

**МЕТОД  
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД  
И  
СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ  
В СХЕМАХ КИОВР**

# Цель работы

Разработка метода эколого-водохозяйственной оценки состояния водных ресурсов бассейна речной системы, позволяющего:

- на основе обще доступных исходных данных
- выполнять прогнозные расчеты изменения качества воды и состояния водной экосистемы
- учитывать управляющие водохозяйственные воздействия на водный объект
- проводить оценку состояния для крупномасштабных объектов

# Решаемые задачи

- Обзор методов и показателей оценки качества воды и состояния водного объекта
- Определение связи между показателями
- Обоснование необходимости применения нового метода
- Применение для практических расчетов

# 1. Физико-химические методы

основанные на использовании

- индивидуальных показателей
- комплексных показателей

## 2. Биологические методы

## 3. Методы использующие биологические и физико-химические показатели

# Достоинства физико-химических методов

- Точная оценка загрязненности воды конкретным загрязнителем
- Учет совместного влияния загрязняющих веществ
- Возможность классификации качества воды
- Характеристика среды обитания водных организмов

# Индивидуальные показатели

- $C_i \leq ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация
- $G_i \leq ПДС_i$  – предельно допустимый сброс
- БПК<sub>5</sub> – биологическое потребление кислорода, используется для оценки качества воды

# Классификация качества воды по БПК<sub>5</sub> (по Крылову А.В.)

<b>Классы качества воды</b>	<b>БПК<sub>5</sub>, мг O<sub>2</sub>/л</b>
<b>Очень чистые</b>	<b>0,5-1,0</b>
<b>Чистые</b>	<b>1,1-1,9</b>
<b>Умеренно загрязненные</b>	<b>2,0-2,9</b>
<b>Загрязненные</b>	<b>3,0-3,9</b>
<b>Грязные</b>	<b>4,0-10,0</b>

# Комплексные показатели

**ПХЗ-10** - показатель химического загрязнения

$$ПХЗ-10 = \sum_i^{10} \frac{C_i}{ПДК_i}$$

Определяется по 10 веществам, среди которых: O<sub>2</sub>, БПК, взвешенные вещества, вещества азотной группы и наиболее характерные для конкретного водного объекта (если  $C_i/ПДК_i > 1$ , то принимается  $C_i/ПДК_i = 1$ )



# В - комбинаторный индекс загрязнения

$$B = \sum K_i * H_i \quad K_i = \frac{C_i}{ПДК_i} \quad H_i = \frac{N_{oi}}{N_i}$$

$N_{oi}$  - количество случаев превышения ПДК<sub>і</sub>,  
і-ым загрязняющим веществом, из общего  
количества данных наблюдений  $N_i$

$K$  - относительная загрязненность воды

# Показатель Эрисмана

Учитывает загрязняющие вещества по четырем критериям:

- санитарный ( $W_c$ ):  $O_2$ , БПК, ХПК и характерные загрязняющие вещества
- органолептический ( $W_{орг}$ ): запах, взвешенные вещества,
- санитарно-токсикологический ( $W_{ст.}$ );
- эпидемиологический ( $W_{э}$ ).

$$W_j = 1 + \frac{\sum (\delta_{ij} - 1)}{N_j}$$

$$\delta_{ij} = \frac{C_{ij}}{ПДК_i}$$

- $N_j$  – количество веществ в  $j$ -ой группе

# Классификация качества вод по показателю Эрисмана

Уровень загрязнения	Значения показателей			
	$W_{орг}$	$W_c$	$W_{ст}$	$W_э$
Допустимый	1	1	1	1
Умеренный	1-1.5	1-3	1-3	1-10
Высокий	1.5-2	3-6	3-10	10-100
Чрезвычайно высокий	>2	>6	>10	>

# Экотоксикологический критерий Моисеенко

Общий критерий ( $X$ ) определяется как сумма показателей:

$$X = X_m + X_{\phi} + X_{\varepsilon}$$

- Токсичности

$$X_m = \sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}$$

- Физико-химического загрязнения (биогенные вещества)

$$X_{\phi} = \sum \left( \frac{C_i}{C_{\text{фон}_i}} - 1 \right)$$

- Эвтрофности

$$X_{\varepsilon} = K * \left( \frac{C_{\phi}}{C_{\text{фон.}\phi}} - 1 \right)$$

по концентрации фосфора в воде  $C_{\phi}$  и его фонового значения  $C_{\text{фон.}\phi}$ ).  $K$  – коэффициент учитывающий состояние водного объекта:  $K=2$  – водный объект в мезотрофной стадии,  $K=3$  – в эвтрофной стадии.

