# Эвтрофирование и биоиндикация: как «цветёт» водоём и что говорят о нём его жители

Антропогенные изменения водных экосистем на реальном примере: Росгидромет фиксирует «цветение» у берегов Байкала. Ученики разбирают цепочку «биогенные элементы → цветение → дефицит кислорода → заморы», сравнивают учебные данные мониторинга с рыбохозяйственными нормативами, считают олигохетный индекс по пробам бентоса и выбирают меры.

Биология, экология · 11 класс | 45 минут | план урока

## План урока

### Связь с программой

| Предмет, класс | Тема программы |
|---|---|
| Биология, 11 | «Тема 4: «Человечество в биосфере Земли. Антропогенные изменения в биосфере. Глобальные экологические проблемы...»; тематическое планирование 4.7: «Оценивать последствия загрязнения воздушной, водной среды...»» |
| Биология, 11 | «Тема 3 «Организмы и окружающая среда»: «Экология как наука. Задачи и разделы экологии. Методы экологических исследований...»» |
| Биология, 10–11 | «Предметные результаты: умение выделять существенные признаки «...антропогенных изменений в экосистемах своей местности, круговорота веществ и биогеохимических циклов в биосфере»» |

**ПРЕДМЕТНЫЕ**
Объяснять механизм эвтрофирования (биогенные элементы — соединения азота и фосфора, цветение, дефицит кислорода, заморы); различать природное и антропогенное эвтрофирование; оценивать состояние водоёма по индикаторным организмам бентоса (олигохетный индекс).

**МЕТАПРЕДМЕТНЫЕ**
Строить причинно-следственную цепочку и проверять её данными наблюдений; понимать возможности и ограничения биоиндикации и сочетать её с химическим анализом.

**ЛИЧНОСТНЫЕ**
Ответственность за поведение на водосборе: удобрения, моющие средства, стоки; готовность участвовать в наблюдениях за местным водоёмом.

**Оборудование:** Схема круговорота азота, раздаточные данные задач 1–2, калькуляторы; оборудование опыта — ниже. Если планируется выход к водоёму — сачок, кюветы, лупы и определитель пресноводных беспозвоночных.

### Ход урока

**0–5** **Мотивация**

Данные Росгидромета: осенью 2024 года на севере Байкала нити водоросли спирогиры встречались вдоль западного побережья в 77 % проб зоопланктона и в 55 % проб зообентоса; в 2023 году цианобактерии рода Anabaena вызывали «цветение» воды в портах Выдрино, Култук и Байкальск. Почему водоросли разрастаются даже в одном из чистейших озёр мира?

**5–15** **Механизм**

Определение по ГОСТ 17.1.1.01-77: эвтрофирование — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов; цветение — массовое развитие фитопланктона, изменяющее окраску воды. Строим цепочку на доске: азот и фосфор → цветение → падает прозрачность, гибнут донные растения → отмершая масса оседает → редуценты расходуют кислород → дефицит кислорода у дна, заморы. Природное (медленное старение озера) и антропогенное (быстрое) эвтрофирование.

**15–25** **Данные мониторинга**

Задача 1: учебный ряд наблюдений за озером — фосфор, прозрачность, кислород у дна, заморы. Сравнение с рыбохозяйственными ПДК фосфора фосфатов, которые зависят от трофности водоёма.

**25–37** **Биоиндикация**

Живые организмы как «приборы»: личинки ручейников и речные раки живут только в чистой воде; олигохеты (малощетинковые черви) выдерживают недостаток кислорода и питаются органикой ила — при органическом загрязнении их доля растёт. Олигохетный индекс, по которому Росгидромет оценивает донные сообщества Байкала. Задача 2: расчёт по пробам с четырёх станций реки.

**37–42** **Меры**

Как уменьшить поступление биогенных веществ: очистка сточных вод, водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, дозирование удобрений, исправные септики. Пример: в 2019–2024 годах по федеральному проекту «Оздоровление Волги» построено 123 канализационных очистных сооружения общей мощностью более 2 км³.

**42–45** **Итог и домашнее задание**

Ответ на вопрос из начала урока; объяснение домашнего задания и опыта, который класс заложит на 2–3 недели.

