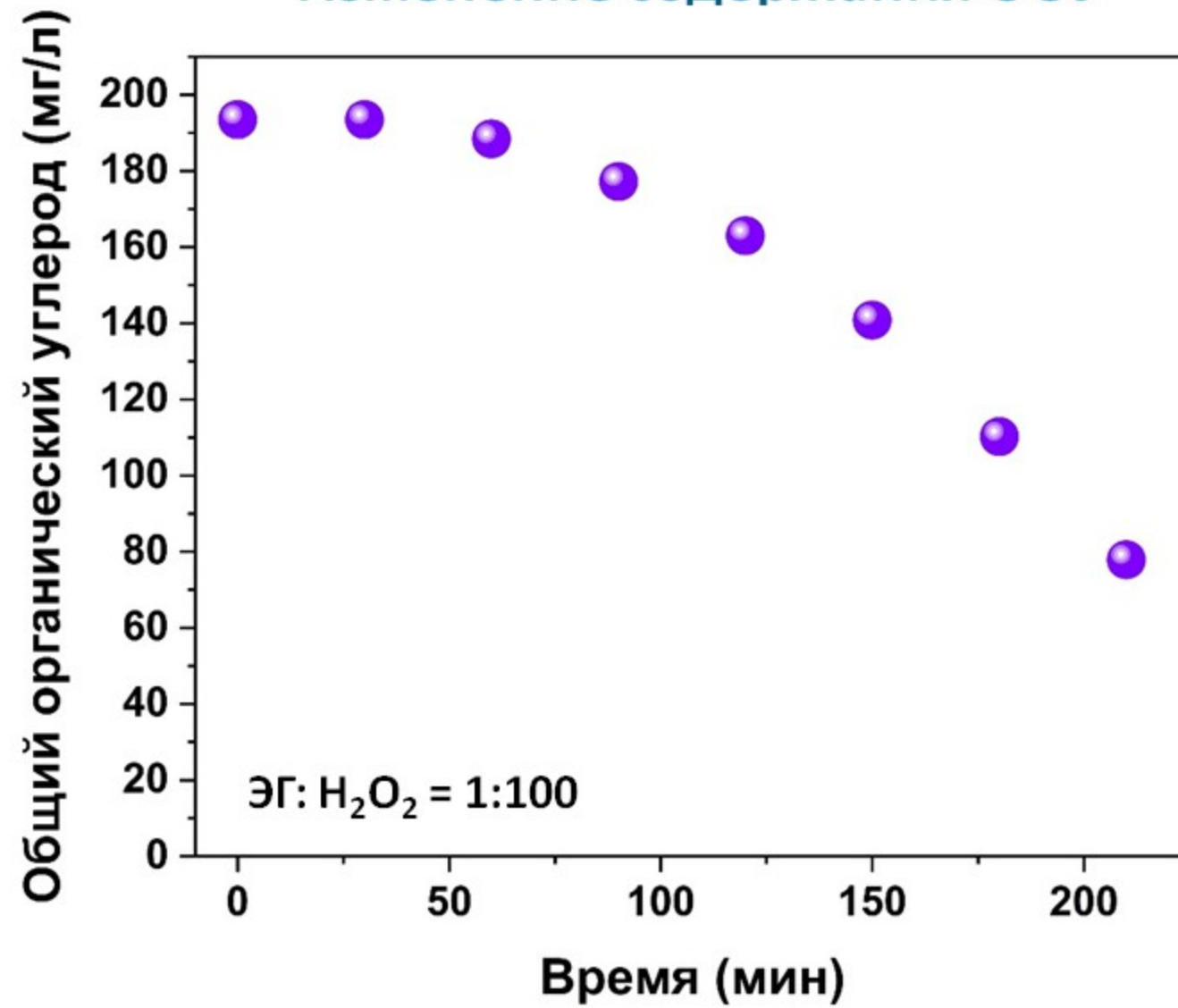
Общая схема механизма реакции Фентона

	Стадии	$k, \text{M}^{-1}\text{c}^{-1}$	Тип
0	$\text{FeHO}_2^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{HO}_2^\bullet$		Инициирование
0'	$\text{FeHO}_2^{2+} + \text{FeOH}^{2+} \longrightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	5	
1	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \bullet\text{OH} + \text{OH}^-$,	(63–68)	Продолжение цепи
2	$\text{H}_2\text{O}_2 + \bullet\text{OH} \longrightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{H}_2\text{O}$,	$(1,7\text{--}3,3) \cdot 10^7$	
3	$\text{Fe}^{3+} + \text{O}_2^{\bullet-} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2$,	$(0,4\text{--}1,9) \cdot 10^9$	
3'	$\text{Fe}^{3+} + \text{HO}_2^\bullet \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}^+$,	$3 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^7$	
4	$\text{Fe}^{2+} + \text{HO}_2^\bullet \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}_2^-$,	$(1,5\text{--}2) \cdot 10^6$	Обрыв цепи
5	$\text{Fe}^{2+} + \bullet\text{OH} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^-$,	$(3\text{--}5) \cdot 10^8$	
6	$\text{HO}_2^\bullet + \text{HO}_2^\bullet \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$,	$(0,8\text{--}2) \cdot 10^6$	
