



ОАО «МосводоканалНИИпроект»



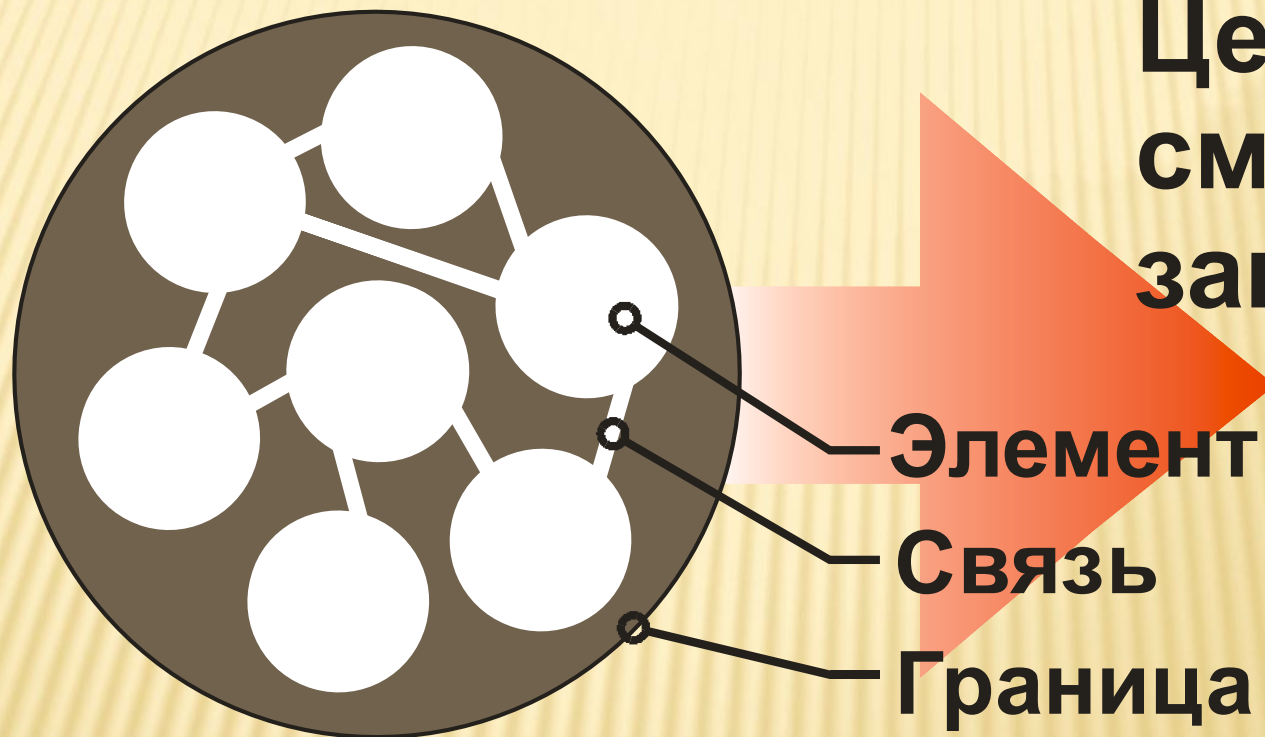
АКТИВНЫЙ ИЛ КАК УПРАВЛЯЕМАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Пупырев Е.И., Шеломков А.С., Захватаева Н.В.

ОАО «МосводоканалНИИпроект»,
105005, Россия, г. Москва, Плетешковский пер., 22
(E-mail: post@mvkniipr.ru)



СИСТЕМА



**Цель,
смысл,
закон**

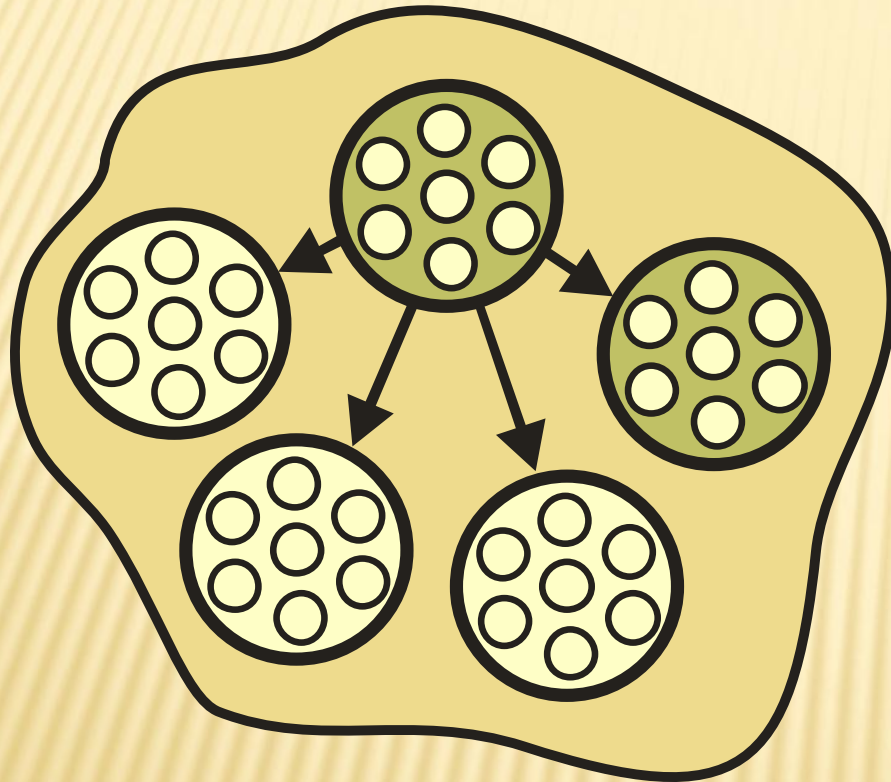
Элемент

Связь

Граница

Система - это взаимосвязь элементов, объединенных в единое целое, когда все зависимы друг от друга и имеют единую цель или смысл существования

