



**eНано**

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ  
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

## **Бионанотехнологии для очистки сточных вод**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
промышленной биотехнологии  
Казанского национального  
исследовательского технологического  
университета

Сироткин Александр Семенович



## Содержание

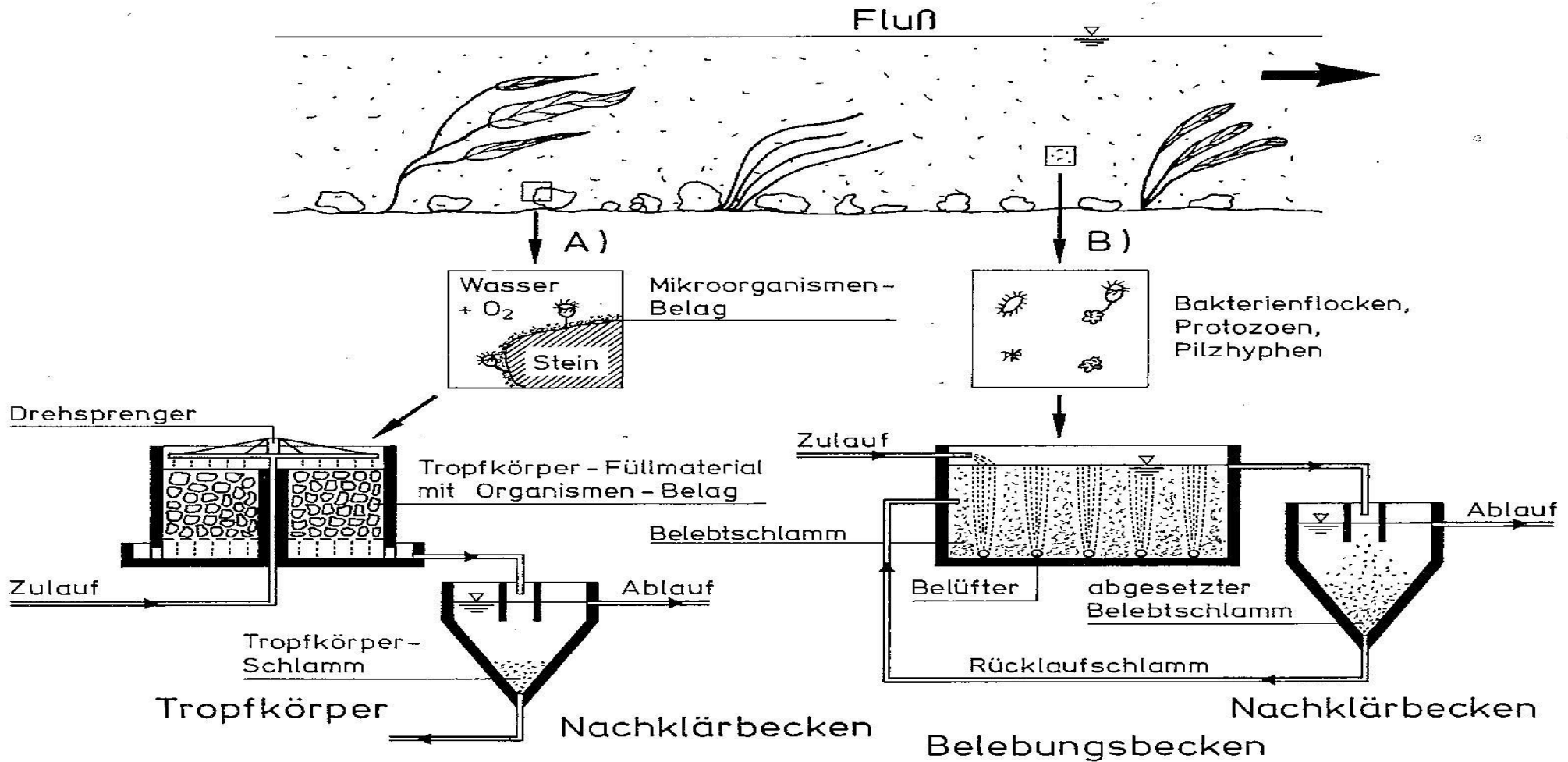
### ВВЕДЕНИЕ

- МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- МОЛЕКУЛЯРНОЕ «УЗНАВАНИЕ» МИКРООРГАНИЗМОВ В СООБЩЕСТВАХ
- БИОНАНОСОРБЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- НАНОРЕАГЕНТЫ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
- НАНОДИСПЕРГИРОВАНИЕ ВОЗДУХА ДЛЯ АЭРАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД



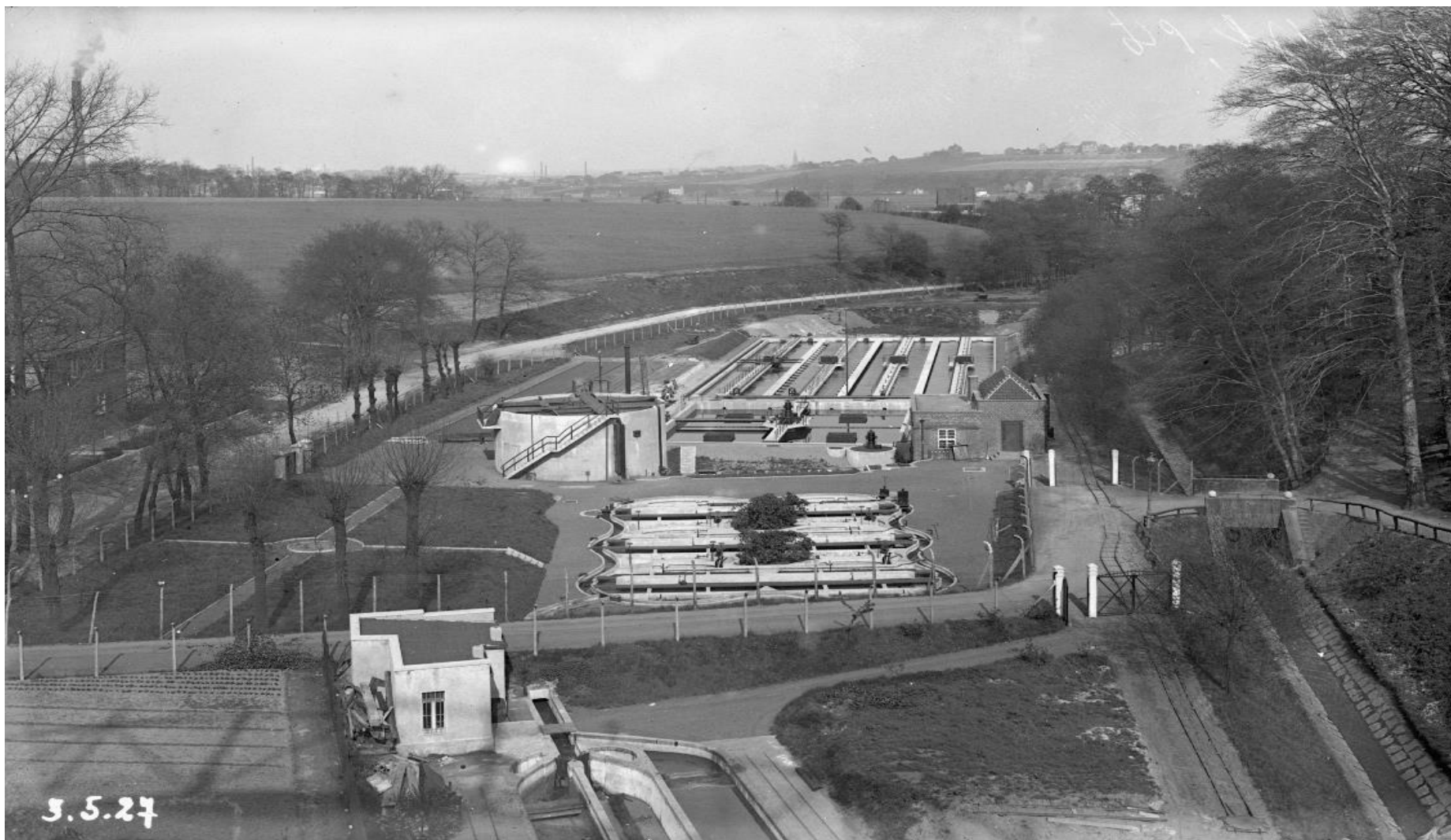
# **ВВЕДЕНИЕ**

# Перенесение процессов самоочищения водоемов в технологии биологической очистки сточных вод



# Процессу аэробной биологической очистке сточных вод – более 100 лет

**1913 год** : Первые успешные исследования Ардерна и Локкета (Arden und Locket) по предложению Фоулера (Fowler) в лаборатории очистных сооружений г. Манчестера (Manchester-Davishulme)





**МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА  
В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД**



# О микробных сообществах в процессах очистки сточных вод

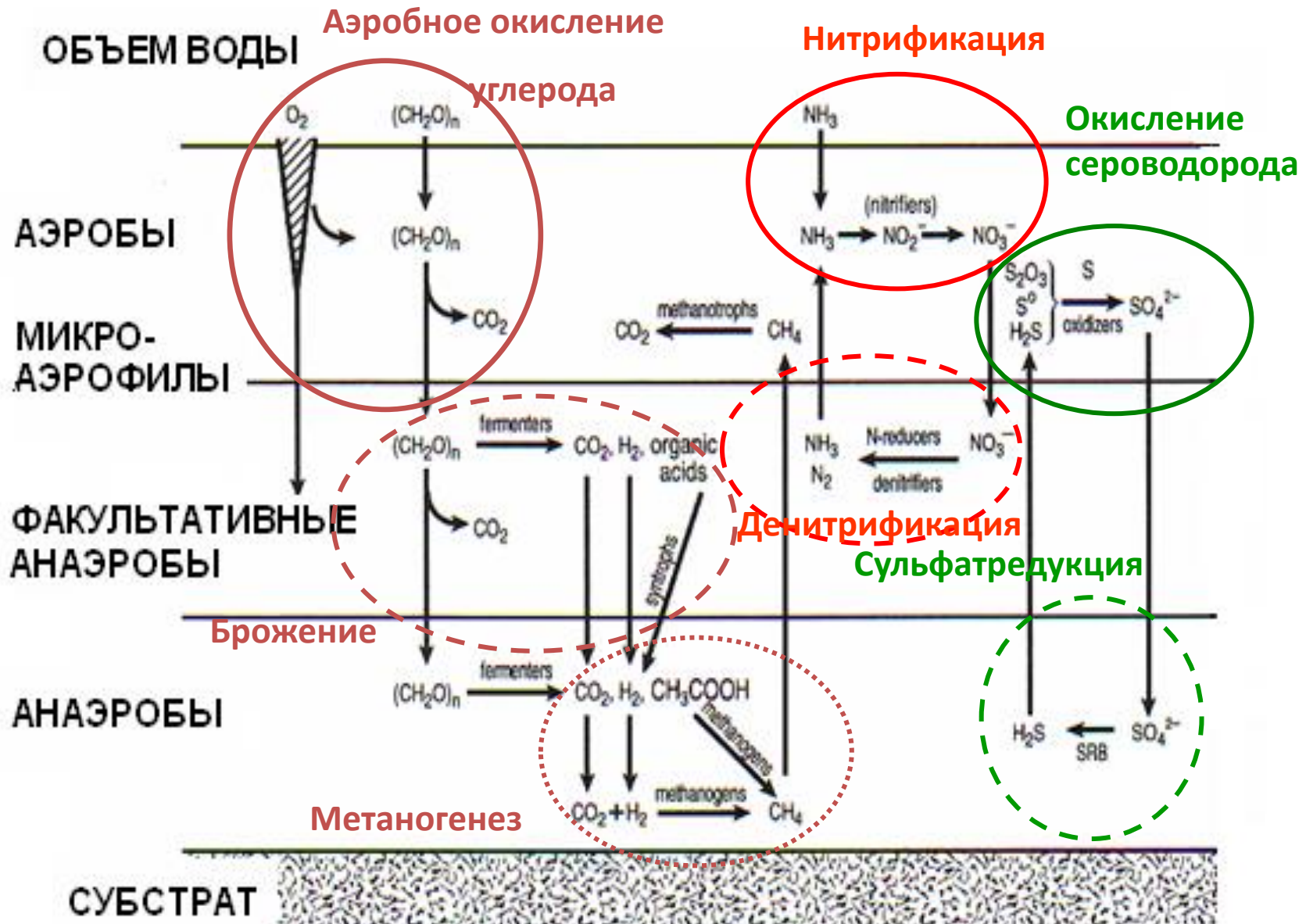


- Пленки на поверхности материалов («биопленки»)
- Флокулы («активный ил»)
- Маты и илы («толстые биопленки»)

Микробные агрегаты – доминантный способ существования микроорганизмов в природных и техногенных сообществах



# Модельное представление микробного агрегата (биофленки)





- 1. Технологическая.** Исследование процесса биологической очистки сточных вод с анализом активности микроорганизмов биопленки или активного ила (ферментативной, дыхательной и т.п.)
- 2. Микробиологическая и молекулярно-биологическая.** Характеристика распределения микроорганизмов, участвующих в процессах биотрансформации субстрата - примесей сточной воды с идентификацией основных микробных групп (FISH, Quorum sensing, др.)
- 3. Химическая.** Характеристика полимерного матрикса микробного агрегата (биохимические и физико-химические показатели )

# Внешний вид активного ила в процессе осаждения (седиментации)



**без реагента**



**VTA Biokat P500**



**VTA Nanofloc A644**



**МОЛЕКУЛЯРНОЕ «УЗНАВАНИЕ»  
МИКРООРГАНИЗМОВ В СООБЩЕСТВАХ**

# ДНК – самая главная молекула





**Генные зонды** – рибосомальные (одноцепочечные) ДНК (от нескольких десятков до нескольких сотен и тысяч нуклеотидов), меченные каким-либо флуоресцирующим веществом

**ДНК-зонды** применяют для поиска родственных (комплементарных) ДНК; при этом ДНК-зонд включается в состав дуплекса (двухцепочечной молекулы) с образованием гибридизированной ДНК:  
**тест FISH (Fluorescence in situ Hybridization)**

*Примеры генных (ДНК)-зондов:*

для протеобактерий бета-группы **Bet42a**

(нуклеотидная последовательность GCCTTCCCACTTCGTTT;

флуоресцирующее вещество – Fluoreszein (**зеленый**) )

для культур *Nitrosomonas spp.* **Nmo254**

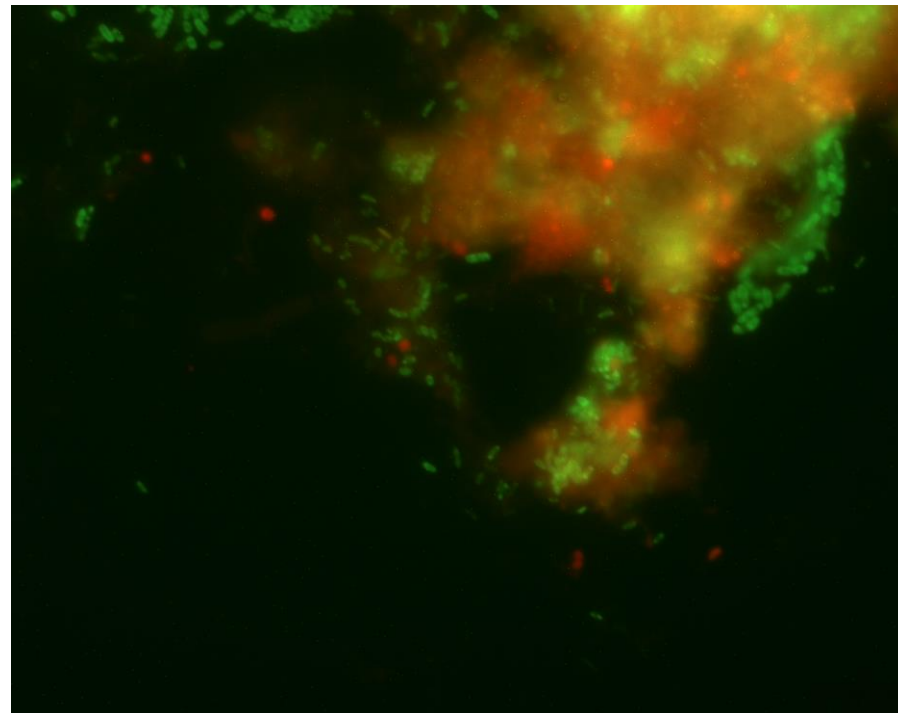
(нуклеотидная последовательность GTAGGCCGTTACCCGACC;

флуоресцирующее вещество – Texas-red (**красный**) )