## Вопросы классу и ожидаемые ответы

**Что такое эвтрофирование и чем природное отличается от антропогенного?**

**Ответ:** Повышение биологической продуктивности водоёма в результате накопления в воде биогенных элементов (ГОСТ 17.1.1.01-77). Природное идёт медленно, по мере старения и обмеления озера; антропогенное — быстро, когда азот и фосфор поступают со стоками и с полей.

**Почему «цветение» опасно, если водоросли сами выделяют кислород?**

**Ответ:** Кислород выделяется днём у поверхности, а ночью водоросли дышат. Мутная от водорослей вода не пропускает свет — гибнут донные растения. Отмершая масса оседает и разлагается бактериями с поглощением кислорода; при летнем расслоении кислород у дна не восполняется. Итог — дефицит кислорода и заморы рыбы.

**Откуда в водоём попадают соединения азота и фосфора?**

**Ответ:** Смыв удобрений и навоза с полей и ферм, бытовые и промышленные сточные воды, неисправные септики и выгребные ямы, стоки с городских территорий; естественным путём — из почв и болот водосбора.

**Почему личинки ручейников — индикатор чистой воды, а обилие олигохет — признак загрязнения?**

**Ответ:** Ручейники живут только в чистой воде и при загрязнении исчезают. Олигохеты переносят недостаток кислорода и питаются органикой ила, поэтому при органическом загрязнении их доля в бентосе растёт. На этом основан олигохетный индекс.

**Что показывает олигохетный индекс и как его используют?**

**Ответ:** Это доля олигохет в общей численности донных беспозвоночных, %. Росгидромет по нему относит станции к разрядам от «относительно чистых» до «сильно загрязнённых». В 2024 году средний индекс у очистных сооружений г. Байкальска вырос в 1,6 раза — до 39 %, участок охарактеризован как «слабо загрязнённый».

**Почему биоиндикацию сочетают с химическим анализом?**

**Ответ:** Организмы «накапливают» информацию о состоянии воды за недели и месяцы и показывают суммарный эффект, но не называют конкретное вещество. Химический анализ даёт концентрации, но только на момент отбора пробы. Вместе они дают надёжный вывод.

**Какие меры снижают эвтрофирование?**

**Ответ:** Очистка сточных вод с удалением биогенных элементов, водоохранные зоны (по Водному кодексу у рек длиной до 10 км — 50 м, от 10 до 50 км — 100 м, от 50 км — 200 м) и прибрежные полосы без распашки, дозирование удобрений, исправные септики. Пример масштабной меры — 123 очистных сооружения, построенные в 2019–2024 годах по проекту «Оздоровление Волги».

**Домашнее задание:** 1) Вместе со взрослыми обследуйте берег ближайшего водоёма: признаки цветения, плёнка, запах; возможные источники биогенных веществ на водосборе (поля, фермы, выпуски, септики, огороды у воды); ширина нераспаханной прибрежной полосы. Составьте карту-схему и предложите две меры. 2) Ведите дневник опыта (фото раз в 2–3 дня). 3) Задача 2, вопрос 4.

## Опыты

Ничего не пробовать на вкус, посуду — на поднос, после работы вымыть руки. Особые меры — в каждом опыте.

10–11 класс | 15 минут на закладку + наблюдения 2–3 недели

### Опыт. Модель эвтрофирования в банках

**Нужно:** 4 одинаковые прозрачные литровые банки, вода из пруда (или отстоянная водопроводная с добавкой небольшого количества прудовой воды как «затравки»), жидкое комплексное минеральное удобрение для комнатных растений, мерный шприц, марля и резинки, этикетки, лист с напечатанным текстом для оценки прозрачности, тёмная коробка, перчатки.

1. Налить воду во все банки поровну и подписать: № 1 — без удобрения (контроль), № 2 — дозу по инструкции, № 3 — двойную дозу, № 4 — двойную дозу, но поставить в тёмную коробку.
2. Банки № 1–3 поставить на светлый подоконник, все банки накрыть марлей.
3. Раз в 2–3 дня оценивать цвет, мутность (виден ли текст сквозь банку), плёнку, запах, осадок; фотографировать с одного места.
4. Через 2–3 недели сравнить банки и построить таблицу наблюдений.