СЛОЖНАЯ СИСТЕМА



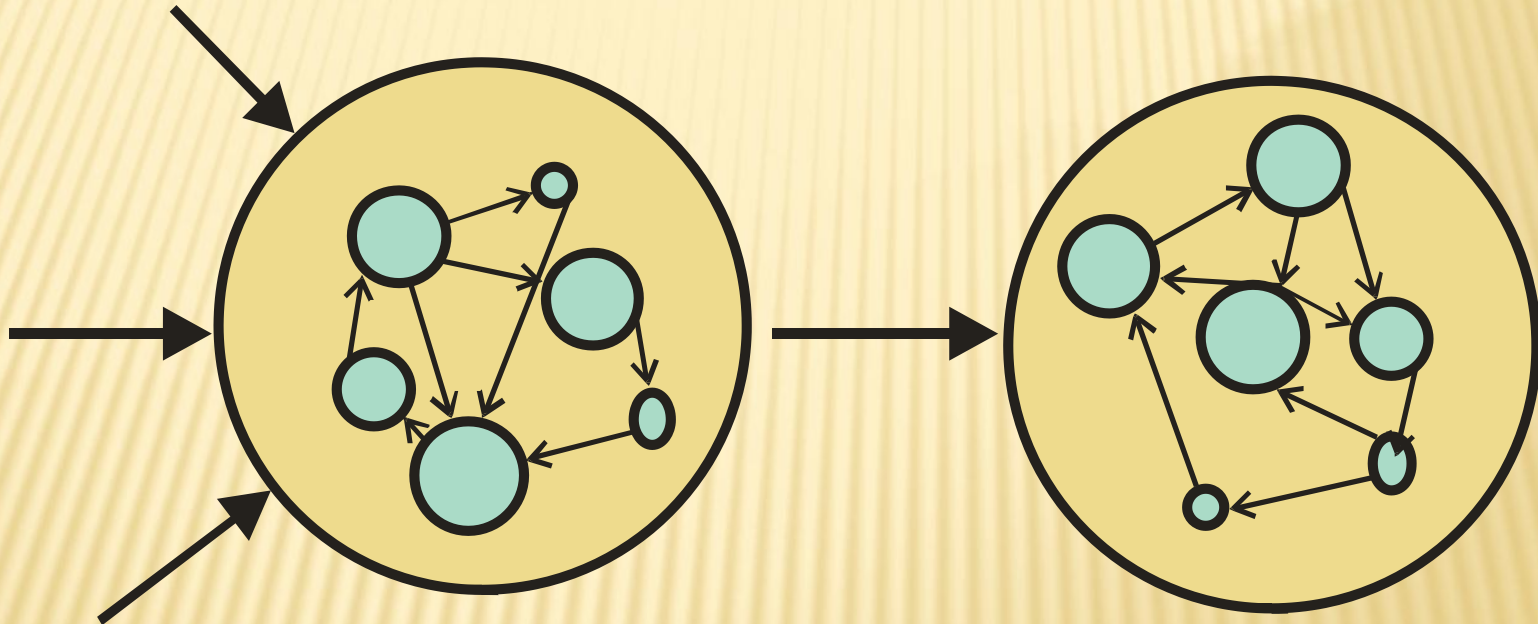
Подсистемы

**Иерархия,
упорядоченность**

В целом система обладает качествами и способностями, которыми не обладает ни один из её компонентов в отдельности



Система открыта потокам вещества, энергии, информации, но она организационно замкнута, т.е. в пределах определённой границы сохраняет свою целостность



**Окружающая среда влияет на систему и система, в свою очередь, влияет на окружающую среду
Результатом такого взаимодействия является внутренняя перестройка взаимосвязей между компонентами системы, при этом главное для системы – сохранить свою организацию, целостность**

