

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси  
Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры  
(ЮНЕСКО)

# **СБОРНИК ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**проект «Пути снижения антропогенного воздействия  
на пресноводные экосистемы Беларуси»**

**Программа участия ЮНЕСКО 2024-2025 гг**

Минск 2025

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БЕЛАРУСИ



В Беларуси 20 тыс. водотоков общей протяженностью 90,6 тыс. км, 10 тыс. озер (около 9 куб.м воды), 85 водохранилищ, 1,5 тыс. прудов для рыбозаводов.

Река	Длина реки. км		Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	
	общая	в пределах страны	общая	в пределах страны
Днепр	2145	700	504 000	67 460
Западная Двина	1020	338	87 900	33 150
Неман	937	436	98 200	34 610
Западный Буг	772	169	73 470	9 990
Припять	761	495	121 000	50 900
Горынь	659	82	27 700	1 200
Сож	648	451	42 140	21 700
Березина	561	561	24 500	24 500
Ловать	536	47	21 900	382
Вилия	498	276	25 100	10 920

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



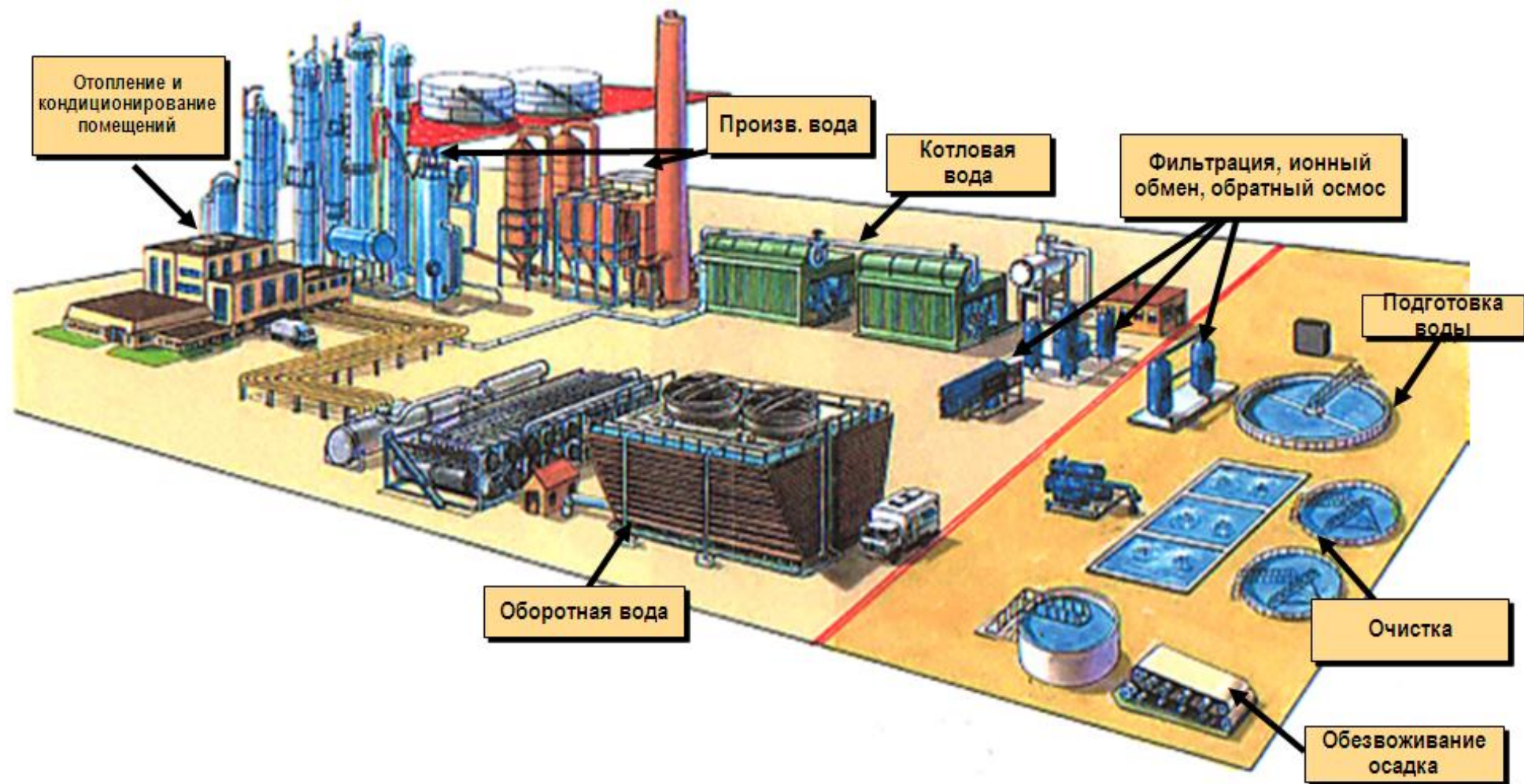
В Республике Беларусь потребление пресной воды составляет 1 млрд 415 млн м<sup>3</sup>/год, из них 610 млн м<sup>3</sup>/год из поверхностных источников, 805 млн м<sup>3</sup>/год – из подземных водных объектов