# Микрофотографии определенных бактерий в составе сообществ (**FISH-анализ**)

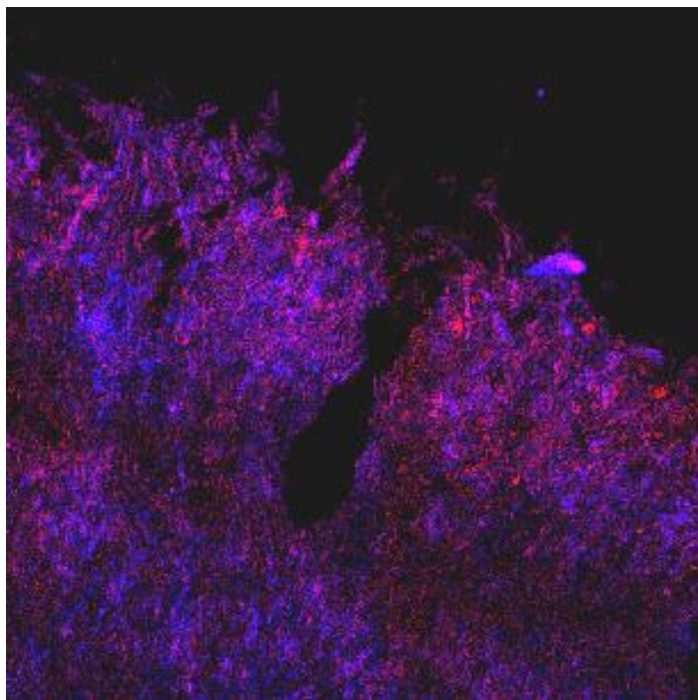


**DAPI** - окрашенные клетки

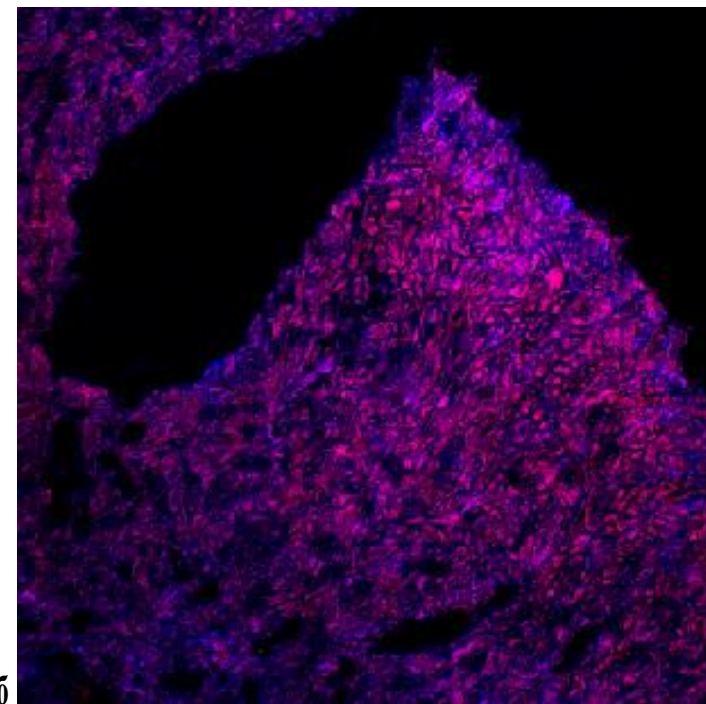


**FISH** протеобактерий бета-группы  
(генный зонд Bet42a,  
флуоресцирующее вещество  
Fluoreszein (**зеленый**) и  
нитрификаторов *Nitrosomonas spp.*  
(генный зонд Nmo254,  
флуоресцирующее вещество Texas-  
red (**красный**))