# ИЗВ - индекс загрязнения воды

$$ИЗВ = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{C_i}{ПДК_i}$$

$n$  – количество рассматриваемых веществ. Для оценки качества вод расчеты ведут для  $n = 6 \dots 7$  загрязняющих веществ, включая :  $O_2$ , БПК, СПАВ, рН.

Модификации данного метода: УКИЗВ - удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (В.И.Губанов и др. 1997, 2000), рассчитывается по двадцати пяти ингредиентам, вносящим наибольший вклад в загрязнение вод.

# Классы качества вод по ИЗВ

Класс качества воды	ИЗВ
очень чистая	до 0,2
чистая	0,2 - 1
умеренно загрязненная	1 - 2
загрязненная	2 - 4
грязная	4 - 6
очень грязная	6 - 10
чрезвычайно грязная	более 10

## Достоинства:

- простота определения,
- учет разнородных параметров,
- сопоставимость результатов,
- использование базы данных ГВК.

# Достоинства биологических методов

- Характеристика состояния водной экосистемы
- Возможность оценки качества воды
- Позволяют получить интегральную оценку результатов природных и антропогенных процессов в водном объекте

# S - индекс сапробности

Индекс сапробности рассчитывается исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов водных сообществ фитопланктона, перифитона

Широко используется в практике мониторинга

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i * h_i)}{\sum_{i=1}^N h_i}$$

$Z_i$  - значимость гидробионта,

$h_i$  - относительная встречаемость индикаторных организмов

$N$  - количество выбранных индикаторных организмов.



# ОИ - олигохетный индекс

Рассчитывается как отношение численности олигохет (n) к общей численности организмов в пробе (N).

$$\text{ОИ} = n/N$$

*Олигохеты – это малоцветинковые черви, относящиеся к классу*

*кольчатых червей, способствуют самоочищению загрязненных*

*водоемов классификация качества вод по ОИ.*

<b>Класс качества воды</b>	<b>ОИ, %</b>
<b>Очень чистая</b>	<b>1-16</b>
<b>Чистая</b>	<b>17-33</b>
<b>Умеренно</b>	

# БИ - биотический индекс БИ (Вудивисса)

В основе метода - упрощение структуры биоценоза по мере повышения уровня загрязнения вод, за счет выпадения индикаторных видов (зообентоса) при повышении загрязненности воды, на фоне общего разнообразия организмов

Воды	БИ
Очень чистые	10–8
Чистые	7–5
Умеренно загрязненные	4–3
Загрязненные	2–1
Грязные	1–0
Очень грязные	0

# H - индекс Шеннона

Представляет собой параметр оценки видового разнообразия систем

$$H = -\sum \frac{n_i}{N * \log\left(\frac{n_i}{N}\right)}$$

$n_i$  – число особей  $i$ -го вида в пробах

$N$  – общая численность особей всех видов в пробах

В настоящее время широко используется для оценки видового разнообразия сообществ организмов, на основе которого делается заключение и о качестве среды их обитания

# Оценка трофического статуса водного объекта по индексу Шеннона

<b>Трофность водоемов</b>	<b>H</b>
<b>Ультраолиготрофные</b>	<b>3.06 - 2.30</b>
<b>Олиготрофные</b>	<b>2.30 - 1.89</b>
<b>Мезотрофные</b>	<b>1.89 - 1.52</b>
<b>Эвтрофные</b>	<b>1.52 - 1.25</b>
<b>Гиперэвтрофные</b>	<b>1.25 - 1.11</b>

Придается больший вес редко встречающимся в пробах видам организмов, среди которых могут быть и виды индикаторы чистой или загрязненной воды

# Смешанные показатели

---

## Индекс эвтрофикации – TRIX

$$\text{TRIX} = \log ([\text{Chl}] * [\text{DO2}] * \text{P} * \text{N} * 1.5) / 1.2$$

Chl – хлорофилл "а" в мкг/л;

DO2 – недостаток насыщения воды растворенным кислородом, %

P – общий фосфор в мкг/л;

N –растворенная форма минерального азота в мкг/л.