Из общего объема потребления водных ресурсов:



600 млн м<sup>3</sup>/год воды используется в промышленности, из них 420–520 млн м<sup>3</sup>/год – в водооборотных системах предприятий

# ВОДОБОРОТНЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ

Эффективность использования воды промышленными предприятиями оценивается двумя показателями:

- коэффициентом использования свежей воды:

$$K_{\text{исп}} = \frac{Q_{\text{ист}} - Q_{\text{сбр}}}{Q_{\text{ист}}}$$

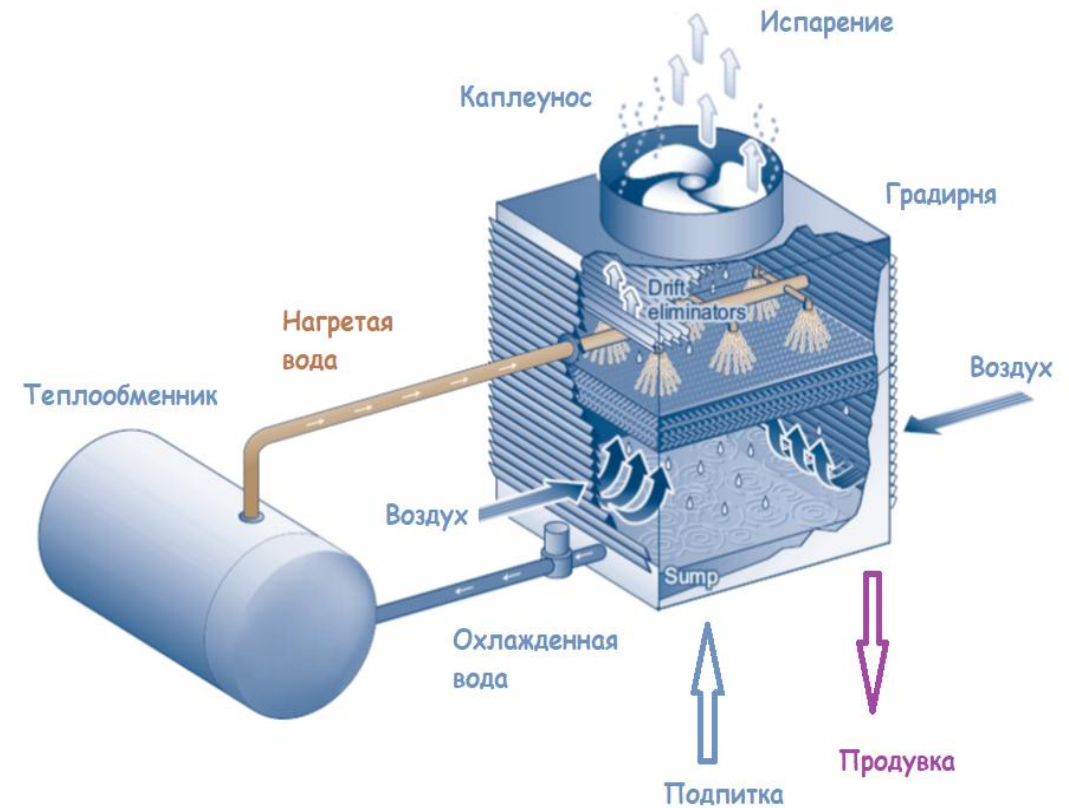
- коэффициентом использования оборотной воды:

$$K_{\text{об}} = \frac{Q_{\text{об}}}{Q_{\text{ист}} + Q_{\text{об}}}$$

$Q_{\text{ист}}$  - количество воды, забираемой из источника, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{\text{сбр}}$  - количество сточных вод, сбрасываемых в водоем, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{\text{об}}$  - количество оборотной воды, м<sup>3</sup>/сут



