Экосистемы озёр и рек: структура, продукция, устойчивость

Водные экосистемы на языке экологии 11 класса: зоны и экологические группы озера, трофические уровни, температурное расслоение, продукция и дыхание, река как открытая система. Ученики обрабатывают учебные данные метода светлых и тёмных склянок и строят пирамиды биомассы и продукции.

Биология · 11 класс | 45 минут | план урока

План урока

Связь с программой

Предмет, класс	Тема программы
Биология, 11	«Тема 4 «Сообщества и экологические системы»: «Основные показатели экосистемы: биомасса, продукция. Экологические пирамиды: продукции, численности, биомассы. Свойства экосистем: устойчивость, саморегуляция, развитие. Сукцессия. Природные экосистемы. Экосистемы озер и рек...»»
Биология, 11	«Тематическое планирование, 4.3 «Природные экосистемы»: «Раскрывать содержание терминов и понятий: водные экосистемы, биогеоценозы, фитопланктон, зоопланктон, бентос...»; «Сравнивать наземные и водные экосистемы; организмы, образующие разные трофические уровни»»
Биология, 11	«Тема 3 «Организмы и окружающая среда»: «Абиотические факторы: свет, температура, влажность...» (опыты 1 и 2)»

ПРЕДМЕТНЫЕ
Описывать видовую, пространственную и трофическую структуру озера и реки (литораль, пелагиаль, профундаль; планктон, нектон, бентос; продуценты, консументы, редуценты); объяснять летнее температурное расслоение озера; рассчитывать дыхание, валовую и чистую первичную продукцию по изменению кислорода; объяснять устойчивость водных экосистем.

МЕТАПРЕДМЕТНЫЕ
Строить и проверять модели (схема потока энергии, опыт с расслоением воды); отличать измеренную величину от рассчитанной; делать вывод с учётом ограничений метода.

ЛИЧНОСТНЫЕ
Понимать ценность биоразнообразия и уязвимость водоёмов; бережное и безопасное поведение у воды.

Оборудование: Таблица «Биоценоз водоёма», схема разреза озера (литораль, пелагиаль, профундаль), раздаточные данные задач 1–2, калькуляторы; оборудование опытов — ниже. Иллюстрации жителей водоёмов: игра «Ночной пруд» и карточки «Кто живёт в воде».

Ход урока

0–4 **Мотивация**

В Байкале и на его берегах насчитали около 2630 видов и разновидностей животных и водных растений, две трети из них — эндемики. Почему при таком обилии жизни вода остаётся прозрачной? Подсказка — рачок эпишура, который пропускает через себя воду. Вопрос: какие связи в экосистеме поддерживают её состояние?

4–14 **Структура озера**
Зоны: литораль, пелагиаль, профундаль. Экологические группы: планктон (фито- и зоо-), нектон, бентос. Функциональные группы: продуценты, консументы, редуценты. Класс составляет пастбищную и детритную цепи для озера; учитель показывает, кого реально находят на дне Байкала (данные Росгидромета).

14–22 **Опыт 2 (демонстрация)**
Модель летнего расслоения озера: тёплая окрашенная вода над холодной. Термоклин, эпилимнион и гиполимнион; почему ветер перемешивает только верхний слой; осеннее и весеннее перемешивание переносит кислород вниз, а биогенные вещества — вверх. Вода наиболее плотна при +4 °C.

22–34 **Продукция и дыхание**
Валовая и чистая первичная продукция, дыхание сообщества. Метод светлых и тёмных склянок — задача 1 (расчёт по глубинам, компенсационная глубина). Пирамиды биомассы и продукции, правило 10 % — задача 2, вопросы 1–2.

34–40 **Река и озеро**
Сравнение по плану: течение и перемешивание, кислород, источник органического вещества (своя продукция или приносимые с водосбора остатки), приспособления организмов к течению, открытость экосистемы. Заполняем таблицу сравнения на доске.

40–43 **Устойчивость**
Что делает водную экосистему устойчивой: разнообразие видов на каждом уровне, замкнутость круговорота, саморегуляция численности. Сукцессия: зарастание небольшого озера. Мостик к следующему уроку: что будет, если в озеро поступает слишком много биогенных веществ (урок об эвтрофировании).

43–45 **Домашнее задание**
Схема экосистемы местного водоёма; задача 2, вопросы 3–4.