# Изображения края среза гранул толщиной 20 мкм из смеси чистых культур

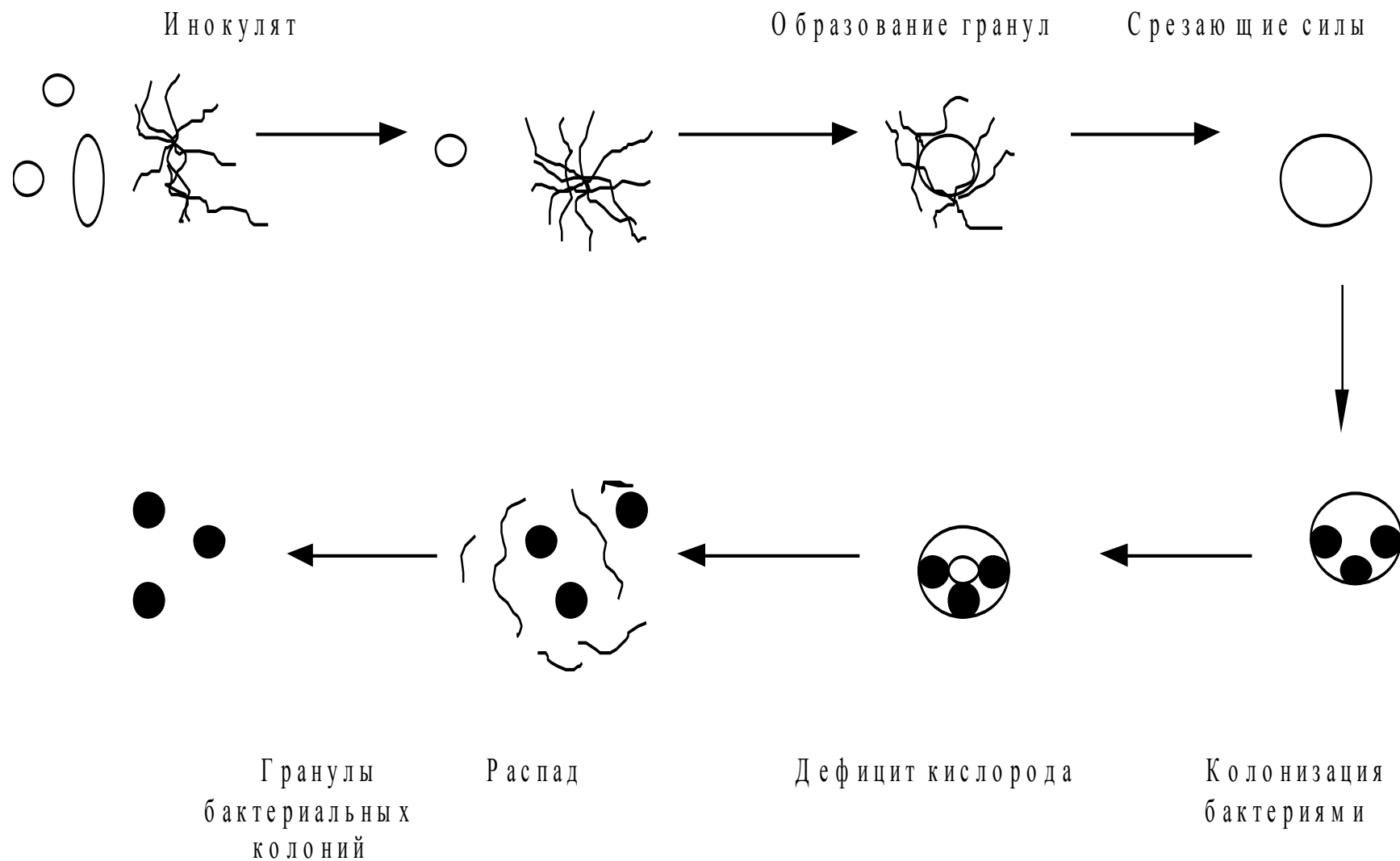


а



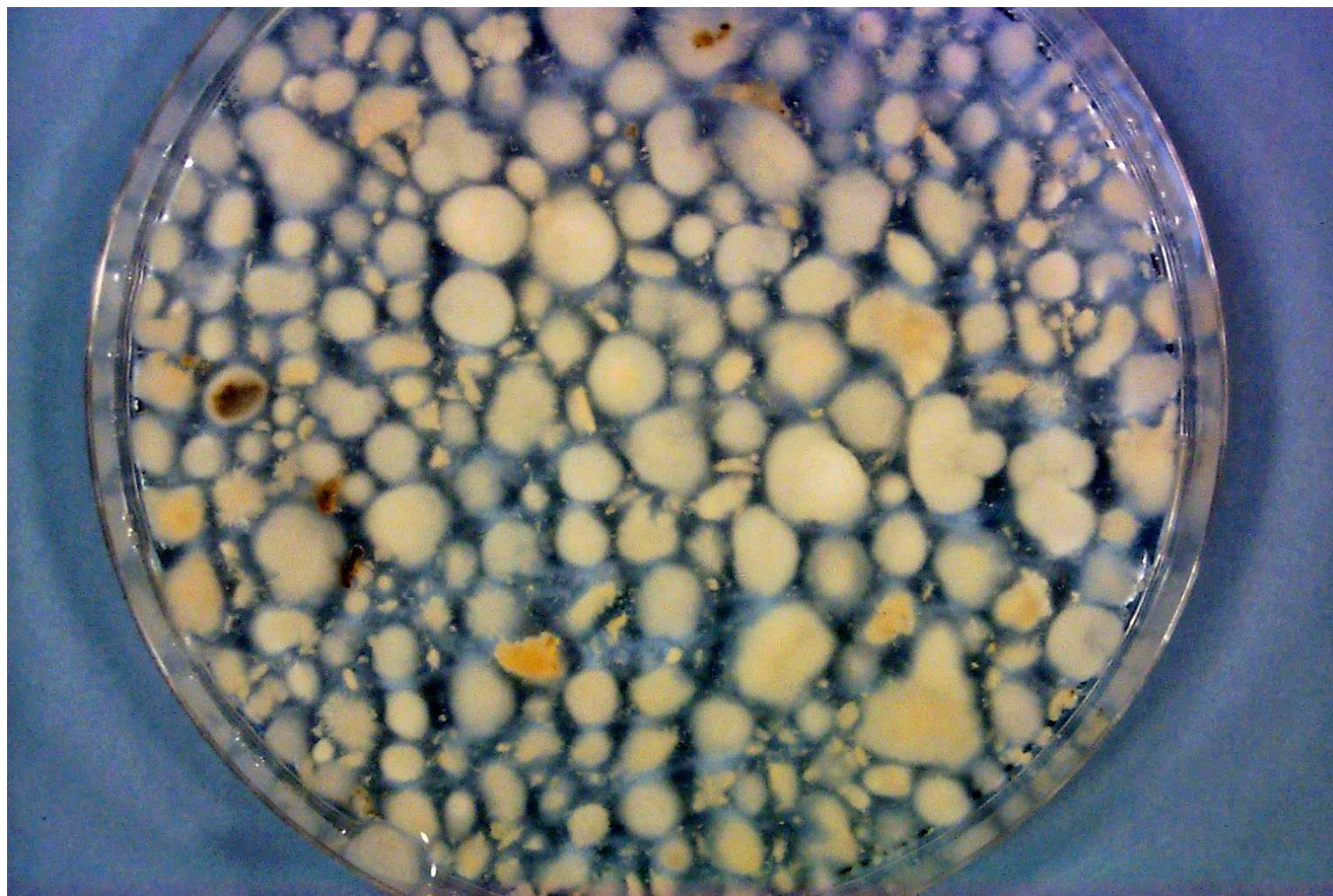
б

а – на второй; б – на третьей неделе эксперимента:  
клетки *S. natans* (синий сигнал специфического зонда Sna 23A,  
 $m = 0,27 \text{ ч}^{-1}$ ,  $K_s = 0,01 \text{ г/дм}^3$ );  
клетки *Z. ramigera* (красный сигнал специфического зонда Zora 1414,  
 $m = 0,248 \text{ ч}^{-1}$ ,  $K_s = 0,037 \text{ г/дм}^3$ )

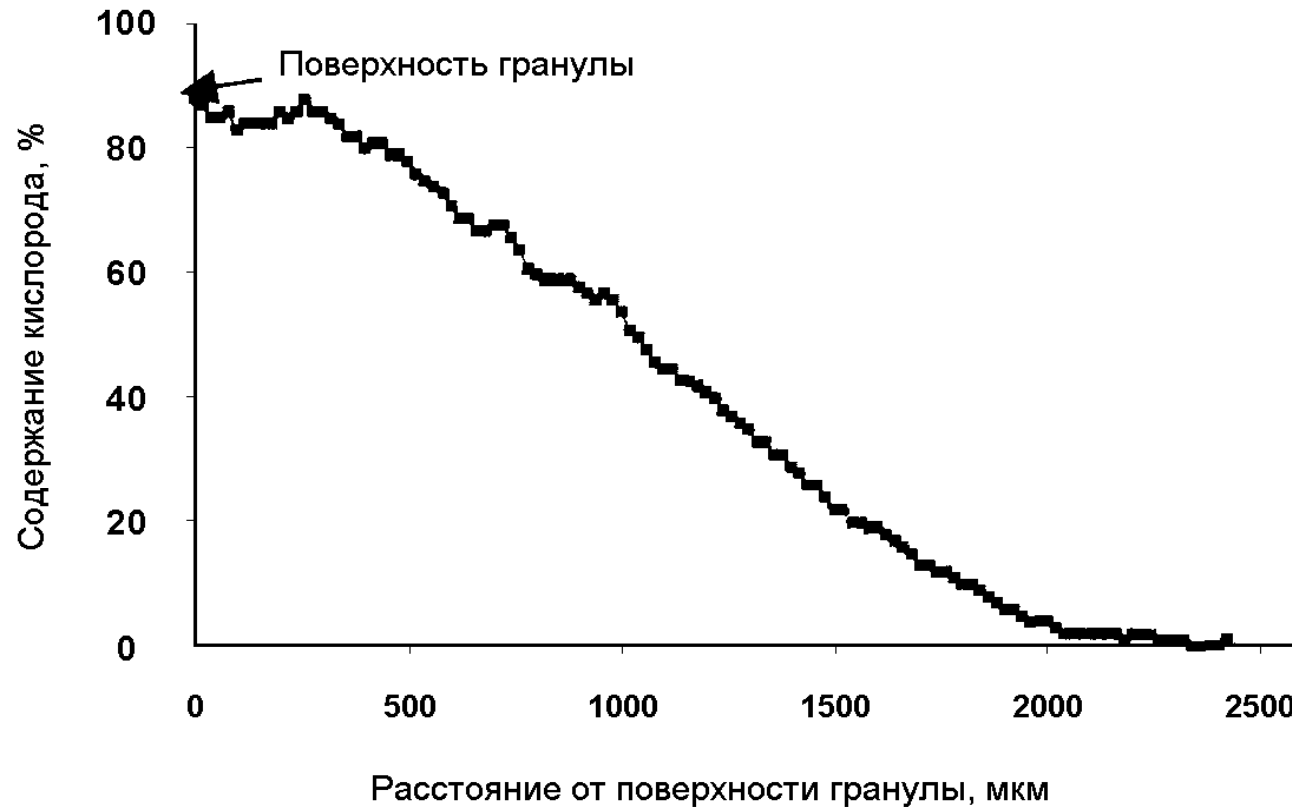




# Микробные гранулы активного ила (в чашке Петри диаметром 9 см)



# Содержание кислорода в микробной грануле диаметром 5 мм



Справедливо при

$$D=1,5-1,85 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\mu=0,6 \text{ ч}^{-1}$$

$$K_{mc}=0,5 \text{ мг/дм}^3$$



**БИОНАНОСОРБЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ  
В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД**