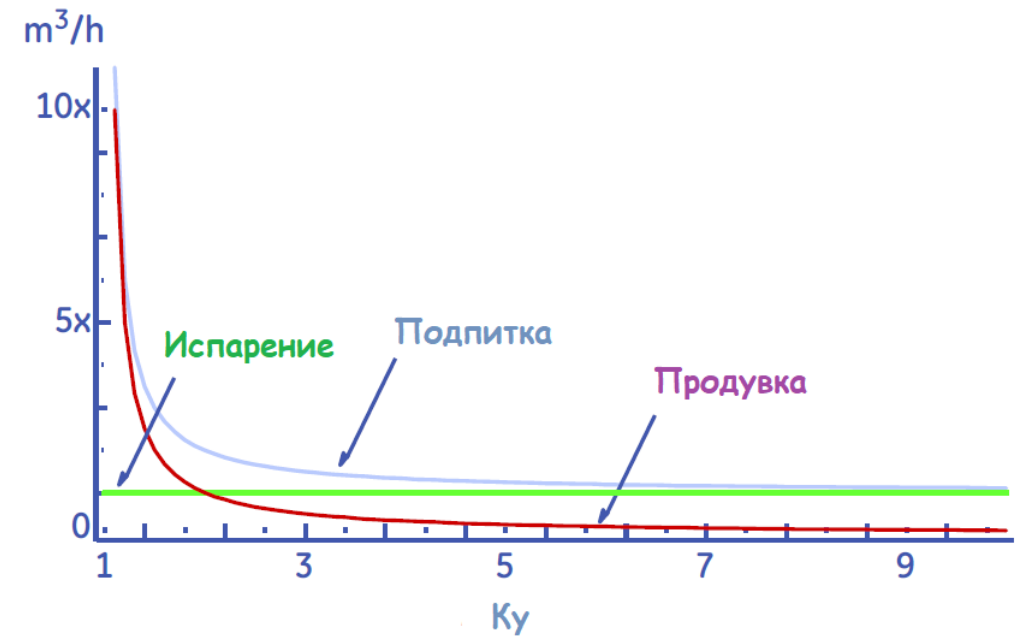
# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ

Для повышения эффективности работы водооборотных систем, осуществляют цикл мероприятий по увеличению коэффициента упаривания ( $K_y$ )

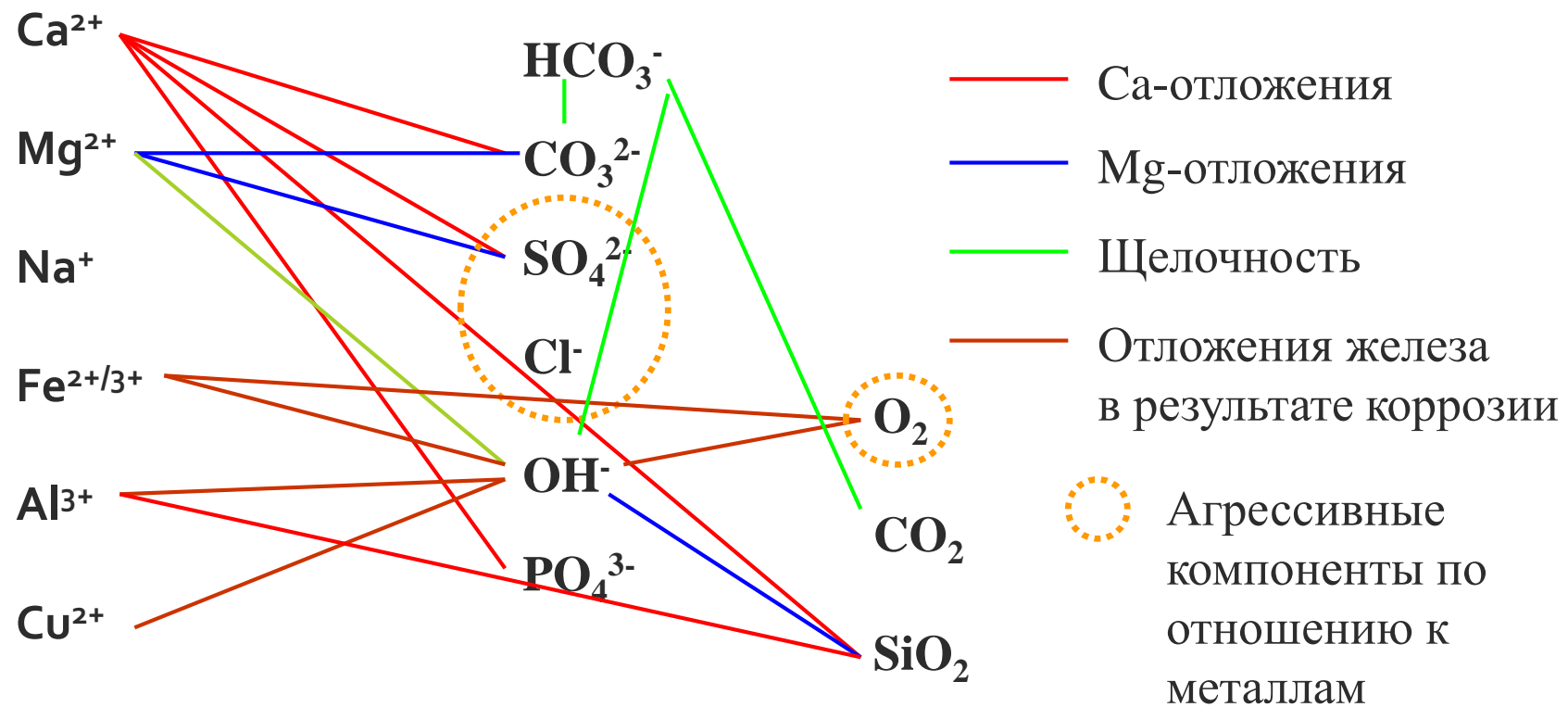
$K_y$  характеризует отношение концентрации растворимого компонента в оборотной воде к его концентрации в подпиточной воде