7	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$,	$K_7 = 2,6 \cdot 10^{-12}$	Кислотно-основные равновесия
8	$\text{HO}_2^\bullet \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{O}_2^{\bullet-}$,	$K_8 = 3,6 \cdot 10^{-5}$	
9	$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{FeOH}^{2+} + \text{H}^+$,	$K_F = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$	
10	$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{FeHO}_2^{2+} + \text{H}^+$,	$K_{10} = 2 \cdot 10^{-3}$	

Использование пероксида водорода для очистки воды: система Фентона



Изменение содержания ООУ



ООУ = общий органический углерод

Гомогенная система: Fe²⁺ + H₂O₂

«+»:

- простая реализация;
- образование высоко реакционноспособных частиц (ОН-радикалы)

$$E^\ominus(\text{HO}^\bullet + e^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}) = 2.73 \text{ В}$$

- отсутствие селективности.

«-»:

- нужно контролировать pH;
- нужен большой избыток H₂O₂ относительно стехиометрии реакции;
- нужно удалять ионы железа из раствора

Гетерогенная система:

Fe(Cu)-содержащий цеолит + H₂O₂

«+»:

- высокая скорость окисления
- нет большого количество ионов Fe в растворе

«-»:

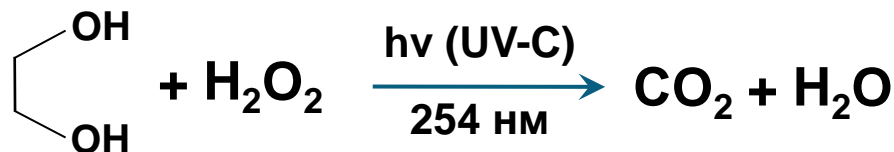
- те же + отсутствие/высокая стоимость кат-ров