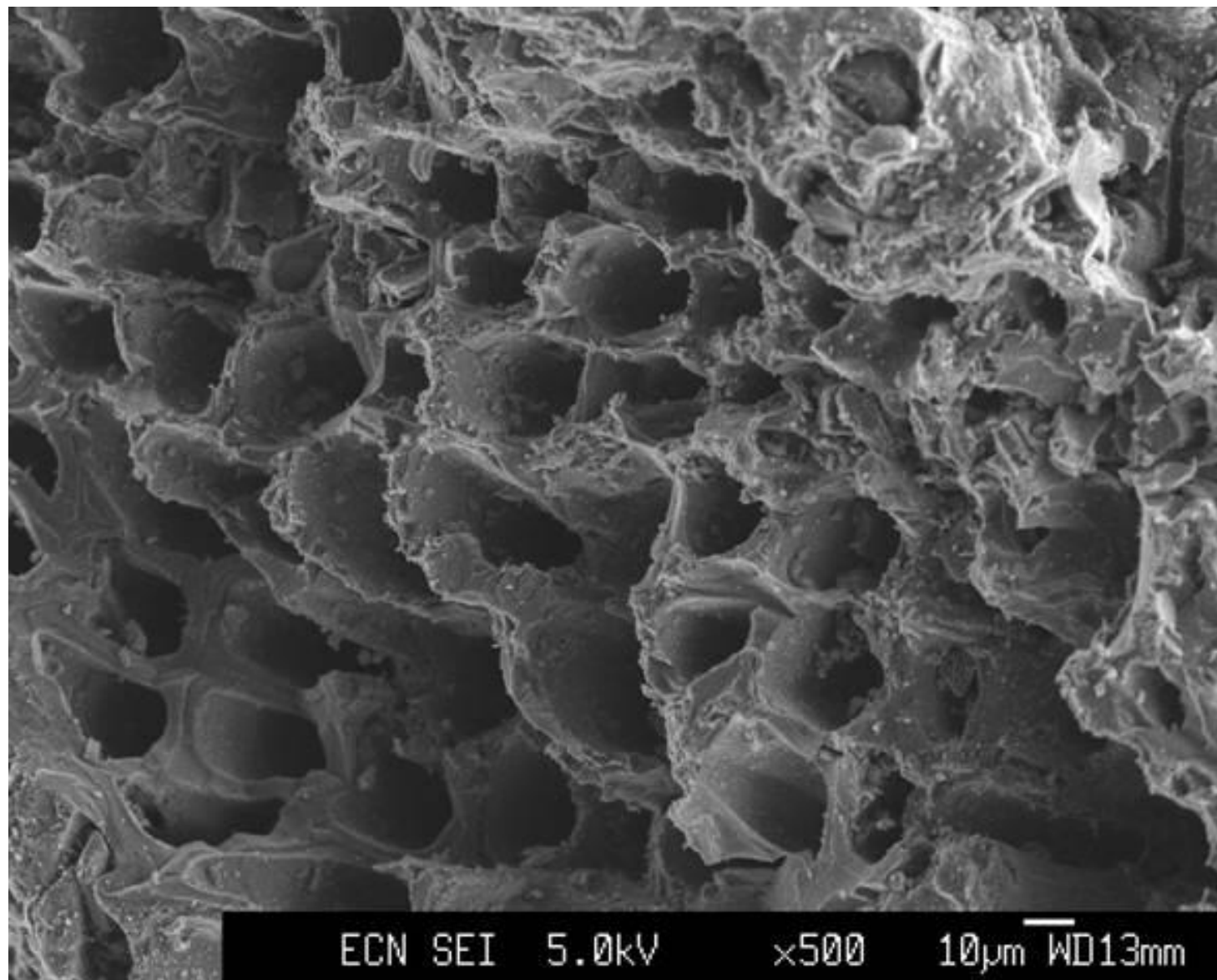
# Биопленка на поверхности частиц золы ( $\times 100$ )



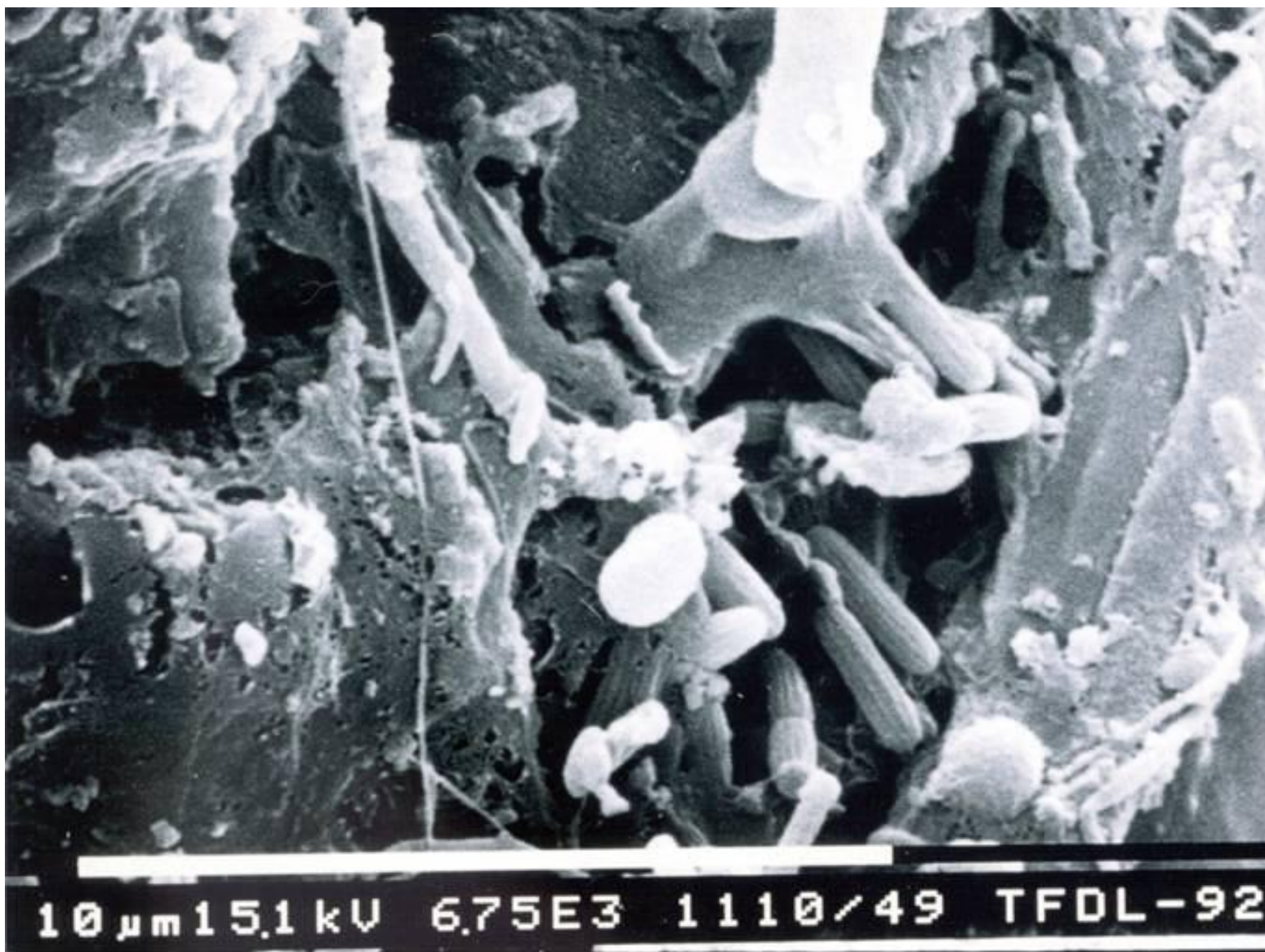
Время культивирования – от 2 до 3 недель  
Толщина биопленки - от 0,016 до 0,08 мм



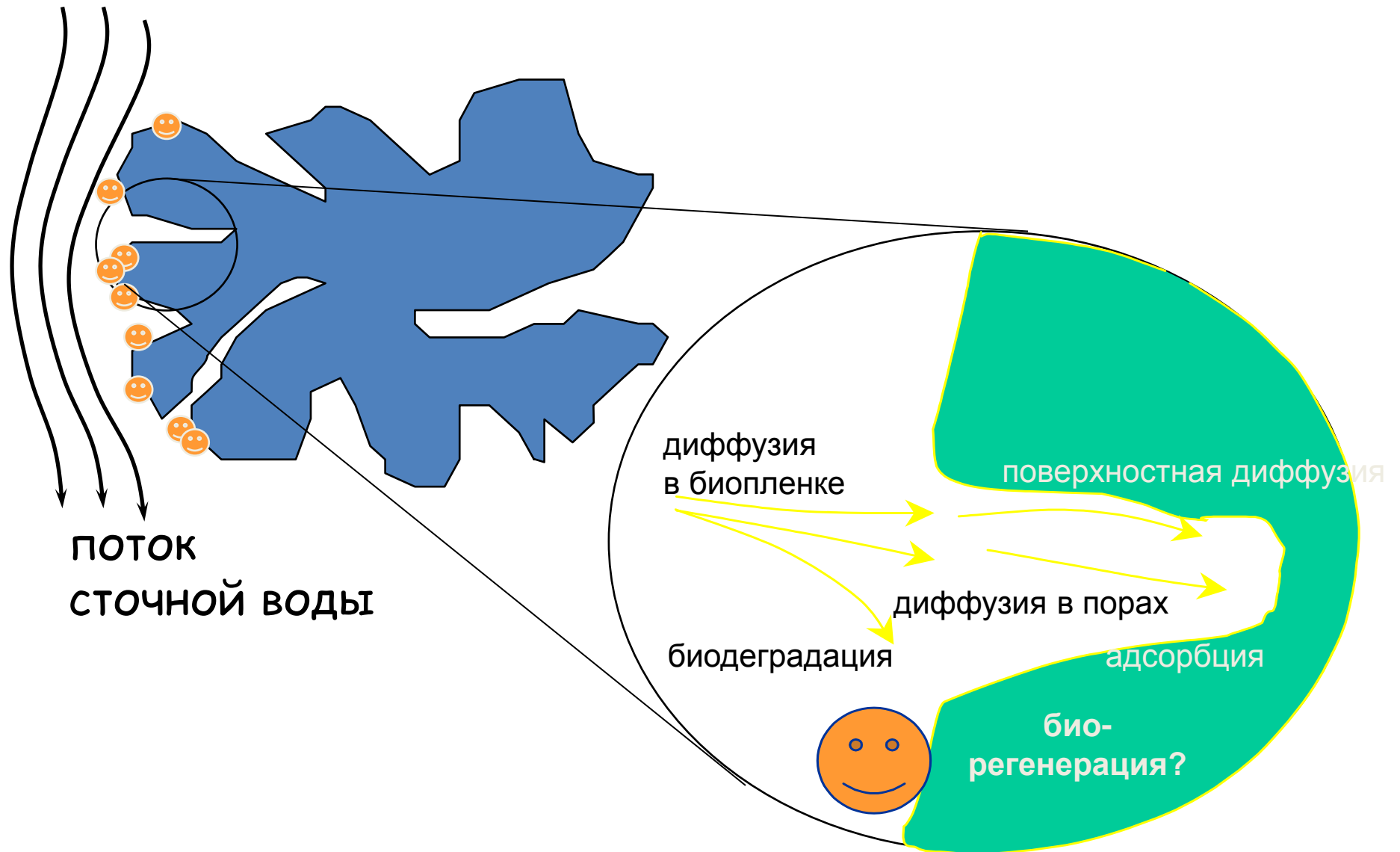
# Пористая структура древесного активированного угля (из работы Jos Voere, компания NORIT Nederland B.V.)