С технической точки зрения  $K_y$  показывает количество воды, используемой в цикле повторно, и характеризует эффективность использования воды на предприятии в целом

$$K_y = Q_{\text{подпитки}} / Q_{\text{продувки}}$$



# ПРИЧИНА ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ: КОМПОНЕНТЫ ВОДЫ И ИХ ДЕЙСТВИЕ



Увеличение концентрации растворенных солей приводит к насыщению растворов по солям и образованию осадка

# ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ

## ОТЛОЖЕНИЯ И КОРРОЗИЯ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ  
ИЗОЛИРУЮЩЕЙ  
ПЛЕНКИ

СНИЖЕНИЕ  
ТЕПЛО-  
ПЕРЕДАЧИ

УМЕНЬШЕНИЕ  
СЕЧЕНИЯ  
ТРУБОПРОВОДА

СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ  
ПРОТОКА

ПОВЫШЕНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРЫ  
И ДАВЛЕНИЯ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ  
КОРРОЗИИ ПОД  
ОТЛОЖЕНИЯМ

ПИТТИНГ



# ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Концентрирование воды, вследствие упаривания, приводит к образованию отложений, которые вызывают ряд проблем в эксплуатации:

- снижение коэффициента теплопроводности
- загрязнение насадки градирни и снижение эффективности охлаждения воды
- сужение проходных сечений трубопроводов и теплообменного оборудования, которые, в свою очередь, вызывают ухудшение технико-экономических показателей производства:
- перегрев оборудования, его повышенный износ
- снижение эффективности охлаждения воды в конденсаторе (повышение давления) – снижение экономичности
- ухудшение качества продукции;
- уменьшение производительности оборудования

Материал	Термическая проводимость Вт/м <sup>2</sup> К/см
<i>Материал стенки</i>	
Сталь	690
Изоляция	1.5
<i>Накипь</i>	
Карбонат кальция	35
Силикат кальция	18
Сульфат кальция	35
Фосфат магния	33
Кремний, пористый	1.3
<i>Шлам</i>	
Кальция гидроксиапатит	40
Серпентин	38
<i>Оксид железа</i>	
Магнетит	44

# ИНДЕКСЫ ЛАНЖЕЛЬЕ И РИЗНАРА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Параметр	Индекс Ланжелье (LSI)	Индекс Ризнара (RSI)
Формула	$pH - pH_s$	$2pH_s - pH$
Назначение	Определение коррозионного потенциала или склонности к накипи	Оценка стабильности воды с учетом данных об отложениях
Интерпретация	Отрицательное значение - коррозия, положительное - накипь	Стремится к получению всегда положительного значения
Основа расчета	Измеренный pH и насыщенный pH	Измеренный и насыщенный pH с математической коррекцией

Сводная таблица значений индексов Ланжелье и Ризнера

Индекс Ланжелье	Индекс Ризнера	Характеристика раствора
3	3	Чрезвычайно высокое накипеобразование
2	4	Очень высокое накипеобразование
1	5	Серьезное накипеобразование
0,5	5,5	Тенденция к накипеобразованию
0,2	5,8	Легкое накипеобразование
0	6	Стабильный раствор
-0,2	6,5	Очень легкая степень коррозии
-0,5	7	Легкая степень коррозии
-1	8	Тенденция к коррозии
-2	9	Очень высокая коррозия
-3	10	Чрезвычайно высокая коррозия