Использование пероксида водорода для очистки воды: сравнение методов



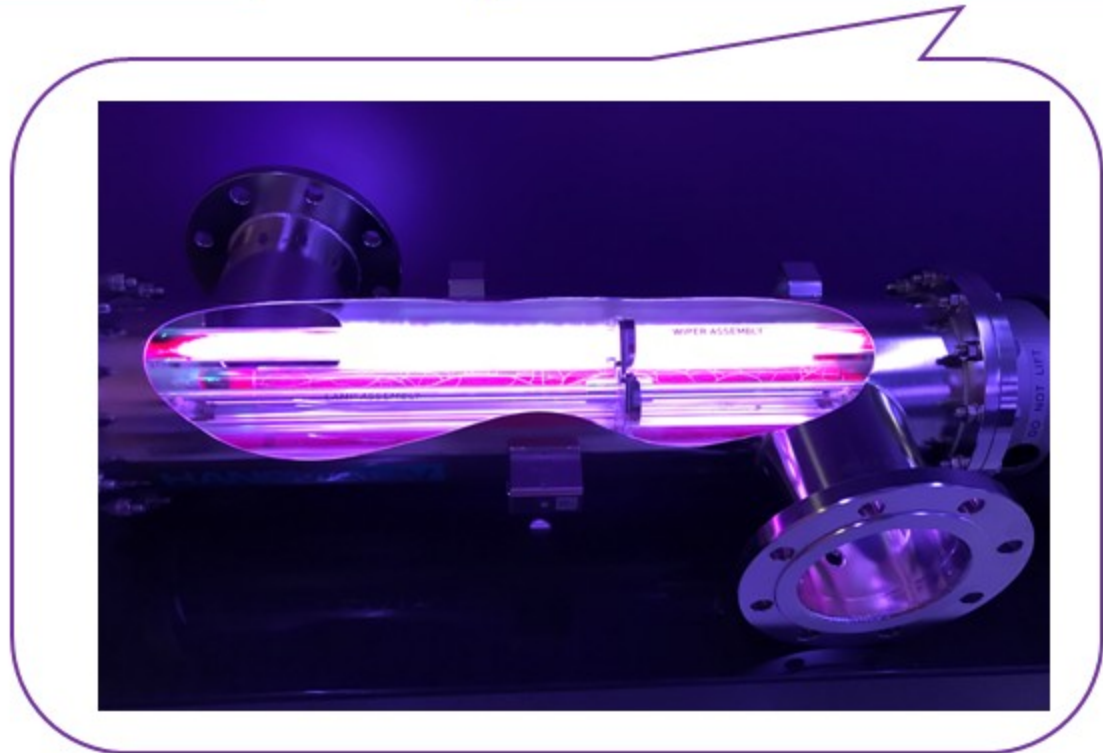
Система	Скорость окисления	Требуемое количество H_2O_2	Примечания	ОРЕХ (руб./м ³)
ЭГ + H_2O_2	~ 0			
ЭГ + H_2O_2 + Fe^{2+}	Средняя (полное окисление)	Большой избыток (ЭГ: H_2O_2 = 1:100)	- удаление ионов железа из воды	> 5000
ЭГ + H_2O_2 + Fe-цеолит	Очень высокая (полное окисление)	Избыток (ЭГ: H_2O_2 = 1:10÷1:100)	- отделение катализатора; - высокая стоимость кат-ра;	>1000
ЭГ + UV-C	Очень низкая (частичное окисление)		- для полного окисления требуется очень длительное облучение	-
ЭГ + H_2O_2 + UV-C	Высокая (полное окисление)	Стехиометрия и ниже (ЭГ: H_2O_2 ≤ 1:1-1:5)	- низкие операционные затраты	64-320