# Микробные клетки на поверхности активированного угля (из работы Jos Voere, компания NORIT Nederland B.V.)

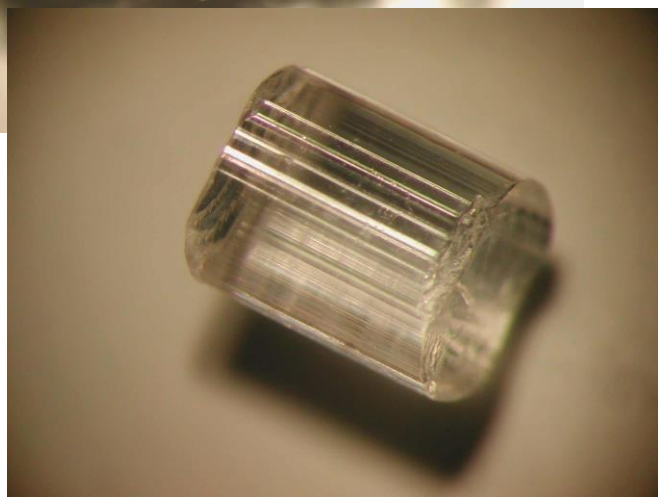
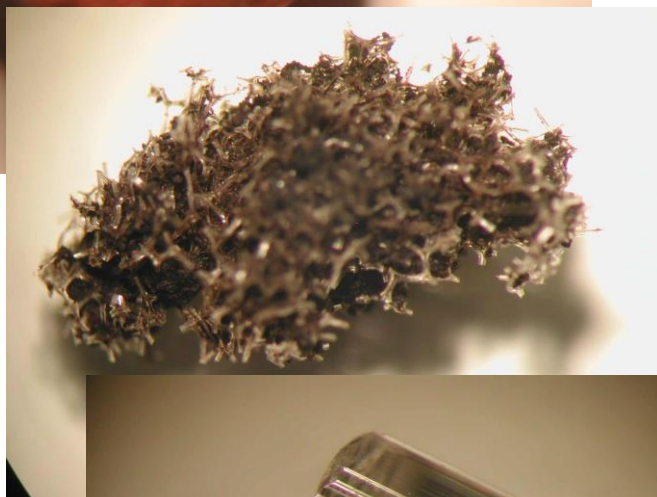


# Схематичное представление удаления примесей из сточных вод в процессах **бионаносорбции**





# Исследование процесса биофильтрации сточных вод: лабораторная установка и материалы-носители биопленки







## Удельное количество биомассы

Фильтрующий материал	Удельное количество биомассы, мг/г (см <sup>3</sup> )
Керамзит	20,75
Полиэтиленовые гранулы	7,54
Углеродсодержащее волокно	20,43

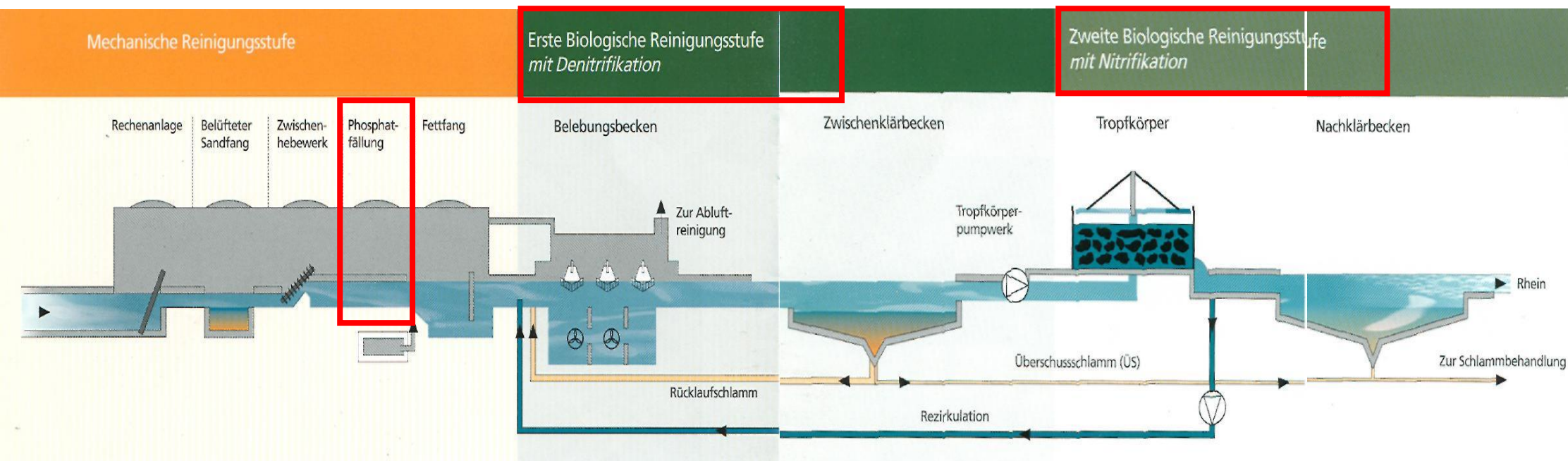
# Эффекты и технологические преимущества биосорбционной очистки сточных вод

Адсорбент	Предполагаемый механизм взаимодействия с микроорганизмами и активного ила	Эффекты, достигаемые при использовании сорбентов
ЦСП	адсорбция на поверхности и в крупных порах, электростатическое взаимодействие	более эффективные процессы нитрификации, стабильность работы в «залповых» режимах
ПАУ	адсорбция на поверхности	эффективное удаление органических веществ, стабильность работы в «залповых» режимах
Зола ТЭЦ	адсорбция на поверхности, электростатическое взаимодействие	улучшение седиментационных свойств, стабильность работы при пуске БОС