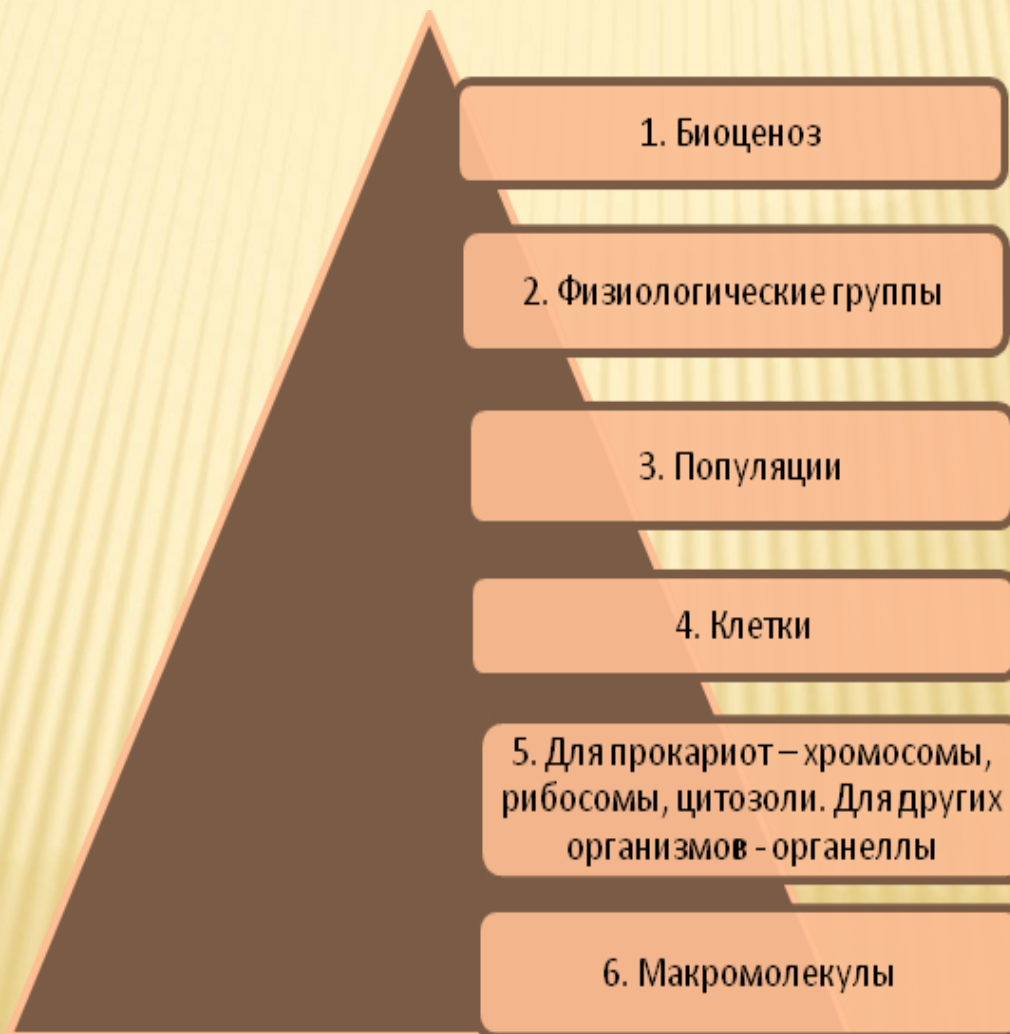


Базовые принципы, характеризующие систему

- ❑ **Взаимозависимость** – поведение каждого члена системы зависит от поведения многих других
- ❑ **Циклическая природа** – обратные связи и обезвреживание отходов, нелинейность построения; открытость к потокам энергии, информации
- ❑ **Партнёрство** – непрерывное сотрудничество, тенденции объединяться, устанавливать связи
- ❑ **Гибкость и разнообразие** – адаптивность к изменениям; устойчивость к стрессам; способность взаимозамены. Следствием этого является устойчивость в кризисных ситуациях

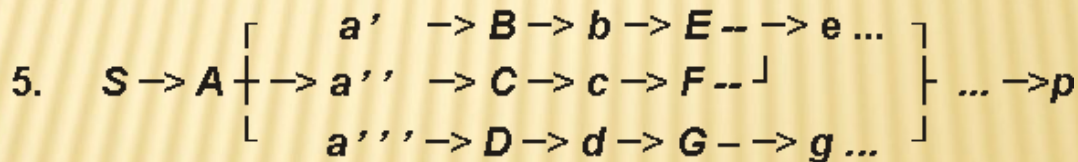
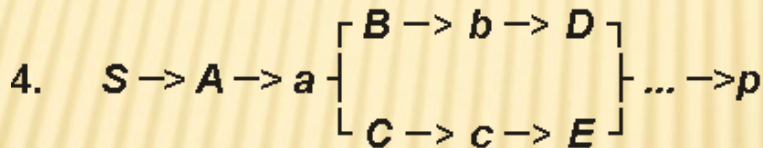
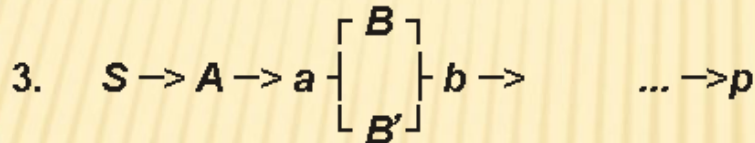
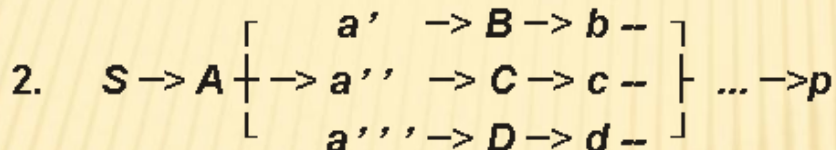


Уровни организации биоты активного ила как системы





Пути метаболизма в сообществе, превращающем субстрат **S** в продукт **p** для организмов **A, B, C, D...** и образуемых ими промежуточных продуктов **a, b, c, d....**



- 1 - простая трофическая цепь;
- 2 - образование разных продуктов;
- 3 - конкуренция за общий субстрат физиологически сходных организмов;
- 4 - конкуренция между организмами, образующими разные продукты;
- 5 - комбинация с использованием разных промежуточных продуктов и промежуточным образованием сходных продуктов видами *E* и *F*.