**Что увидим и почему:** В банках с удобрением на свету вода зеленеет раньше и сильнее, теряет прозрачность; в контроле изменения слабые. В тёмной банке с удобрением цветения нет — водорослям нужен ещё и свет. Позже в банке с двойной дозой на дне скапливается отмершая масса, появляется запах разложения — модель дефицита кислорода. Вывод: биогенные элементы и свет вместе определяют, «зацветёт» ли водоём.

**⚠ Техника безопасности**

- Удобрение отмеряет учитель в перчатках; концентрат не пробовать, при попадании на кожу смыть водой.
- Воду из пруда берут только взрослые, с берега, в перчатках; после работы — вымыть руки с мылом.
- Банки держать накрытыми, подписанными и вдали от продуктов; воду не пробовать.
- После опыта воду вылить в канализацию, а не в природный водоём: нельзя переносить в природу биогенные вещества и организмы.

# Задания с данными

Ключи раскрываются по кнопке — задания удобно показывать на доске.

Задание 1 учебные данные

## Задача 1. Признаки эвтрофирования в данных мониторинга

Учебные данные летних наблюдений за небольшим озером за 5 лет. Прозрачность — глубина, на которой перестаёт быть виден белый диск. Рыбохозяйственные ПДК фосфора фосфатов (по P) зависят от трофности водоёма: олиготрофный — 0,05 мг/л, мезотрофный — 0,15 мг/л, эвтрофный — 0,2 мг/л (Росгидромет, Ежегодник 2024).

**Наблюдения за озером, август**

| Год | Фосфор фосфатов, мг/л (по P) | Прозрачность, м | Кислород у дна, мг/л | Замор рыбы |
|---|---|---|---|---|
| 1-й | 0,04 | 3,2 | 6,1 | нет |
| 2-й | 0,07 | 2,6 | 4,8 | нет |
| 3-й | 0,12 | 1,8 | 2,9 | нет |
| 4-й | 0,18 | 1,1 | 1,2 | отдельные случаи |
| 5-й | 0,22 | 0,7 | 0,4 | массовый |

1. Как изменились показатели за 5 лет (во сколько раз)? Как они связаны между собой?
2. Сравните фосфор с ПДК. С какого года превышено значение для мезотрофного водоёма, а с какого — и для эвтрофного?
3. Почему кислород падает именно у дна, а у поверхности в солнечный день его бывает даже больше, чем при насыщении?
4. Предложите две меры и укажите, на какое звено цепочки «биогенные элементы → цветение → дефицит кислорода» действует каждая.

**Ключ**

1. Фосфор вырос в 0,22 : 0,04 = 5,5 раза, прозрачность упала в 3,2 : 0,7 ≈ 4,6 раза, кислород у дна — с 6,1 до 0,4 мг/л (≈ в 15 раз). Больше фосфора → больше фитопланктона → вода мутнее, больше отмершей органики → больше расход кислорода у дна.
2. Значение для мезотрофного водоёма (0,15) превышено с 4-го года (0,18), для эвтрофного (0,2) — в 5-й год (0,22).
3. У поверхности идёт фотосинтез водорослей; у дна света нет, а бактерии разлагают оседающие остатки и расходуют кислород; летом расслоение не даёт воде перемешаться.
4. Например: очистка стоков или перенос выпуска — уменьшает поступление биогенных элементов (начало цепочки); прибрежная полоса без распашки — задерживает смыв с полей (начало цепочки); аэрация придонного слоя — смягчает дефицит кислорода (конец цепочки, но не устраняет причину).

Задание 2 · учебные данные

## Задача 2. Олигохетный индекс: оцениваем реку по бентосу

Учебные пробы донных беспозвоночных с четырёх станций реки, экземпляров в пробе. Олигохетный индекс = олигохеты : все беспозвоночные · 100 %. Для сравнения: в 2024 году средний индекс у очистных сооружений г. Байкальска составил 39 %, и Росгидромет охарактеризовал участок как «слабо загрязнённый».