# ИНДЕКС СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ (ИНДЕКС ЛАНЖЕЛЬЕ)

Индекс Ланжелье рассчитывается по формулам или с помощью таблиц для экспресс-расчета

$$LSI = pH - pHs$$

$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$ , где:

- $A = (\text{Log}10 [\text{TDS}] - 1)/10$ ;
- $B = -13,12 \times \text{Log}10 (^\circ\text{C} + 273) + 34,55$ ;
- $C = \text{Log}10 [\text{жесткость по } \text{CaCO}_3] - 0,4$ ;
- $D = \text{Log}10 [\text{щелочность по } \text{CaCO}_3]$ .

*Пример расчета:*

$pH = 7,5$ ;  $\text{TDS} = 320$  мг/л; жесткость по  $\text{CaCO}_3$  150 мг/л; щелочность по  $\text{CaCO}_3 = 34$  мг/л  
 $t = 25$  °C:

$$pHs = (9,3 + 0,15 + 2,09) - (1,78 + 1,53) = 8,2$$

$$LSI = 7,5 - 8,2 = -0,7$$

$t = 82$  °C:

$$pHs = (9,3 + 0,15 + 1,09) - (1,78 + 1,53) = 7,2$$

$$LSI = 7,5 - 7,2 = +0,3$$

Экспресс-расчет индекса Ланжелье можно выполнить по таблицам

Таблицы для экспресс-расчета индекса Ланжелье.  $pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$

TDS, мг/л проводимость (в ms/m) x 7	значение A
50 - 300	0,1
301 - 1000	0,2

вода	темп., C	значение B
системы охлаждения	0 - 1	2,6
	2 - 6	2,5
	7 - 9	2,4
	10 - 13	2,3
скважина	14 - 17	2,2
водопровод	18 - 21	2,1
	22 - 27	2,0
	28 - 31	1,9
	32 - 37	1,8
	38 - 43	1,7
оборотная	44 - 50	1,6
	51 - 56	1,5
	57 - 63	1,4
	64 - 71	1,3
ГВС	72 - 81	1,2

Жесткость по кальцию, мг/л	значение C
10 - 11	0,6
12 - 13	0,7
14 - 17	0,8
18 - 22	0,9
23 - 27	1,0
28 - 34	1,1
35 - 43	1,2
44 - 55	1,3
56 - 69	1,4
70 - 87	1,5
88 - 110	1,6
111 - 138	1,7
139 - 174	1,8
175 - 225	1,9
226 - 275	2,0
276 - 345	2,1
346 - 435	2,2
436 - 555	2,3
556 - 695	2,4
696 - 875	2,5
876 - 1000	2,6

Щелочность по кальцию, мг/л	значение D
10 - 11	1,0
12 - 13	1,1
14 - 17	1,2
18 - 22	1,3
23 - 27	1,4
28 - 35	1,5
36 - 44	1,6
45 - 55	1,7
56 - 69	1,8
70 - 88	1,9
89 - 110	2,0
111 - 139	2,1
140 - 176	2,2
177 - 225	2,3
226 - 275	2,4
276 - 355	2,5
356 - 445	2,6
446 - 555	2,7
556 - 695	2,8
696 - 885	2,9
886 - 1000	3,0

Пример:  $pH = 8,5$ ; температура воды = 35C;  $\text{TDS} = 60$  мг/л; Жесткость ( $\text{Ca}^{2+}$ ) = 150 мг/л; Щелочность ( $\text{HCO}_3^-$ ) = 160 мг/л.  
 $pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) = (9,3 + 0,1 + 1,8) - (1,8 + 2,2) = 7,2$       Индекс Ланжелье =  $pH - pHs = 8,5 - 7,2 = 1,3$

# ИНДЕКС СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ (ИНДЕКС РИЗНЕРА)

Для определения коррозионности воды по отношению к стали (чугуну) используется *индекс Ризнера (ИР)*

$$R.S.I. = 2pH_s - pH$$

Характеристики воды по индексу Ризнера:

ИР = 4–5– интенсивные карбонатные отложения; ИР = 5–6– слабые карбонатные отложения;  $6 < \text{ИР} < 7$  – близко к равновесию или слабая коррозия стали, чугуна; ИР = 7,0–9,0– сильная коррозия; ИР > 9,0 – недопустимая коррозия

Индекс Ризнера применяется при содержании кислорода в воде не менее 4–5 мг/л – без растворенного в воде кислорода защитная карбонатная пленка не образуется