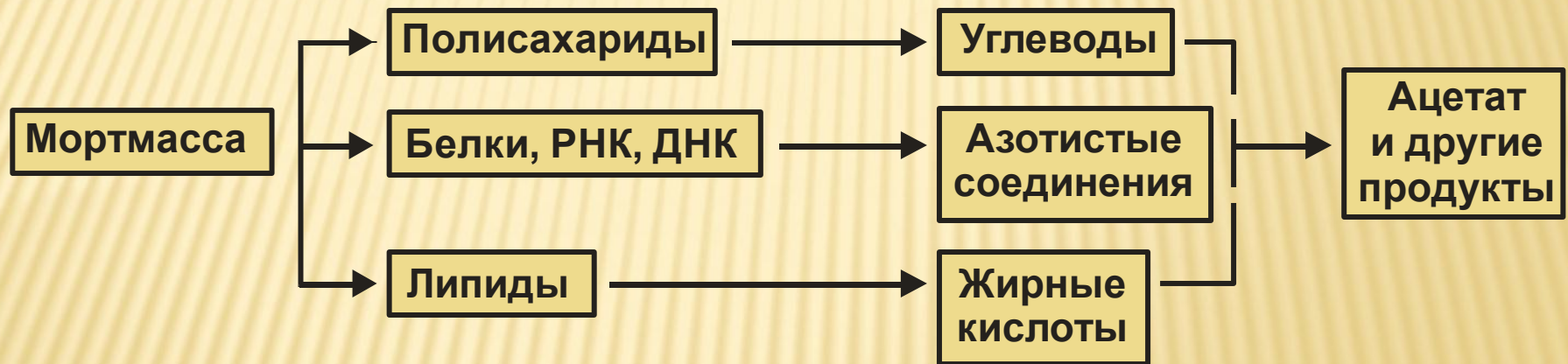
Содержание микроорганизмов различных родов в илах, адаптированных к алифатическим и ароматическим соединениям

Вещество, к которому адаптированы илы	Микроорганизмы родов							
	Actino-mycetes	Bacil-lus	Bacte-rium	Chromo-bacterium	Мыco-bacterium	Micro-coccus	Pseudo-monas	Sarcina
Метанол	+	-	+	-	+	-	+	-
н-Пропанол	+	-	-	-	+	-	+	+
Гептанол	+	+	-	+	+	+	+	+
Изопропанол	+	-	+	-	-	+	+	-
Пропиленгликоль	-	+	-	+	-	+	+	-
Пропионовый альдегид	+	-	-	-	+	-	+	+
Пропионовая кислота	-	-	+	-	-	+	+	-
Бензиловый спирт	+	+	-	+	+	-	-	-
Бензальдегид	+	+	-	-	-	-	+	+
Резорцин	+	+	+	-	-	+	+	-
Пирокатехин	+	+	-	-	+	+	+	+



Начальные этапы деструкции мортмассы

Отмершие клетки микроорганизмов (твёрдая фаза), всегда присутствующие в активном иле, являются многокомпонентными субстратами для бактерий гидролитиков