**НАНОРЕАГЕНТЫ  
ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

# Схема биологической очистки сточных вод с предварительной реагентной дефосфотацией



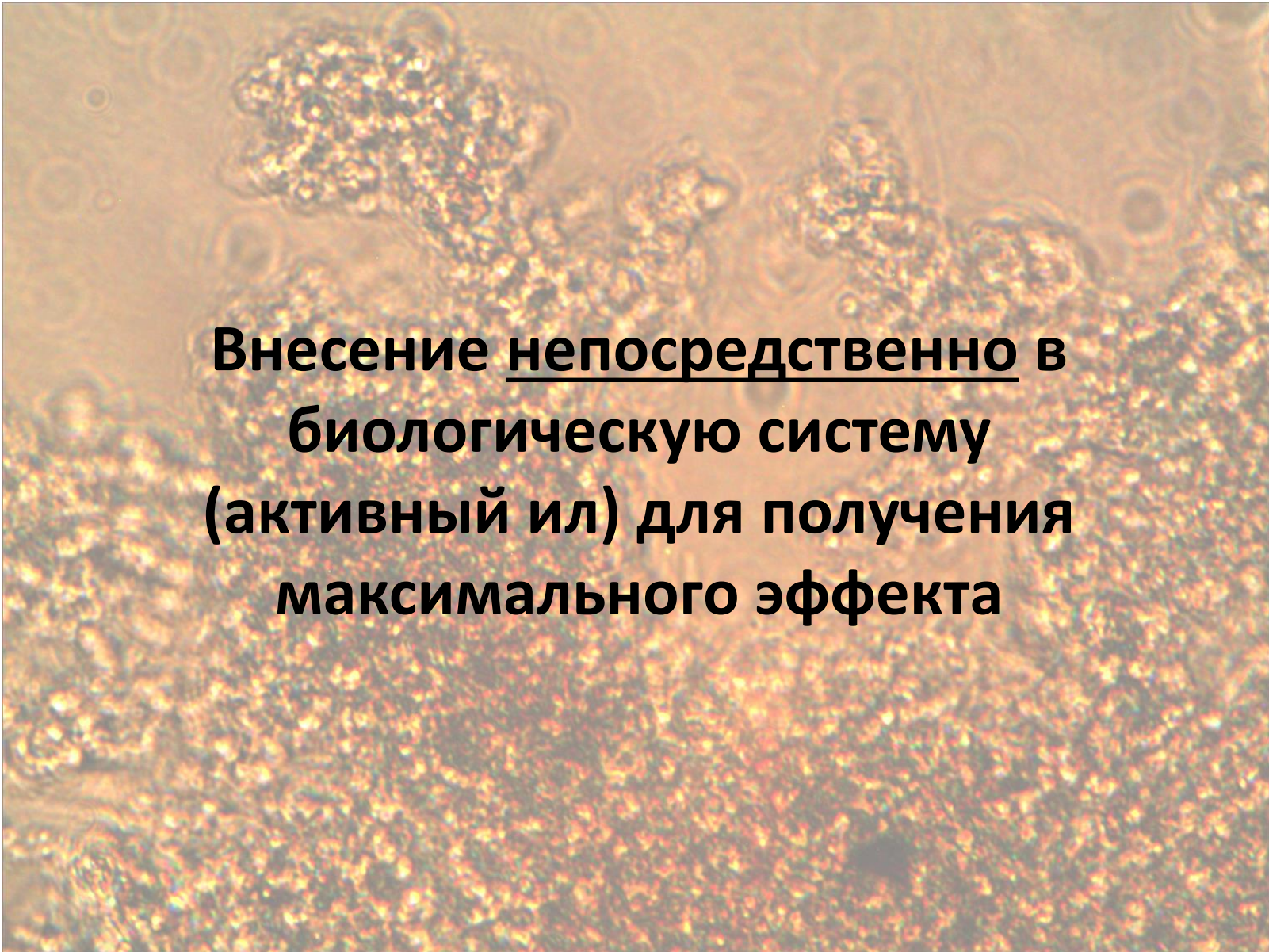
Реагентная очистка последовательно дополняет биологическую очистку сточных вод (до или после неё)

Реагенты - коагулянты:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}(\text{Cl})_2$

флоккулянты: полиакриламид (Праестол)

и другие





**Внесение непосредственно в биологическую систему (активный ил) для получения максимального эффекта**



# Состав реагентного препарата VTA Biokat P 500 (согласно паспорту безопасности)

## РАЗДЕЛ 3: Состав/информация об ингредиентах

### 3.2. Смеси

#### Опасные компоненты

№ ЕС	Химическое наименование	Количество
№ CAS	Классификация	
Индексный №	Классификация согласно Всемирной гармонизированной системе информации по безопасности химической продукции (ВГС)	
№ REACH		
215-477-2	Полиалюминия гидроксихлорид	≤40 %
1327-41-9	Xi – Раздражающее вещество R36/38 Раздражает слизистую оболочку глаз 2, Раздражает кожу 2; H319 H315	
01-2119531563-43		
231-843-4	Хлорид железа (II)	≤30 %
7758-94-3	Xn – Вредно для здоровья, Раздражающее вещество R22-36/37/38 Острая токсичность 4, Раздражает кожу 2, Повреждение глаз 1; H302 H315 H318	
01-2119498060-41		
	Эпихлоргидрин-диметиламин сополимер	≤25 %
42751-79-1	R52-53	



# Эффективность совместной реагентной и еНано биологических процессов очистки сточных вод\*

По взвешенным веществам: **более чем в 4 раза** (3,0 мг/л против 12-13 мг/л в очищенной воде)

По фосфатам: **более чем в 10 раз**  
(1,0 мг/л против 10-13 мг/л в очищенной воде)

По нитритам **более чем в 4 раза** (3,0 мг/л против 12,6 мг/л в очищенной воде)

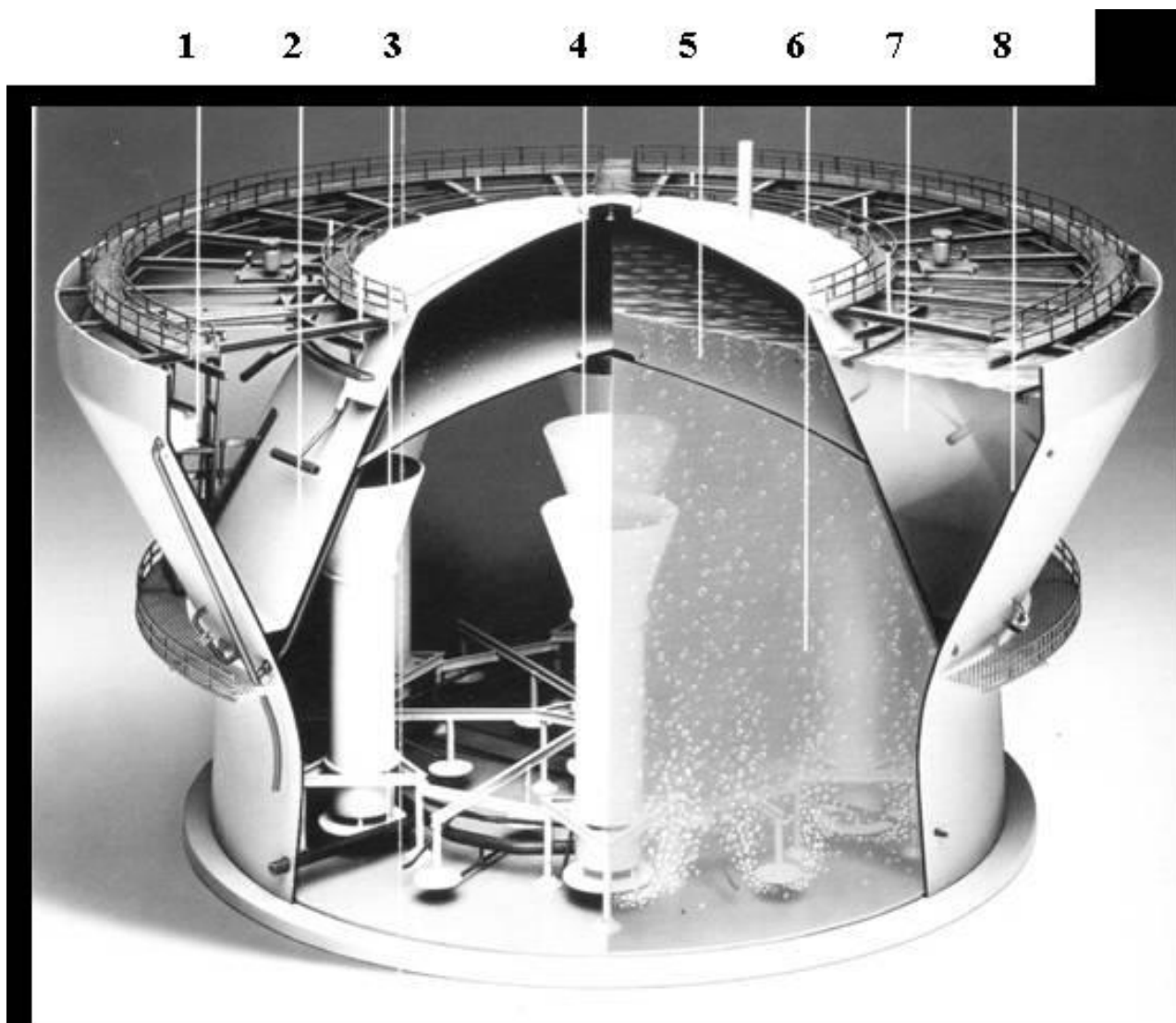


\* По результатам более чем 2-х месячных промышленных испытаний реагента VTA Биокат Р500 на БОСК г. Чистополь, Республика Татарстан, в октябре-ноябре 2013 года