# Показатели устойчивости экосистемы

---

Оценка получается как результат учета параметров, среди которых:

- гидрологические
- климатические условия
- характер антропогенного воздействия.

Параметры устойчивости объединены в экспертную балльную систему, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность делать сравнительную оценку водных экосистем.

# Классификация водных объектов по гидрологическому режиму (уровневый и температурный режим)

Признаки	Значения индексов и параметры их определяющие				
	1	2	3	4	5
Колебание уровня, м	<3	–	3-7	–	>7
Средняя температура воды в летний период, °С	>20	20-15	<15	–	–
Продолжительность ледостава, мес.	>5	5-2	<2	–	–

Сумма индексов в примере  
Гидр. балл 1 = 1+3+2=6

# Классификация водоемов по гидрологическому режиму (условиям водообмена)

Признаки	Значения индексов и параметры их определяющие		
	1	2	3
Наличие сезонной стратификации	да	<b>нет</b>	-
Вертикальное перемешивание, 1/год	<b>&lt;2</b>	2	<b>&gt;2</b>
Условия проточности	<b>бессточный</b>	сточный	проточный
Регулирование стока	многолетнее	сезонное	<b>недельное или суточное</b>
Водообмен в год	<b>&lt;0.1</b>	<b>0,1-5,0</b>	<b>&gt;5,0</b>

В примере Гидрол. Балл-2 = 1+1+2+2+3=9



# Недостатки методов

- Методы, основанные на использовании биологических показателей, сложно использовать в инженерной практике
- В явном виде не учитываются гидрологические характеристики водного объекта
- Сложность использования для прогнозных расчетов

# Связь биологических и физико-химических показателей

---

- Возможность, на основе определения комплексных физико-химических показателей, делать оценку состояния экосистемы не зависимо от степени антропогенного воздействия
- Снижение трудоемкости оценки эколого-водохозяйственной обстановки

# Соответствие БПК<sub>5</sub>, индекса (S) и уровня сапробности

БПК – характеристика содержания в воде органического вещества

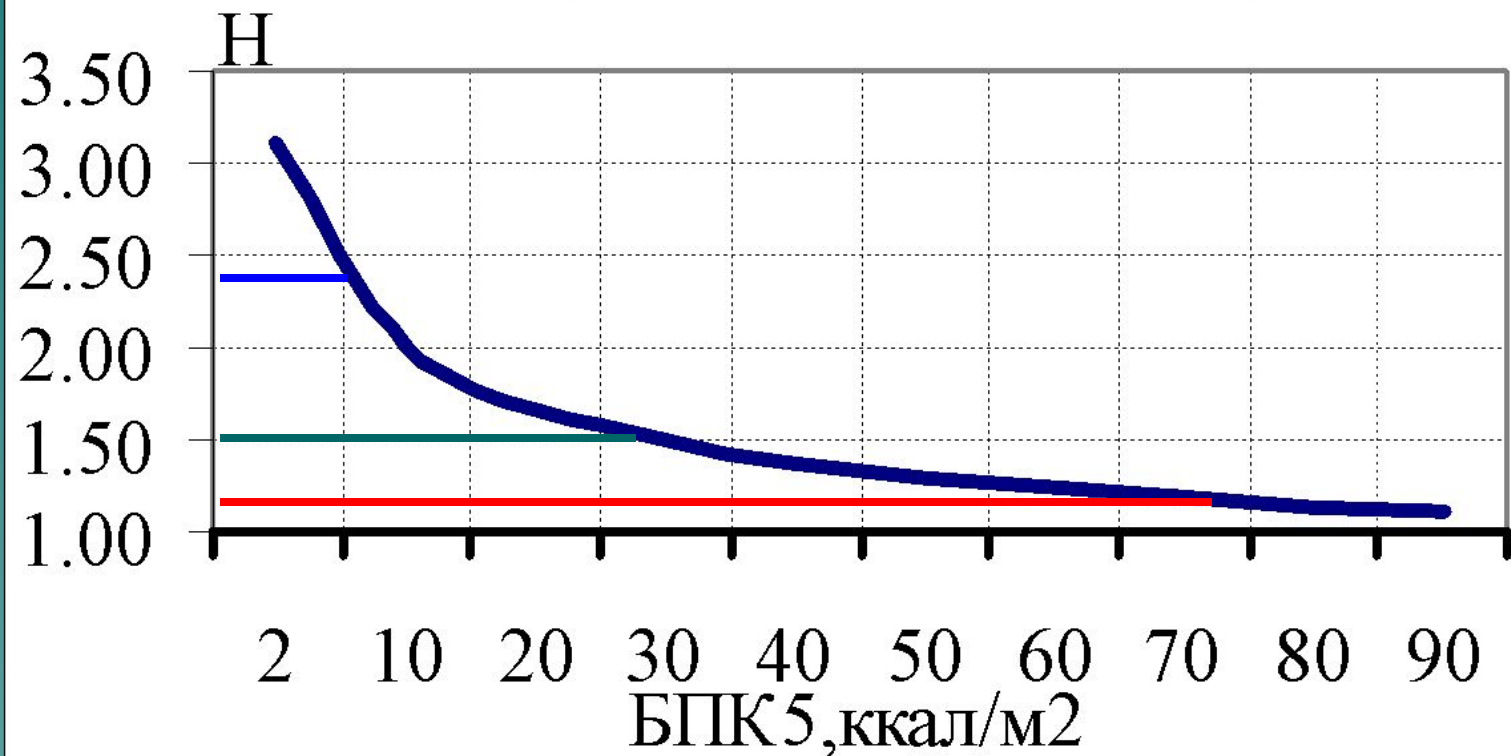
Сапробность – степень насыщенности воды органическим веществом