**Состав бентоса, экз. в пробе**

| Станция | Олигохеты | Личинки хирономид | Личинки ручейников | Моллюски | Прочие |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Выше города | 12 | 20 | 18 | 10 | 20 |
| 2. У выпуска очистных | 140 | 50 | 0 | 2 | 8 |
| 3. 2 км ниже выпуска | 60 | 30 | 2 | 6 | 22 |
| 4. 10 км ниже выпуска | 20 | 22 | 12 | 9 | 17 |

### Олигохетный индекс по станциям, %




1. Рассчитайте олигохетный индекс для каждой станции.
2. Расположите станции от наиболее к наименее загрязнённой. Где исчезают и где снова появляются личинки ручейников?
3. Что такое самоочищение реки и какие процессы и организмы в нём участвуют?
4. Почему для вывода о состоянии реки мало одного индекса? Что ещё нужно сделать?

**Ключ**

1. 1: 12 : 80 = 15 %; 2: 140 : 200 = 70 %; 3: 60 : 120 = 50 %; 4: 20 : 80 = 25 %.
2. 2 → 3 → 4 → 1. Ручейники исчезают у выпуска и почти отсутствуют в 2 км ниже; в 10 км ниже их снова много — река восстанавливается.
3. Естественное улучшение качества воды ниже источника загрязнения: разбавление, оседание взвеси, разложение органики бактериями с потреблением кислорода, выедание взвеси фильтраторами, поглощение биогенных элементов растениями.
4. Индекс зависит от грунта, сезона и случайности одной пробы; нужны повторности на каждой станции, сравнение в разные сезоны, химический анализ воды (кислород, аммоний, фосфаты) и учёт других групп-индикаторов.

11 класс · 20 минут · лист + ключ

## Рабочий лист «Рабочий лист: эвтрофирование и биоиндикация»

Данные в заданиях 3–4 учебные.

### ▼ Источники фактов и чисел (12)

- ГОСТ 17.1.1.01-77, п. 48: «Евтрофирование вод — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов»; п. 49: «Цветение вод — массовое развитие фитопланктона, вызывающее изменение окраски воды» — meganorm.ru
- северный Байкал, осень 2024 года: спирогира встречалась по всему западному побережью в 77 % проб зоопланктона; в 55 % проб зообентоса — в прибрежной части западного побережья — gidrohim.com

- цианобактерии рода Anabaena в 2023 году вызывали «цветение» воды в портах Выдрино, Култук и Байкальск — gidrohim.com
- олигохетный индекс у КОС г. Байкальска в 2024 году вырос в 1,6 раза — до 39 %, участок охарактеризован как «слабо загрязнённый»; разряды станций — «относительно чистые», «слабо загрязненные», «загрязненные», «сильно загрязненные» — gidrohim.com
- ПДК фосфора фосфатов (по P), лимитирующий показатель — санитарный: олиготрофный водоём 0,05 мг/л, мезотрофный 0,15 мг/л, эвтрофный 0,2 мг/л — gidrohim.com
- в 2019–2024 годах в 16 субъектах РФ по федеральному проекту «Оздоровление Волги» построено 123 канализационных очистных сооружения общей мощностью более 2 км³ — Госдоклад Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в РФ в 2024 году», с. 37
- ширина водоохранной зоны реки по Водному кодексу РФ: до 10 км — 50 м, от 10 до 50 км — 100 м, от 50 км — 200 м; в прибрежной защитной полосе нельзя распахивать землю — справочник показателей (СанПиН 1.2.3685-21)
- ручейники живут только в чистой воде — «Факты» сайта
- раки живут в чистой воде, где много кислорода; в грязной реке не выживают — Кто живёт в воде
- нитраты с полей: если их много, водоросли разрастаются и вода «зацветает» — «Факты» сайта
- параметры опыта: 4 банки, наблюдения 2–3 недели, оценка раз в 2–3 дня — параметры учебного опыта (подобраны для урока)
- расчёты: 0,22 : 0,04 = 5,5 раза; 3,2 : 0,7 ≈ 4,6 раза; 6,1 : 0,4 ≈ 15 раз; индексы 15, 70, 50, 25 % — расчёт по учебным данным задач