Вопросы классу и ожидаемые ответы

Назовите зоны озера и характерных обитателей каждой.
Ответ: Литораль — прибрежное мелководье с высшими водными растениями, моллюсками, личинками насекомых; пелагиаль — толща открытой воды: фито- и зоопланктон, рыбы (нектон); профундаль — глубинное дно без света: бентос и бактерии-редуценты. Например, в донных пробах Байкала у Байкальска Росгидромет нашёл хирономид, олигохет, амфипод, моллюсков, нематод, полихет и турбеллярий (2024).

Почему в глубоком озере летом образуются слои с разной температурой?
Ответ: Прогретая вода легче и остаётся сверху (эпилимнион), холодная — у дна (гиполимнион), между ними — слой резкого перепада температуры (термоклин). Ветер перемешивает только верхний слой. Вода наиболее плотна при +4 °C, поэтому у дна глубоких озёр и зимой, и летом вода около этой температуры.

Чем валовая первичная продукция отличается от чистой?
Ответ: Валовая — всё органическое вещество, созданное фотосинтезом за единицу времени. Чистая — то, что остаётся после трат самих продуцентов на дыхание; именно она доступна консументам.

Почему пирамида биомассы в водоёме бывает «перевёрнутой», а пирамида продукции — нет?
Ответ: Фитопланктон мелкий, быстро размножается и быстро выедается: в каждый момент его биомасса может быть меньше биомассы зоопланктона, но за год он создаёт во много раз больше органического вещества. Пирамида продукции учитывает скорость, а энергия при переходе на следующий уровень всегда теряется, поэтому она не переворачивается.

Чем река как экосистема отличается от озера?
Ответ: Течение постоянно перемешивает воду и насыщает её кислородом; организмы приспособлены удерживаться: прикрепляются к камням, строят домики (личинки ручейников). Значительная часть органического вещества приходит с водосбора (опад, остатки), а вещества и организмы уносятся вниз по течению — река более открытая экосистема, чем озеро.

Что делает экосистему озера устойчивой и какая сукцессия ей свойственна?

Ответ: Разнообразие видов на каждом трофическом уровне (роль исчезнувшего вида берут другие), круговорот веществ через редуцентов, саморегуляция численности. Небольшие озёра со временем мелеют за счёт донных отложений и зарастают, превращаясь в болото; при избытке биогенных веществ этот процесс ускоряется.

Домашнее задание: 1) Составьте схему экосистемы ближайшего водоёма (пруд, река, озеро): зоны, по 2–3 организма каждого трофического уровня, одна пастбищная и одна детритная цепь. Отметьте, какие воздействия человека могут нарушить её устойчивость. 2) Задача 2, вопросы 3–4. 3) По желанию: повторите опыт 1 с другим источником света или с водой разной температуры и сравните результаты.

Опыты

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

11 класс | 20 минут (практикум вне урока или на следующем уроке)

Опыт 1. Свет и продукция: фотосинтез элодеи

Нужно: Веточки элодеи (аквариумное растение) длиной около 10 см, прозрачный стакан или пробирка с отстоянной водой, щепотка питьевой соды (источник углекислого газа), настольная лампа со светодиодной лампой, линейка, секундомер, лист плотной тёмной бумаги.

1. Учитель подрезает стебель под водой. Веточку опускают в воду с содой срезом вверх и закрепляют (например, скрепкой-грузиком).
2. Ставят лампу на расстоянии 10 см от стакана, ждут 2 минуты, затем считают пузырьки газа, выходящие из среза, за 1 минуту — 3 раза подряд.
3. Повторяют счёт на расстоянии 20 и 40 см, затем закрывают стакан тёмной бумагой.
4. Строят график «расстояние до лампы — пузырьков в минуту» и сравнивают результаты групп.

Что увидим и почему: Чем дальше лампа, тем реже выделяются пузырьки; в темноте выделение почти прекращается. Скорость фотосинтеза ограничена светом, поэтому в озере органическое вещество создаётся в основном в верхнем освещённом слое, а глубже идёт только его разрушение. Метод грубый: пузырьки разного размера, часть кислорода растворяется в воде — для точных измерений используют метод склянок (задача 1).

⚠ Техника безопасности

- Лампа и провод — только на сухом столе, вдали от стакана с водой; включать и выключать сухими руками.
- Стебель подрезает учитель; стеклянную посуду не ставить на край стола.
- После опыта вымыть руки; воду из стакана вылить в раковину, растение вернуть в аквариум или утилизировать — не выпускать в природный водоём.

11 класс 10 минут

Опыт 2. Почему озеро «расслаивается»: модель температурной стратификации

Нужно: Прозрачный пластиковый контейнер (или небольшой аквариум) объёмом 2–3 л, холодная вода из холодильника, тёплая вода из-под крана, пищевой краситель, губка или ложка, 2 термометра, трубочка для коктейля.