Индекс сапробности – показатель видового состава организмов –сапробионтов (питающихся МОВ)

Уровень сапробности	S	БПК <sub>5</sub> ,%
Олигосапробный	1-1.5	0 - 15
Мезосапробный	1.5 – 3.5	15 - 80
Полисапробный	3.5 – 4.0	80 - 100

# Соответствие БПК<sub>5</sub> и трофического статуса водного объекта с помощью индекса Шеннона

Связь индекса Шеннона и БПК<sub>5</sub> (по Алимову А.Ф.)



# Соответствие биологических и физико-химических показателей состояния водного объекта (часть -1)

Показатель	Класс качества воды					
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загряз.	Загряз.	Гряз.	Очень грязная
БПК <sub>5</sub> , мГО/л	0.5-1.0	1.1-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-10.0	>10
ИЗВ	≤0.2	0.2-1	1-2	2-4	4-6	>6
S	≤0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-4	>4
Фосфаты, мгР/л	0,005-0,015	0,015-0,05	0,05-0,2	0,2-0,3		0,3-0,6
Нитраты, мгN/л	0,05-0,20	0,2-1,0	1,0-2,0	2,0-2,5		2,5-4,0

# Соответствие биологических и физико-химических показателей состояния водного объекта (часть -2)

Показатель	Класс качества воды					
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загряз.	Загряз.	Гряз.	Очень грязная
Н	3.06-2.30	2.30-1.89	1.89-1.52	1.52-1.25		1.25-1.11
Трофический индекс, бал.	0-40	40-60		60-80		>80
Индекс трофности	20-40	40-60		60-80		>80
БИ	10	9-7	6-5	4	3-2	1-0
Трофность	Олиго	Мезотрофная		Эвтрофная		Гипер
Сапробность	Ксено	Олиго	$\alpha$ -мезо	$\beta$ -мезо		Поли
Зоны кризисности	Обратимые изменения		Пороговая стадия	Необратимые изменения		