Водный раствор ЭГ: 500 мг/л

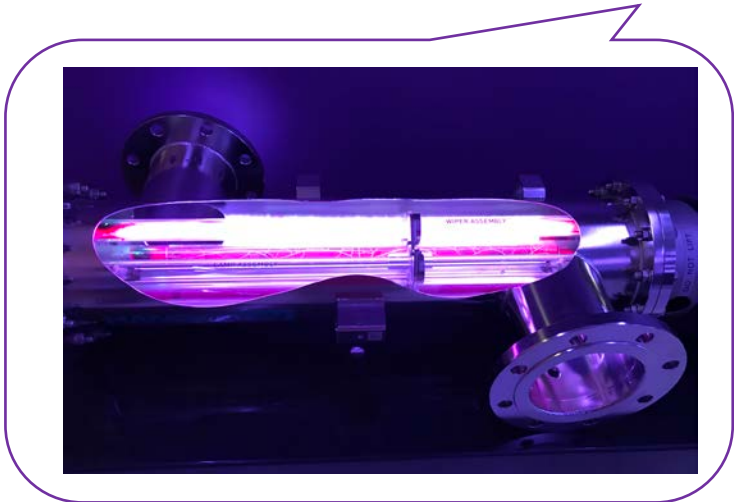
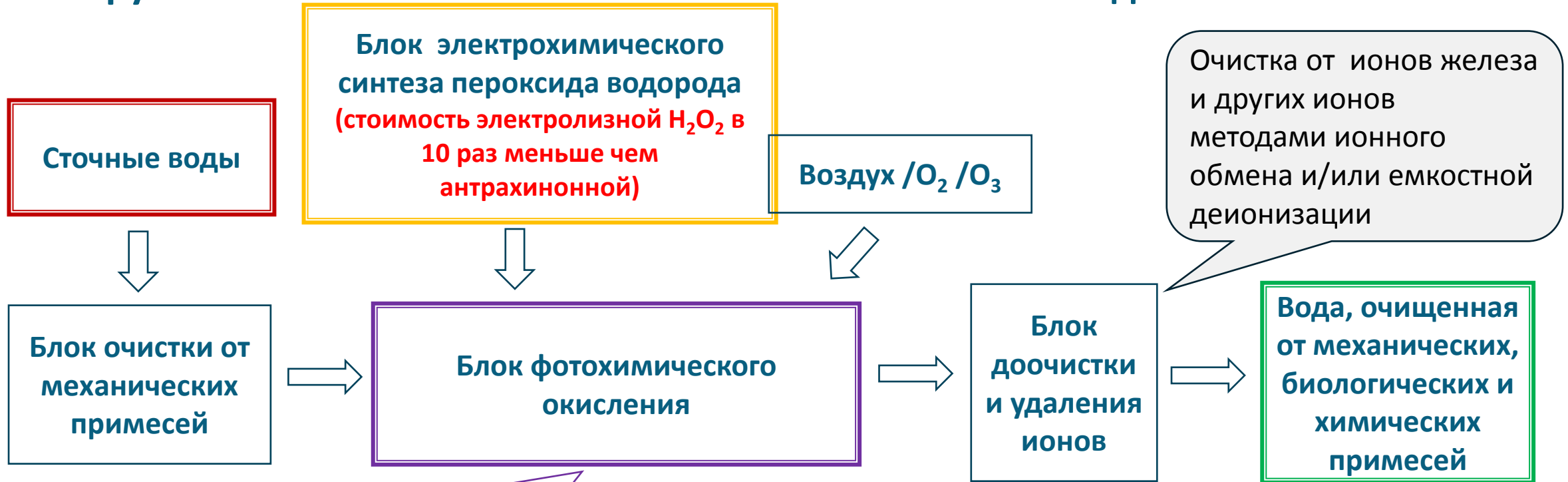


Заказчик платит 500 руб/м³, а хочет 100 руб/м³ или меньше

Укрупненная технологическая схема очистки сточных вод



Укрупненная технологическая схема очистки сточных вод



Возможно совмещение с другими типами процессов: (фото)электрокаталитического окисления, Фентона, озонирования, перокси-коагуляции

V. Экзогенное применение H_2O_2 как эффективный подход для повышения стрессоустойчивости и продуктивности с/х культур

Растения



Стрессоустойчивость:

- Пониженная и повышенная температура, засуха, засоление, переувлажнение и гипоксия, действие тяжелых металлов, никеля и меди.
- Устойчивость к фитопатогенам.
- Активация экспрессии хлоропластных и ядерных генов, связанных с защитными реакциями растений на стрессовые воздействия.

Семена, клубни



Улучшение энергии прорастания и всхожести, устранение последствий долгого хранения семян, снижение фитопатогенной нагрузки.
Прерывание покоя клубней картофеля.

Почва



Обогащение кислородом, почвенными микроорганизмами и, как следствие, повышение плодородия.

Цель работы - изучение воздействия экзогенного пероксида водорода на растения в условиях гидропоники и поля.

Задачи:

1. Изучение эффективности пероксида водорода при выращивании растений в условиях гидропонной теплицы: накопление вегетативной массы, элементов питания на разных стадиях развития, а также на устойчивость растений к патогенной микрофлоре.
2. Изучение эффективности пероксида водорода при выращивании зерновых культур в полевых условиях: энергия прорастания, фитосанитарное состояние семян зерновых культур, развитие болезней во время вегетации.