# ИНДЕКС СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ (ИНДЕКС ЛАРСОНА-СКОЛЬДА)

Потенциал питтинговой коррозии не учитывается традиционными индексами стабильности  
Склонность воды к питтингу определяется индексом Ларсона-Скольда

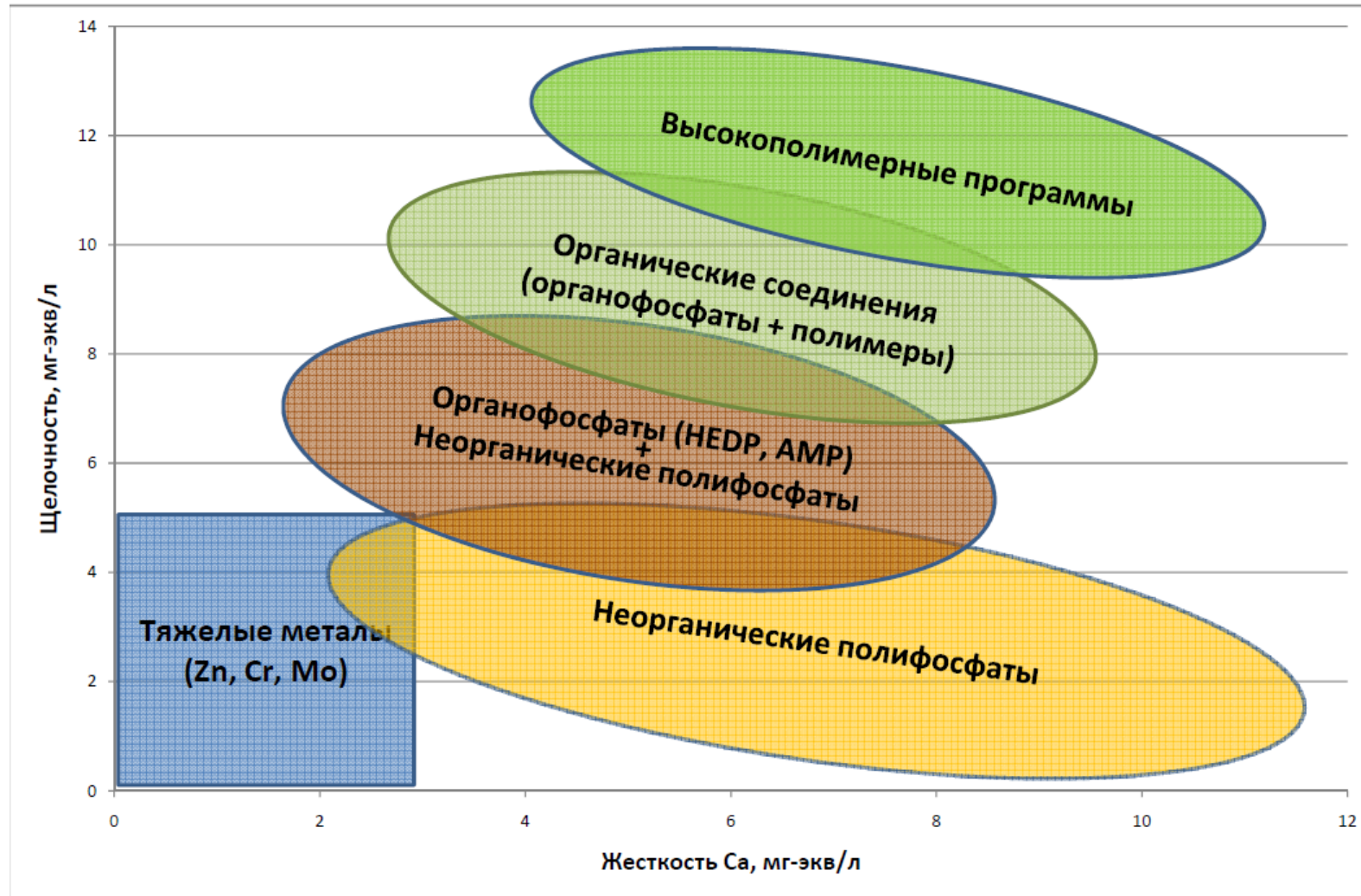
$$Larson - Scold = \frac{Cl/35,5 + SO_4/48}{T \cdot Щ/50}$$

- < 0.8: Cl-/SO<sub>4</sub> не разрушают пленку
- > 0.8 индекс < 1.2: Cl-/SO<sub>4</sub> могут влиять
- > 1.2: Коррозия