# Показатель кратности сверхнормативного загрязнения

$$W_{пз} = K_{пз} * W_{река}$$

$$K_{пз} = \frac{1}{N} * \sum_i^N \frac{C_i}{ПДК_i} - 1$$

$$K_{пз} = ИЗВ - 1$$

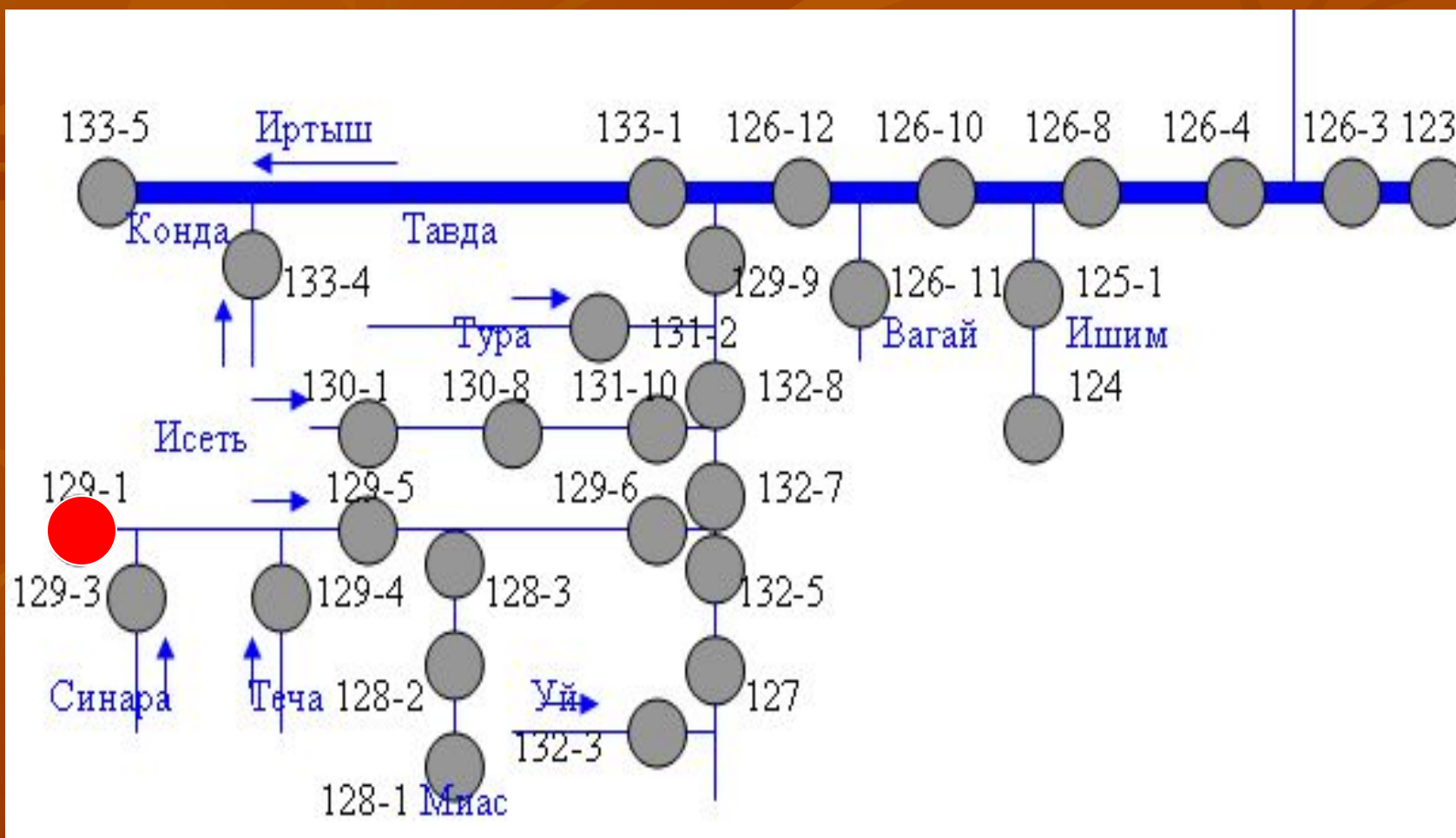
- Непосредственно связан с объемом речного стока
- Позволяет выполнять расчеты для лет заданной обеспеченности стока реки
- Возможность получения кривых обеспеченности показателей качества воды и
- состояния водного объекта
- Обосновать необходимость и определить требуемую эффективность
- водоохраных мероприятий
- Связан с широко используемыми в практике показателем, что позволяет использовать существующую классификацию качества воды

# Классы качества воды по коэффициенту предельной загрязненности $K_{пз}$

<b>Класс качества воды</b>	<b><math>K_{пз}</math></b>
<b>очень чистая</b>	<b>до -0.8</b>
<b>чистая</b>	<b>-0.8 ... 0.0</b>
<b>умеренно загрязненная</b>	<b>0.0...1</b>
<b>загрязненная</b>	<b>1...3</b>
<b>грязная</b>	<b>3...5</b>
<b>очень грязная</b>	<b>5...9</b>
<b>чрезвычайно грязная</b>	<b>Более 9</b>