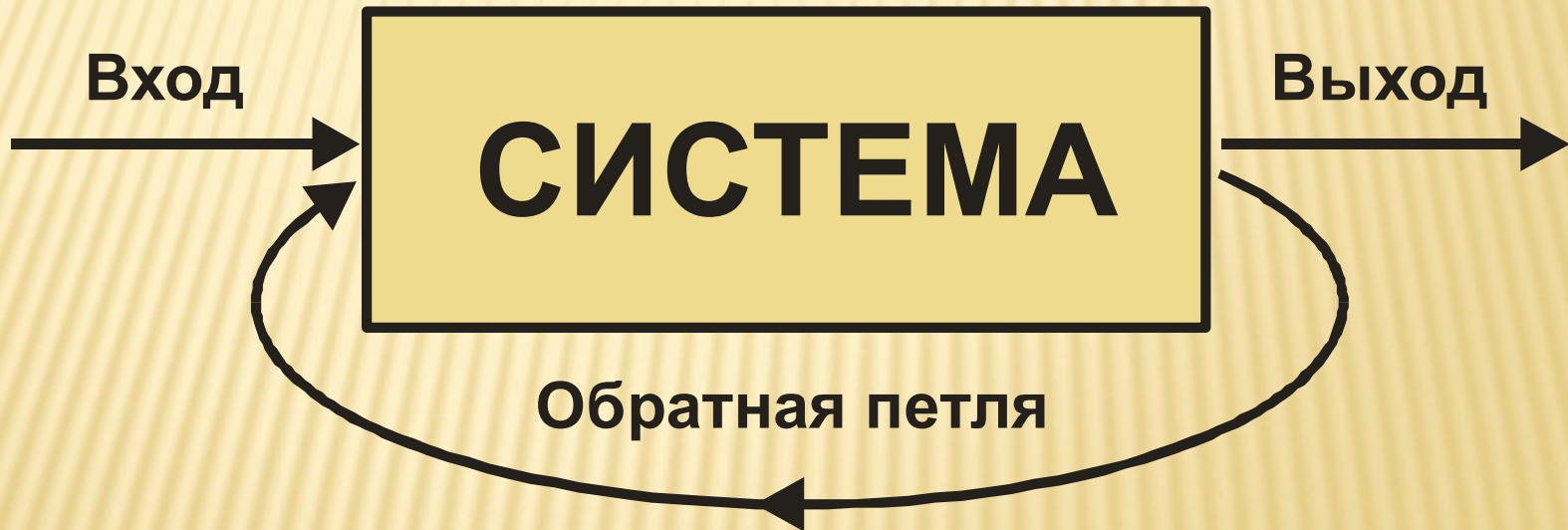


Начальные этапы деструкции - появление вместо индивидуальных полимеров унифицированных мономеров



Обратная связь в биоценозе

Активный ил - это живая самоорганизующаяся и саморегулирующаяся система, управление в которой основывается на обратной связи, изображаемой обратной петлей, по которой часть сигналов с выхода системы поступает обратно на ее вход



Пример - пищевые цепочки, где удаление продуктов обмена одних микроорганизмов другими способствует росту первых без ингибирования



Формула Михаэлиса-Ментен

$$V = V_{max} \cdot \frac{[S]}{K_s + [S]}$$

- закон, описывающая удельные скорости окисления субстрата, действующий на уровне макромолекул, или ферментов (6-ой уровень)

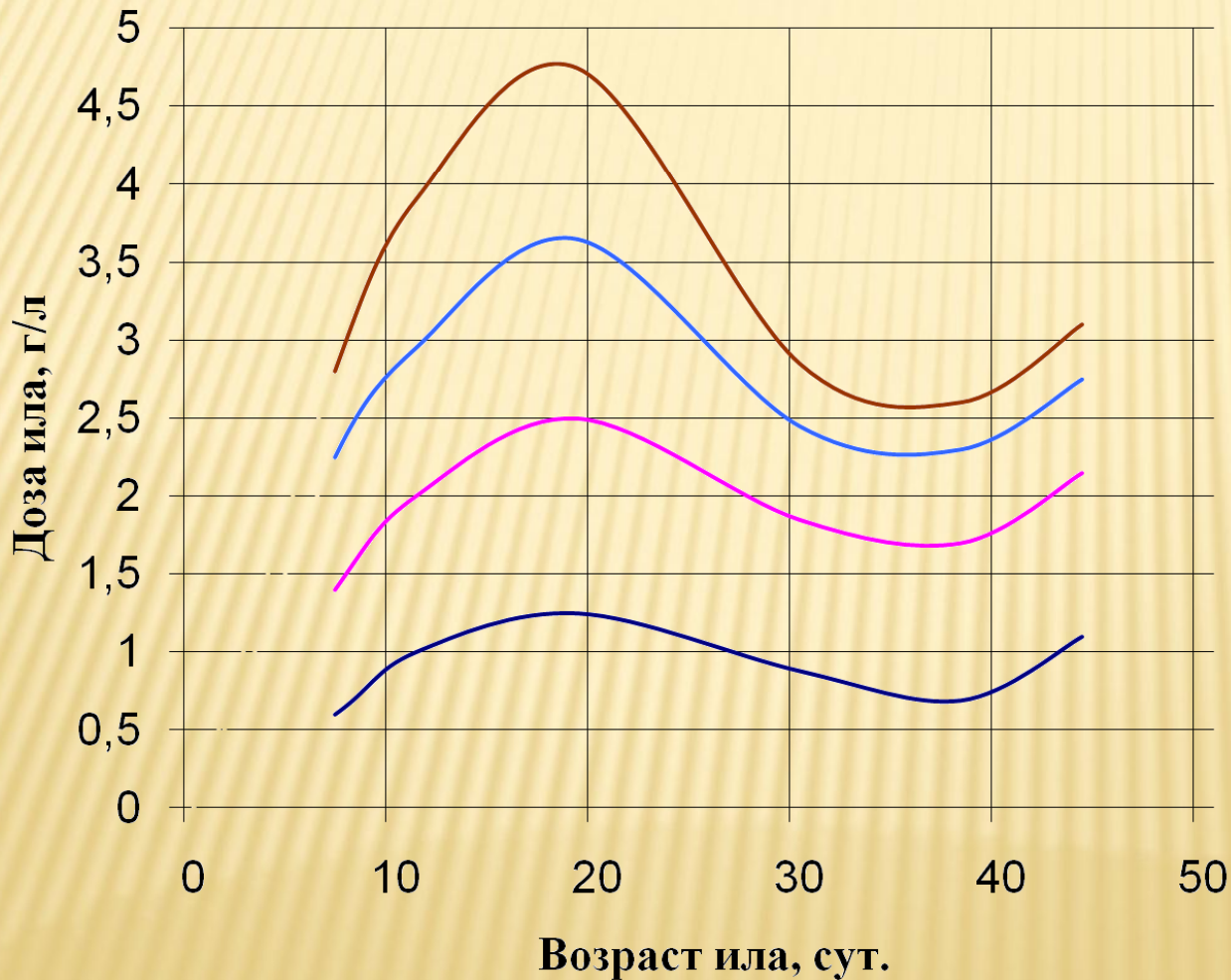
Формула Моно

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$

- закон, описывающий скорость роста микроорганизмов, применим на уровне популяции (3-й уровень)