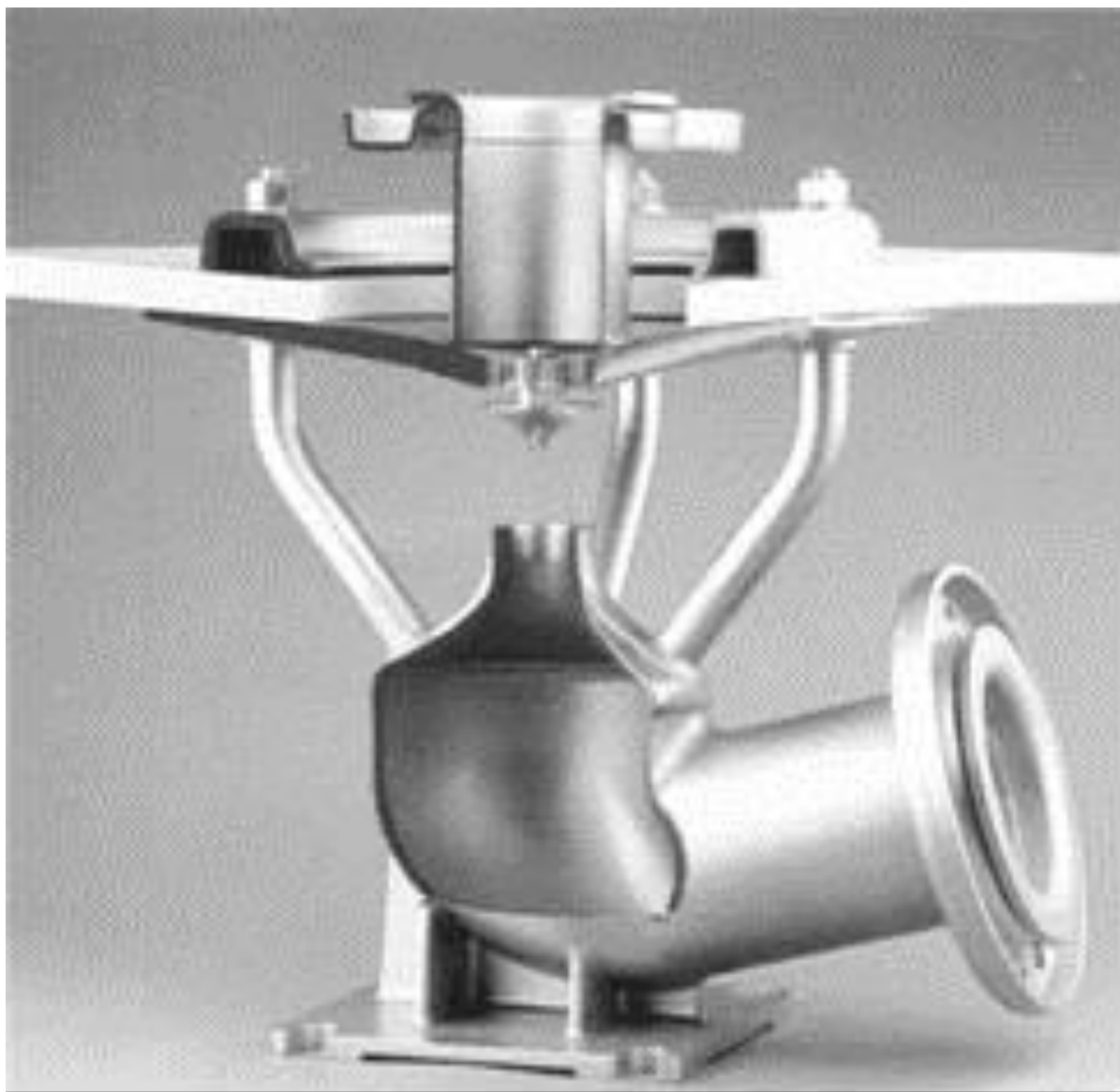
**НАНОДИСПЕРГИРОВАНИЕ ВОЗДУХА  
ДЛЯ АЭРАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД**

# Башенный реактор для биологической / совместной очистки сточных вод



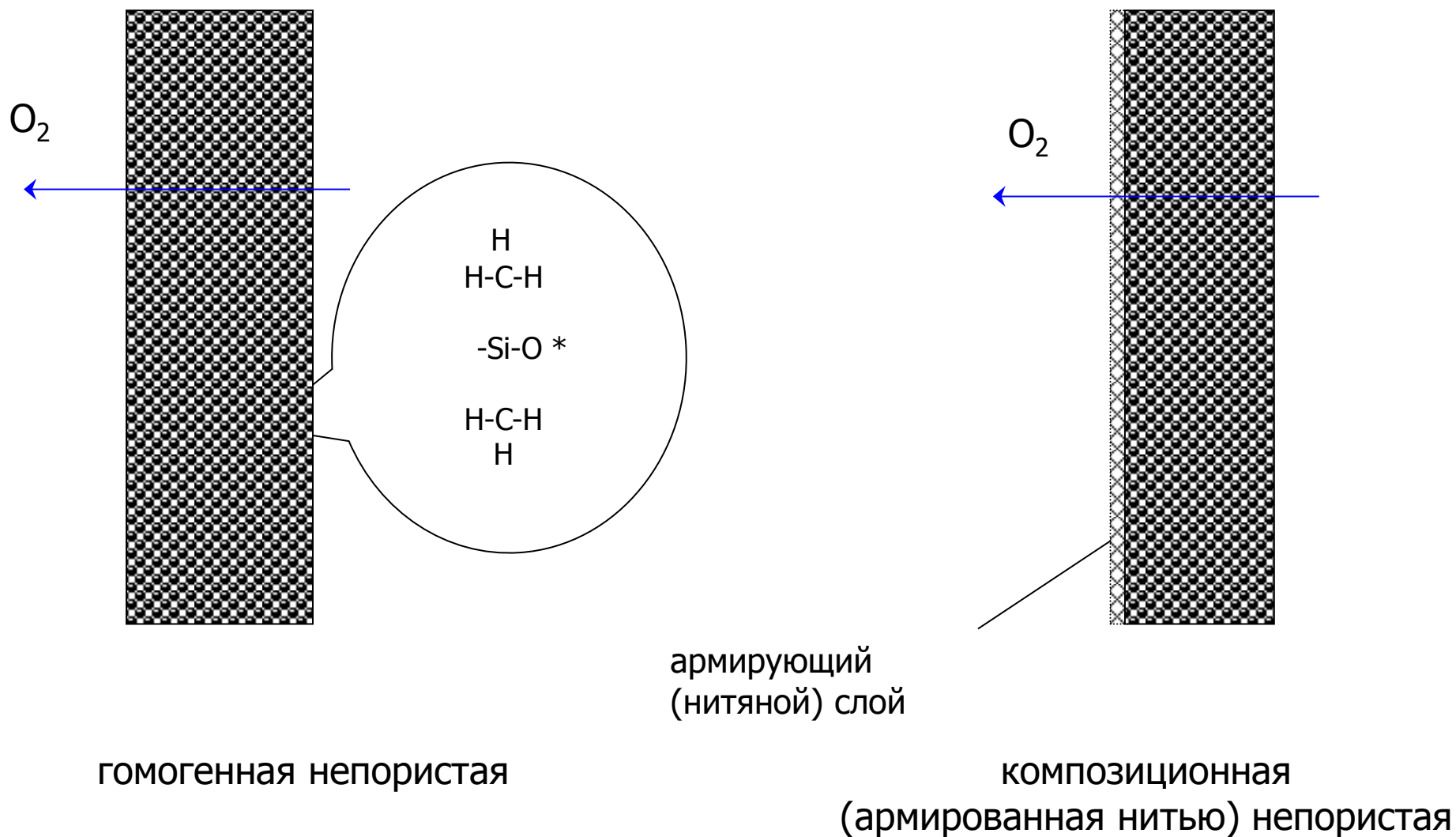
- 1-круговой лоток для очищенной воды
- 2-зона отстаивания очищенной воды
- 3-инжекторы для подачи воздуха
- 4 – диффузоры
- 5-камера успокоения и дегазации
- 6-камера аэрации
- 7-очищенная вода
- 8-активный ил

# Инжектор башенного биореактора





# Растворенный кислород – лимитирующий фактор очистки и энергосбережения процесса аэробной очистки сточных вод



\* концевые группы могут быть органо-, гидрокси- или водородными группами



# eНано

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ  
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

[asirotkin66@gmail.com](mailto:asirotkin66@gmail.com)  
[www.kstu.ru](http://www.kstu.ru)

Сироткин Александр Семенович

 117036, г. Москва, проспект  
60-летия Октября, 10А,  
 Тел.: +7 495 988 53 88  
 E-mail: [info@edunano.ru](mailto:info@edunano.ru)  
 [www.edunano.ru](http://www.edunano.ru)