# Схема расположения расчетных створов в бассейне реки Иртыш

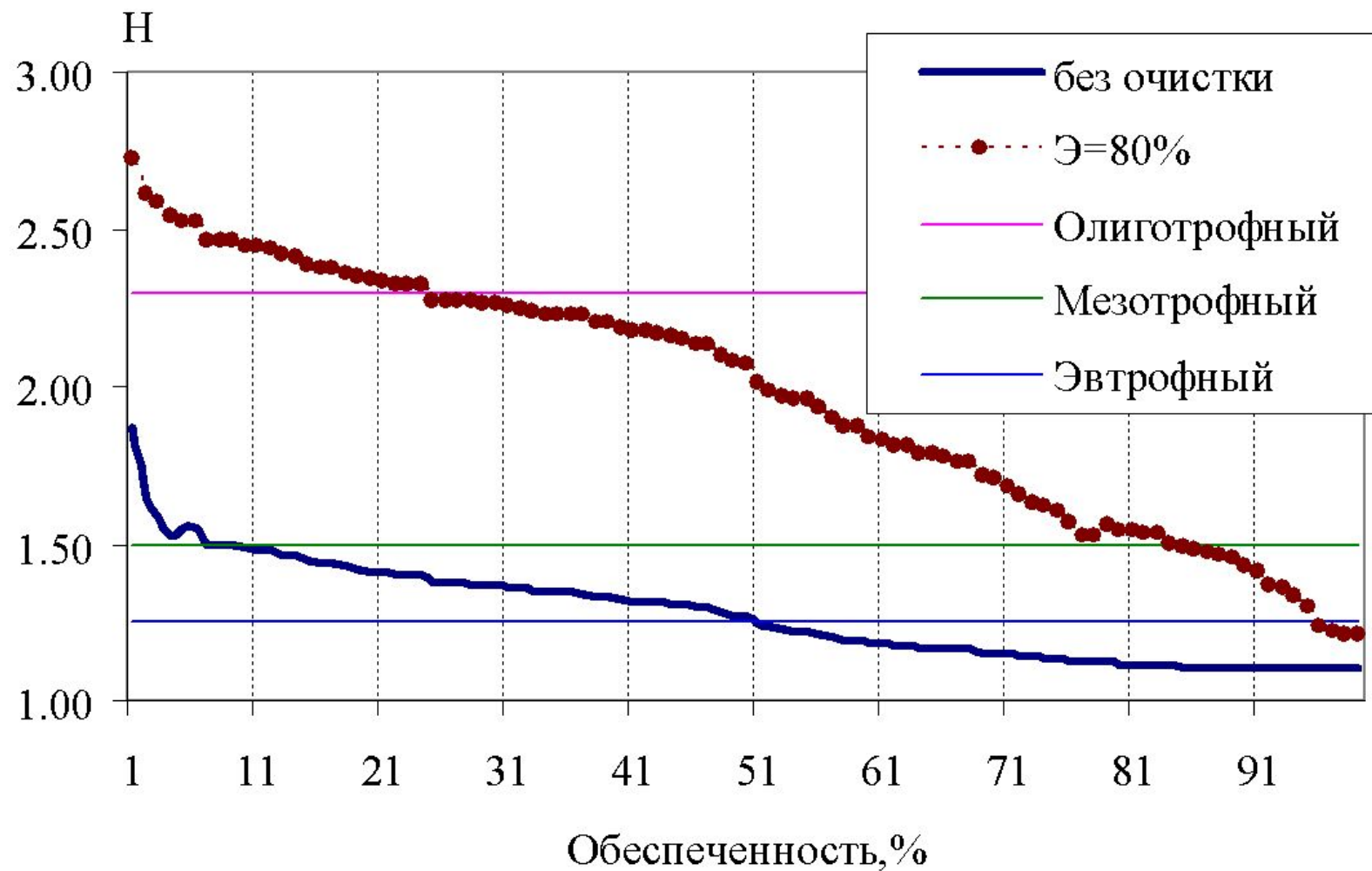


# Расчет значений коэффициентов разбавления

## створ 129-1

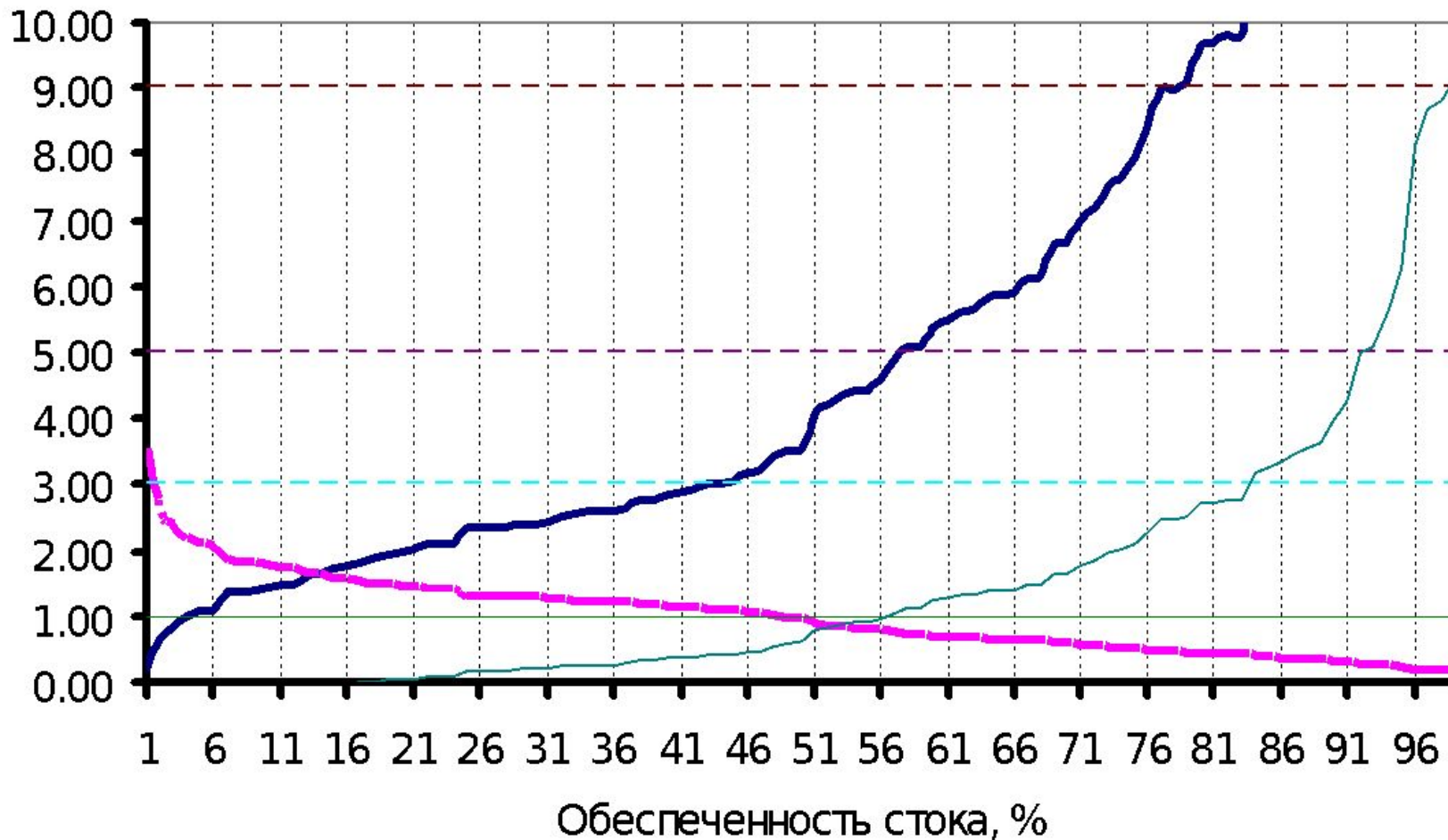
Вещества	Концентрация, мг/л		$K_i = C_i / ПДК_i - 1$
	$C_i$	ПДК $_i$	
O <sub>2</sub>	8.8	12.0	-0.27
БПК <sub>5</sub>	2.29	3.00	-0.24
NH <sub>4</sub>	0.31	0.50	-0.38
NO <sub>2</sub>	0.005	0.080	-0.94
N) <sub>3</sub>	0.17	9.10	-0.98
Fe	0.43	0.30	0.43
Cu	0.0153	0.001	14.30
Zn	0.0201	0.0100	1.01
Ni	0.0018	0.0100	-0.82
Mn	0.1125	0.0100	10.25
Фенол	0.006	0.001	5.00
Нефть	0.09	0.05	0.80
СПАВ	0.0001	0.5	-1.00
$K_{пз} = K_i / 12$			2.90

Изменение индекса Шеннона в зависимости от  
обеспеченности стока воды в реке Исеть створ 129-1.