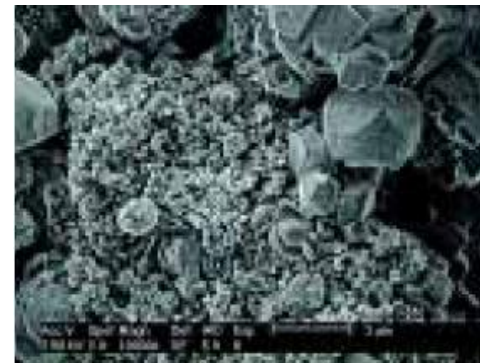
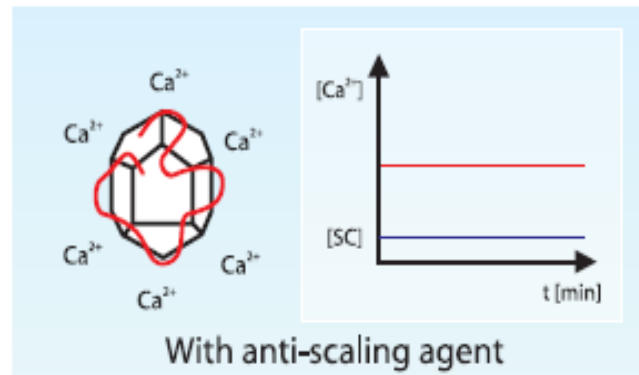
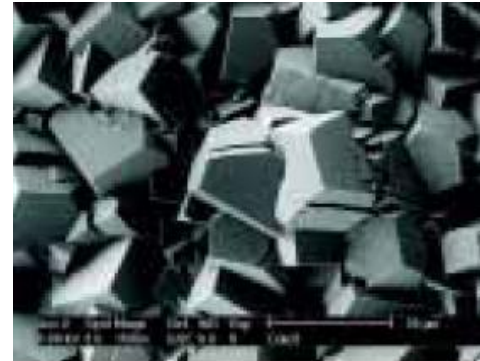
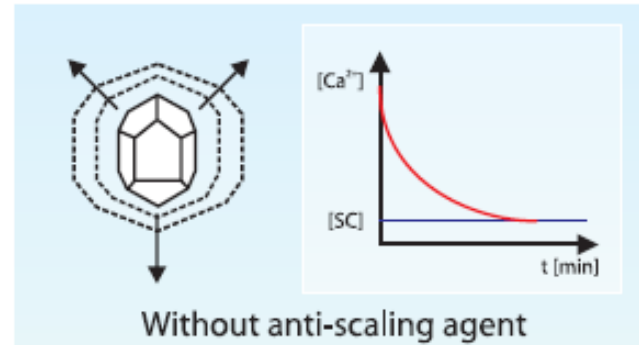
# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

- Разработка эффективных реагентных программ для систем водоподготовки
- Внедрение «умных» систем контроля и управления процессами
- Модернизация систем водоподготовки с применением современного оборудования и высокопроизводительных технологий