Выращивание растений летом 2022 г

24 июня
2022 г



18 июля
2022 г



Гидропонные теплицы в ЦКП репродукции растений ФИЦ ИЦиГ СО РАН

Влияние пероксида водорода 0.4% на повышение посевных качеств семян репродукции 2017 г.

Вариант	Энергия прорастания		Всхожесть	
	%	+/- к контролю	%	+/- к контролю
Ячмень (контроль)	85,9	-	88,9	
Ячмень (0,4% H ₂ O ₂)	88,9	+3,0	94,4	+5,5
Огурец (контроль)	36,0	-	77,7	-
Огурец (0,4% H ₂ O ₂)	58,0	+22	83,3	+5,6

Энергия прорастания - дружность и быстрота прорастания семян (определяют на 3-й день) **Всхожесть** – доля нормально проросших семян за определенный промежуток (определяют через 7 дней)



Вывод - отмечено повышение энергии прорастания и всхожести семян ячменя и огурца репродукции 2017 г. при замачивании их в 0,4% растворе пероксида водорода.

Влияние пероксида водорода на фитосанитарное состояние семян зерновых культур (лабораторные исследования)



Корневые гнили вызываются комплексом патогенов, основные из которых грибы рода *Fusarium*, *Alternaria* и *Bipolaris sorokiniana*. Семена репродукции 2021 г. замачивали в растворе перекиси водорода – 0,4 % на 20 минут.

Вариант	Частота встречаемости возбудителей семенной инфекции %,		
	Alternaria	Fusarium	Bipolaris sorokiniana
Пшеница (контроль)	83,3	33,3	12,5
Пшеница (0,4% H ₂ O ₂)	79,1	20,8	12,5
Ячмень (контроль)	62,5	37,5	16,7
Ячмень (0,4% H ₂ O ₂)	58,3	20,8	20,8

Вывод - показано снижение частоты встречаемости грибов рода *Fusarium* и *Alternaria*, доминирующих в патокомплексе корневых гнилей, на семенах яровой пшеницы и ячменя при замачивании семян раствором H₂O₂.

Влияние предпосевного замачивания семян редьки сорта Маргеланская в 0.4% перексиде водорода на всхожесть и урожайность культуры.

Вариант	Процент					
	взошедших растений	+/- к контролю	сохранившихся растений к уборке	+/- к контролю	товарных корнеплодов	+/- к контролю
Контроль	72,5	-	93,1	-	54,6	-
H ₂ O ₂ 0,4%	90	+17,5	94,6	+1,5	55,9	+1,3

Вариант	Средний вес, гр.			Урожай, гр./м ²
	Растения (с ботвой)	корнеплода	товарного корнеплода	
Контроль	48,7	11,7	18,3	450,3
H ₂ O ₂ 0,4%	46,1	13,8*	21,1*	502,5*



Вывод - использование H₂O₂ в концентрации 0,4% на семенах редьки Маргеланской способствовало увеличению всхожести семян и сохранению растений к уборке, а также увеличению товарной продукции.

Пример реализации технологии электрохимического синтеза перекиси водорода

Компания: HPNow

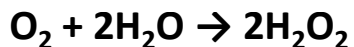
Место расположения: Копенгаген, Дания

На реализацию проекта выделено более 8 млн. евро, в том числе

- 5 млн. евро венчурным фондом AP Ventures + Evonik Industries
- 2.55 млн. евро в рамках программы ЕС «Горизонт 2020».