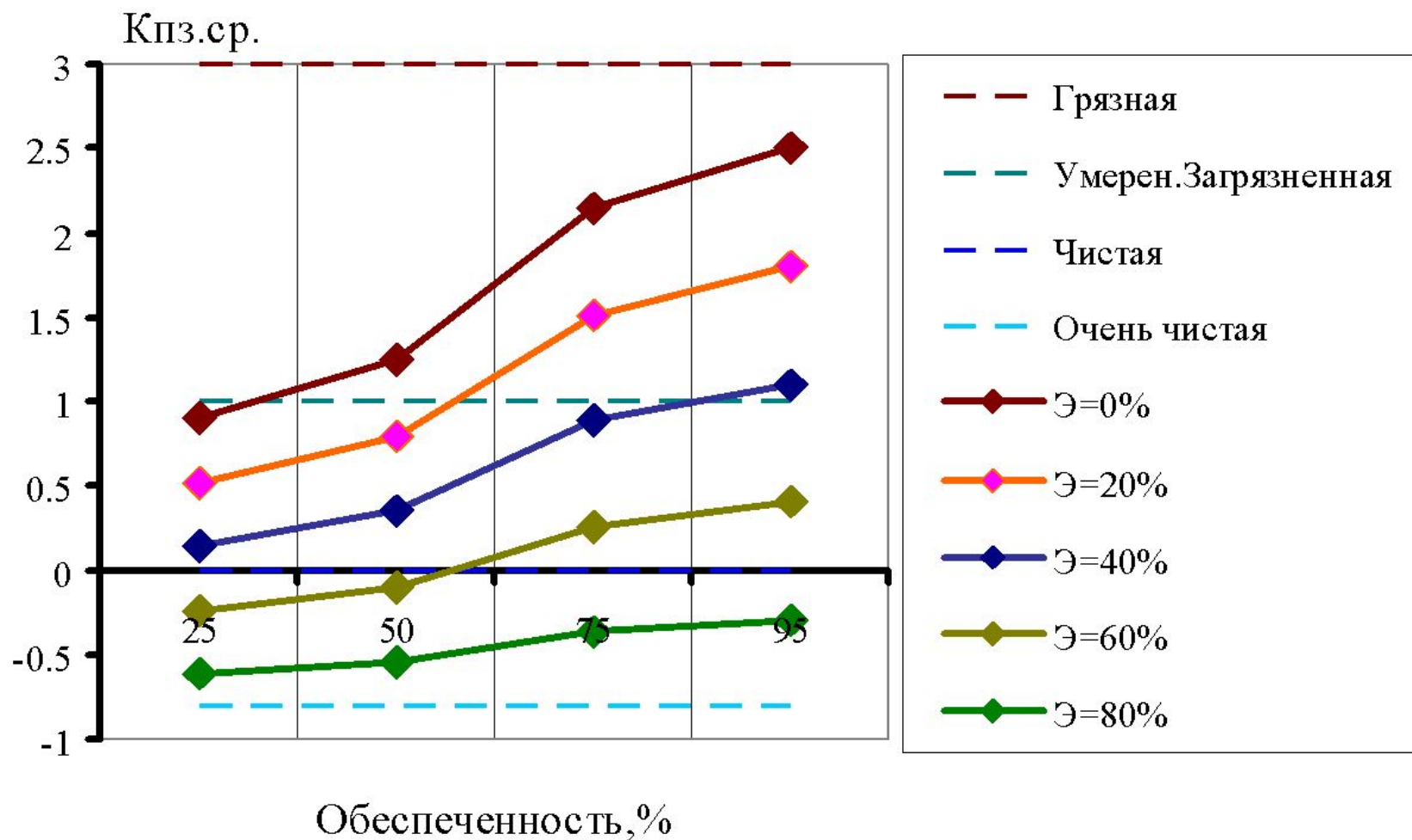
Кгв

### Кривые обеспеченности Кгв и стока. Створ 129-1



— Без очистки    — Сток    — Очистка с эффективностью 65%

# Кривые обеспеченности коэффициентов Кпз с учетом разной эффективности очистки воды. створ 129-1





## Линейная схема загрязненности воды в бассейне реки Иртыш

Обозначение	Качество воды
	Чистая
	Умеренно загрязненная
	Загрязненная
	Грязная
	Очень грязная