Зависимость дозы ила от его возраста



При ОМ = 400 мгХПК/л сут

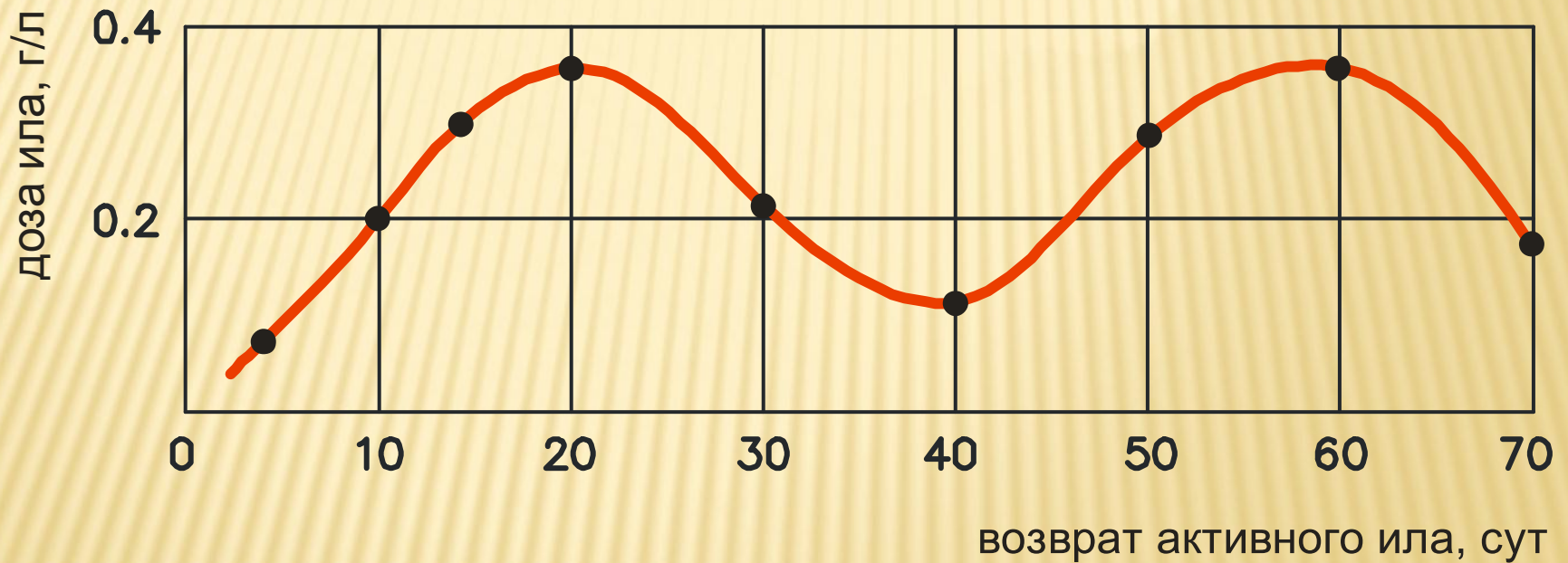
При ОМ = 300 мгХПК/л сут

При ОМ = 200 мгХПК/л сут

При ОМ = 100 мгХПК/л сут



Зависимость дозы нитрифицирующего ила от его возраста





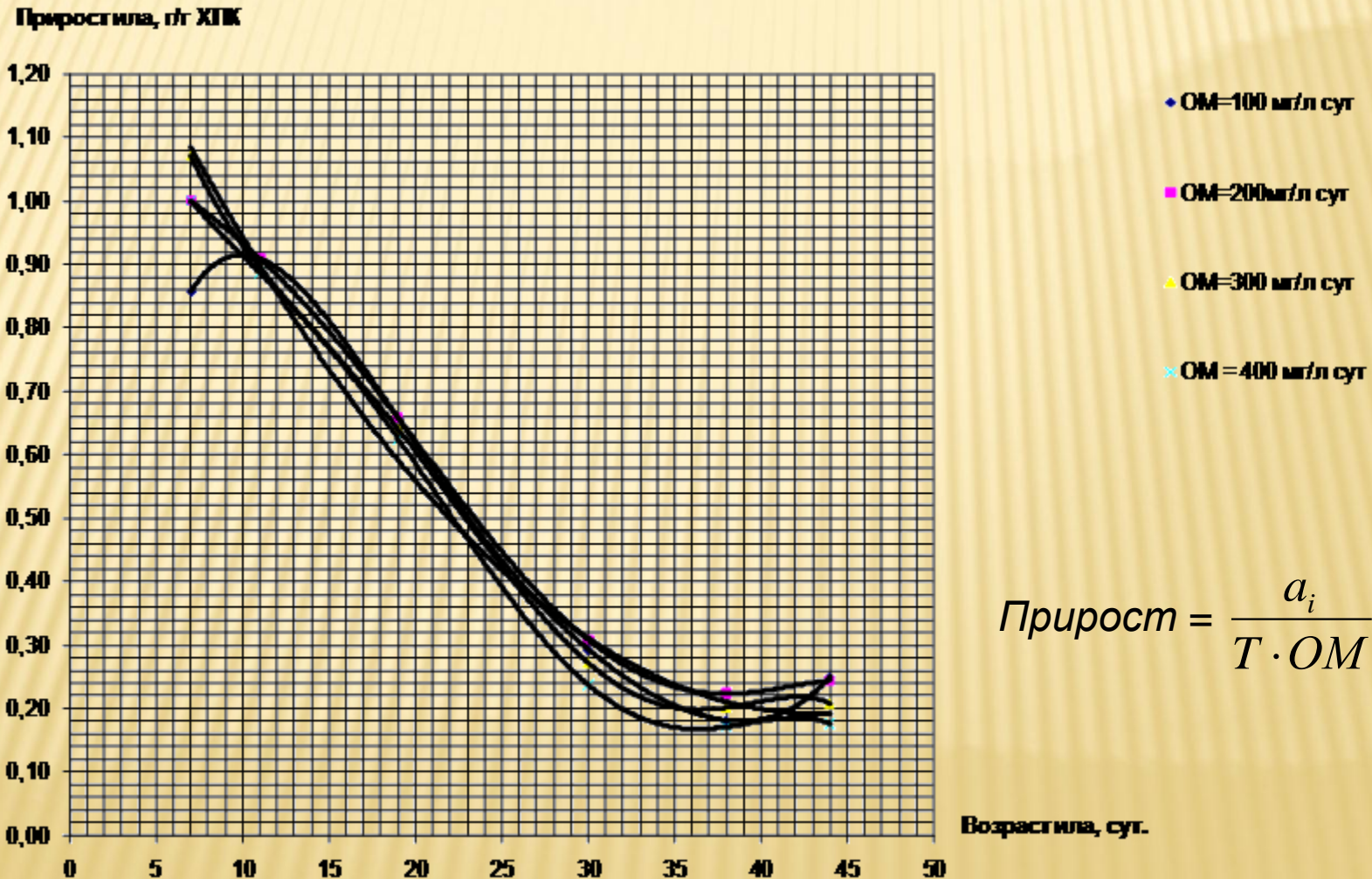
ОАО «МосводоканалНИИпроект»



№ п/п	Возраст ила (сут.)	Окислительная мощность, ОМ (гХПК/м ³ *сут)	Доза ила а _i (г/л)	Прирост ила (г/гХПК)	Прирост ила (г/л*сут)	Прирост ила, в % к п.1
1	6,5	100	0,7	1,07	0,107	100
		200	1,4	1,075	0,215	100
		300	2,15	1,1	0,330	100
2	11	100	1,0	0,9	0,09	84
		200	2,0	0,9	0,18	83,7
		300	2,95	0,89	0,268	81,2
3	19	100	1,25	0,66	0,066	61,7
		200	2,5	0,65	0,13	60,5
		300	3,65	0,64	0,192	58,1
4	30	100	0,9	0,3	0,03	28,03
		200	1,85	0,3	0,06	27,9
		300	2,45	0,273	0,082	24,85
5	42	100	1,1	0,26	0,026	24,3
		200	2,1	0,25	0,05	23,25
		300	2,8	0,223	0,067	20,3



Прирост активного ила в зависимости от его возраста





Потребление энергетического субстрата складывается из двух типов процессов:

- 1 - связанных с ростом и размножением микроорганизмов
- 2 - связанных с затратами на поддержание жизни

m - размер трат энергетического субстрата на поддержание жизни без размножения определяется процессами, требующими затрат энергии на обновление структур, осмотическую работу, связанную с поддержанием градиента концентрации веществ между клеткой и средой, подвижностью, репарацией возможных повреждений

$Y_{\text{рост}}$ - ростовой экономический коэффициент имеет чёткий физический смысл, характеризующий степень перехода энергии, заключённой в субстрате, в биомассу

$$\frac{1}{Y} = \frac{1}{Y_{\text{рост}}} + \frac{m}{\mu} \quad \mu = \frac{1}{\tau} \quad \frac{1}{Y} = \frac{1}{Y_{\text{рост}}} + m\tau$$