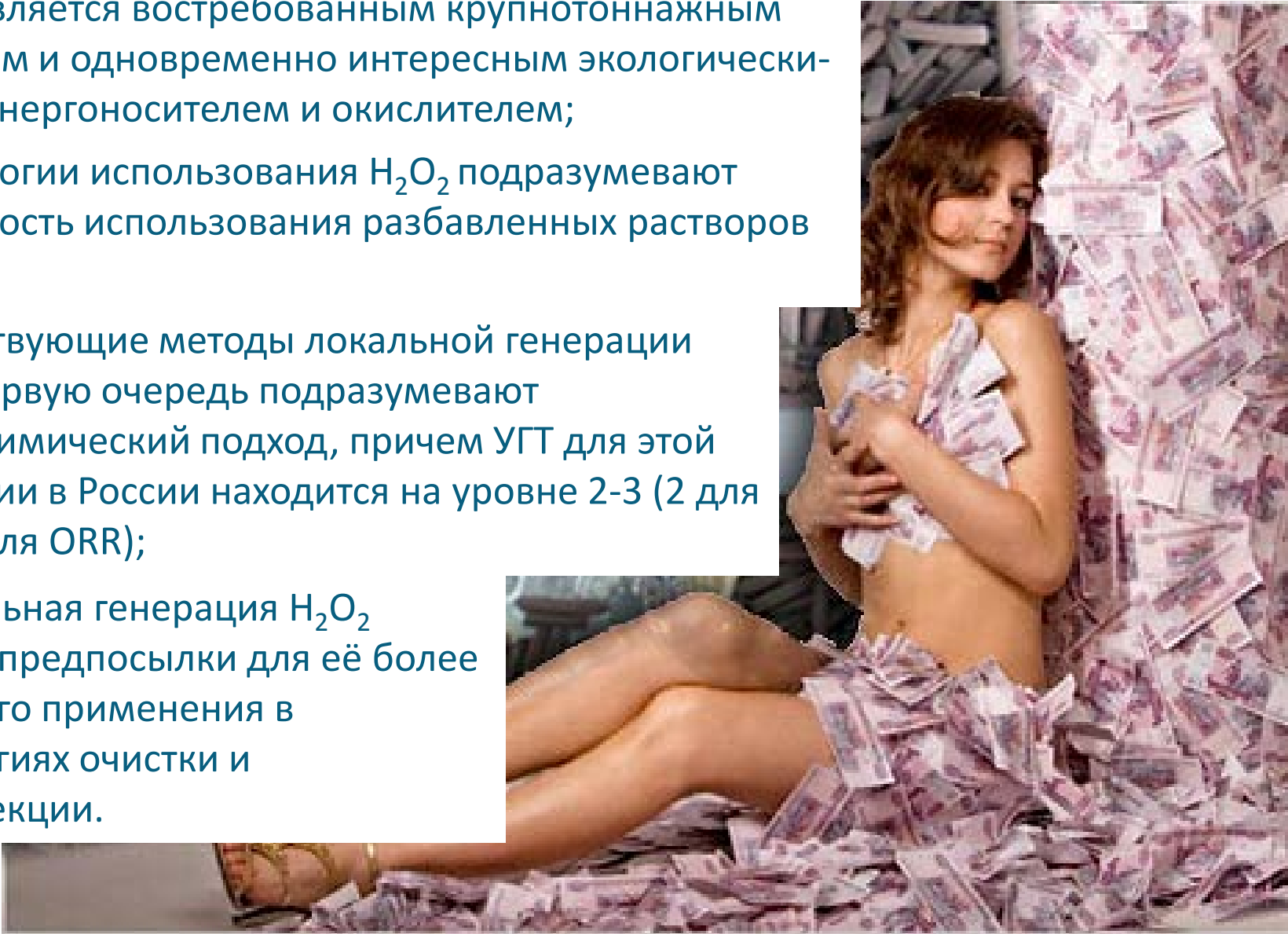
ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

- Использование растворов H_2O_2 вместо пестицидов и фунгицидов
- Использование для дезинфекции воды (бассейны, водоподготовка)
- Использование для обработки зараженных земель (скотомогильники, свалки и др.)



Заключение

1. H_2O_2 является востребованным крупнотоннажным продуктом и одновременно интересным экологически-чистым энергоносителем и окислителем;
2. Технологии использования H_2O_2 подразумевают возможность использования разбавленных растворов H_2O_2 ;
3. Существующие методы локальной генерации H_2O_2 в первую очередь подразумевают электрохимический подход, причем УГТ для этой технологии в России находится на уровне 2-3 (2 для WOR, 3 для ORR);
4. Локальная генерация H_2O_2 создаст предпосылки для её более активного применения в технологиях очистки и дезинфекции.



Финальный
результат...