# РЕАГЕНТНЫЕ ПРОГРАММЫ

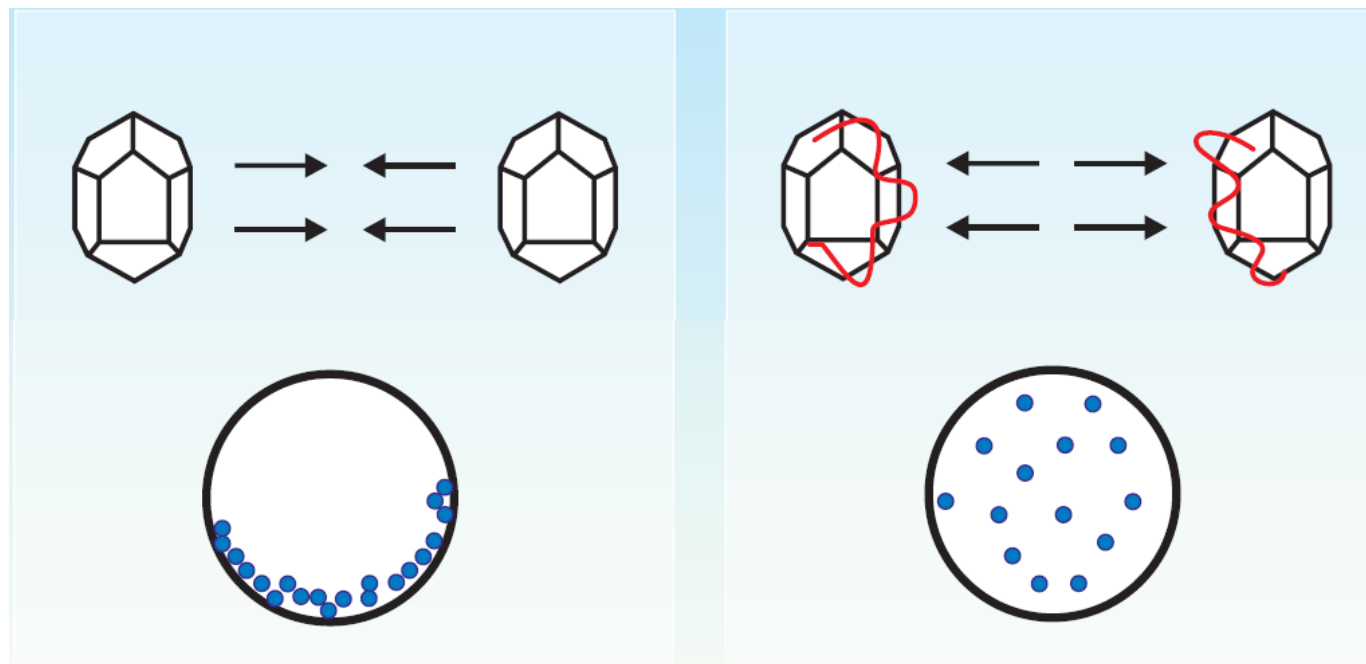


# МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ИНГИБИТОРОВ. ПОРГОВЫЙ ЭФФЕКТ. МОДИФИКАЦИЯ ФОРМЫ КРИСТАЛЛА



В присутствии ингибитора карбонат кальция кристаллизуется в виде частиц, не имеющих какой-либо организованной кристаллической структуры и не способной к образованию плотноупакованных прочных отложений

## МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ИНГИБИТОРОВ. ДИСПЕРГИРОВАНИЕ



Дисперсант адсорбируется на поверхности кристаллов, благодаря чему предотвращается их агрегация. Кристаллы остаются во взвешенном состоянии и не оседают на стенках трубопроводов и теплообменников

# «УМНЫЕ» СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВОДООБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ



# АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

1. Аудит состояния действующей системы водоподготовки (характеристик и особенностей системы; текущего состояния оборудования и трубопроводов; отбор и анализ проб воды и отложений; технико-экономическая оценка эффективности работы системы; заключение о возможных направлениях модернизации действующей системы
2. Разработка и оптимизация состава эффективных реагентных программ, включающих комплексы ингибиторов осадкообразования, коррозии и биоцидов, в условиях, моделирующих реальную систему

# АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

3. Научное сопровождение внедрения технологии реагентной обработки циркуляционной воды; оптимизация режима аналитического контроля; подбор методик химического анализа для определения действующих веществ и исследования физико-химических свойств реагентов
4. Обоснование направлений модернизация действующей системы водоподготовки с применением современного оборудования и высокопроизводительных технологий
5. Рекомендации по внедрению «умных» систем контроля, управления, автоматизации процессов водоподготовки

# ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКО-ХИМИИ ВОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Высококвалифицированные специалисты (кандидаты и доктора наук, инженеры-технологи, научные сотрудники)*



Моделирующая установка  
водооборотного цикла



Моделирующая установка  
кристаллизатора



Система определения  
заряда частиц



Атомно-абсорбционный  
спектрометр



Потенциостат

- ИК-СПЕКТРОМЕТР С ФУРЬЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ «TENZOR 2»
- РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИФРАКТОМЕТР BRUKER D8 ADVANCE
- ВОЛНОДИСПЕРСИОННЫЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР
- СПЕКТРОФОТОМЕТР и др.

# **ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКО-ХИМИИ ВОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси  
(г. Минск, ул. Сурганова, 9/1, +37517-2842742, e-mail: [secretar@igic.bas-net.by](mailto:secretar@igic.bas-net.by))**

## **Контакты:**

**Воробьёва Елена Викторовна тел. + 375 29 752 96 27**

**e-mail: [vorobiovahelen0110@gmail.com](mailto:vorobiovahelen0110@gmail.com)**

**Чередниченко Денис Викторович тел. + 375 29 705 45 56**

**e-mail: [cherednichenko\\_dv@tut.by](mailto:cherednichenko_dv@tut.by)**

**Лаевская Елена Васильевна (зав. лабораторией) тел. +375 33 634 52 56**

**e-mail: [layeuskaya@gmail.com](mailto:layeuskaya@gmail.com)**