где μ - удельная скорость роста биомассы

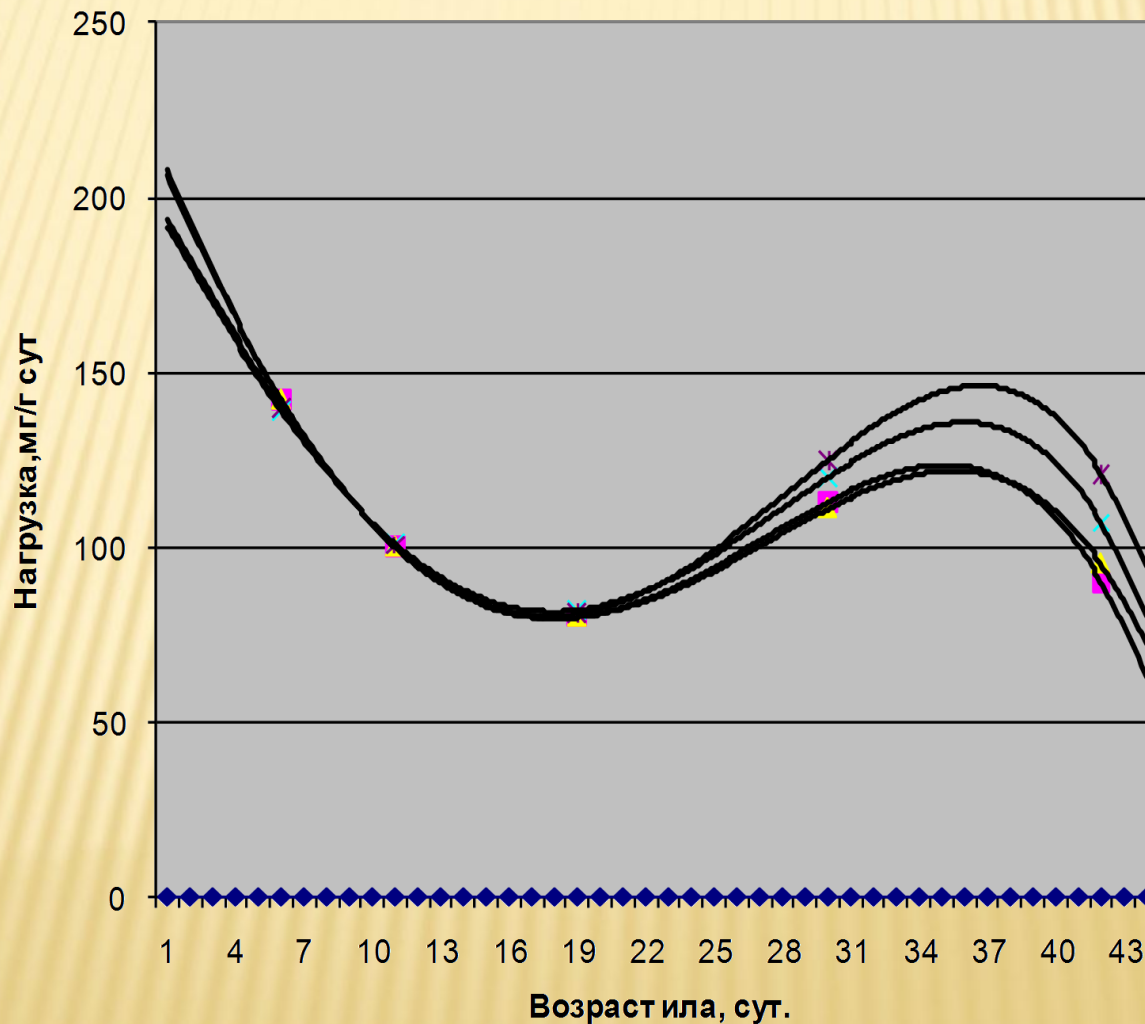


Траты на поддержание

Возраст ила	m
6,5	0,0354
11	0,0370
19	0,0464
30	0,0876
42	0,0785



Зависимость нагрузки от возраста ила





Возраст ила, прирост и нагрузка на активный ил, а другими словами удельная скорость роста, экономический коэффициент и удельная скорость окисления – взаимосвязаны и жёстко связаны

Определённой скорости роста активного ила соответствует строго определённый удельный прирост и удельная скорость окисления субстрата



Взаимосвязь возраста ила, удельного прироста и нагрузки на активный ил

Возраст ила, сут.	Прирост, г/г ХПК сут.	Нагрузка, мг ХПК/г сут.
5	1,1	150
10	0,91	110
15	0,78	75
20	0,56	83
25	0,42	95
30	0,26	115
35	0,21	130
40	0,20	100
44	0,22	90



ВЫВОДЫ

1. Применение системного анализа позволило выявить 6 уровней организации биоты активного ила, в целом представляющей собой системное единство.
2. Единая система активного ила находится в состоянии «текучего равновесия», характеризующегося непрерывным потоком и изменениями.
3. Активный ил как система включает в себя все законы, действующие на подсистемах, но в целом обладает самостоятельными качествами и способностями.
4. Основной характеристикой активного ила в адаптированной системе является постоянная удельная скорость роста всего биоценоза.
5. Возраст ила – основной фактор, позволяющий управлять системой активного ила.
6. Зависимость дозы ила от возраста подчиняется законам циклических колебаний.
7. Для биоценоза активного ила как целостной системы, выведен следующий закон: ***ОПРЕДЕЛЁННОЙ СКОРОСТИ РОСТА АКТИВНОГО ИЛА СООТВЕТСТВУЕТ СТРОГО ОПРЕДЕЛЁННЫЙ УДЕЛЬНЫЙ ПРИРОСТ И УДЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ОКИСЛЕНИЯ СУБСТРАТА.***
8. Установленный закон позволяет максимально упростить технологический расчёт биореактора-аэротенка в комплексе сооружений биологической очистки сточных вод.