1. Заполнить контейнер на две трети холодной водой и дать ей успокоиться.
2. В тёплую воду добавить краситель и очень медленно налить её сверху по ложке или через губку.
3. Опустить термометры: один у поверхности, другой у дна; записать показания.
4. Подуть через трубочку на поверхность («ветер»), затем перемешать всю воду ложкой; наблюдать, как исчезает граница слоёв.

Что увидим и почему: Окрашенная тёплая вода остаётся сверху: она легче холодной. Между слоями видна резкая граница — модель термоклина. «Ветер» перемешивает только верхний слой, граница сохраняется; исчезает она лишь при сильном перемешивании — так осенью, когда верхний слой остывает, озеро перемешивается целиком, и кислород доходит до дна.

⚠ Техника безопасности

- Тёплую воду готовит и наливает учитель; кипяток не используется.
- Контейнер — пластиковый, ставить в центре стола; пролитую воду сразу вытереть: мокрый пол скользкий.
- Краситель пачкает руки и одежду — работать аккуратно, после опыта вымыть руки.

Задания с данными

Ключи раскрываются по кнопке — задания удобно показывать на доске.

Задание 1 учебные данные

Задача 1. Метод светлых и тёмных склянок

Воду с трёх глубин озера разлили по склянкам. В «начальной» кислород измерили сразу. Светлую (прозрачную) и тёмную (непрозрачную) склянки выдержали сутки на той же глубине: в светлой идут фотосинтез и дыхание, в тёмной — только дыхание всех организмов. Дыхание = начальная − тёмная; валовая продукция = светлая − тёмная; чистая продукция = светлая − начальная. Данные учебные.

Растворённый кислород, мг O_2/л

Глубина, м	Начальная	Светлая через сутки	Тёмная через сутки
0,5	8,0	10,6	7,1
3	8,0	8,4	7,3
6	7,8	7,2	7,2

1. Рассчитайте дыхание, валовую и чистую продукцию на каждой глубине (мг O_2/л за сутки). Проверьте: чистая = валовая − дыхание.
2. Оцените глубину, на которой продукция равна дыханию (компенсационная глубина), считая, что между 3 и 6 м чистая продукция меняется равномерно.
3. Пересчитайте валовую продукцию слоя 0,5 м в органическое вещество (глюкозу) по уравнению фотосинтеза $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.
4. Чьё дыхание измеряет тёмная склянка?
5. Почему летом у дна глубокого озера может не хватать кислорода?

Ключ

1. 0,5 м: дыхание 0,9; валовая 3,5; чистая 2,6. 3 м: 0,7; 1,1; 0,4. 6 м: 0,6; 0; −0,6. Проверка: 3,5 − 0,9 = 2,6; 1,1 − 0,7 = 0,4; 0 − 0,6 = −0,6.
2. Чистая продукция падает с 0,4 до −0,6 на 3 м глубины; ноль — при 3 + 3 · 0,4 : 1,0 ≈ 4,2 м.
3. 3,5 мг O_2 : 32 = 0,109 ммоль O_2; глюкозы в 6 раз меньше — 0,0182 ммоль; 0,0182 · 180 ≈ 3,3 мг глюкозы на литр за сутки.
4. Всех организмов в склянке: водорослей, бактерий, мелких животных (зоопланктона) — продуцентов, консументов и редуцентов.
5. Ниже компенсационной глубины кислород только расходуется (дыхание, разложение отмершего органического вещества), а при летнем расслоении он не поступает из верхнего слоя: термоклин мешает перемешиванию.

Задание 2 · учебные данные

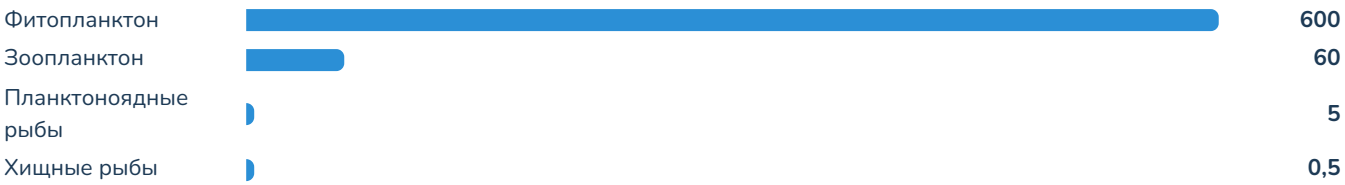
Задача 2. Пирамиды биомассы и продукции озера

Учебные данные для пелагиали озера в расчёте на 1 м² поверхности.

Трофические уровни озера

Уровень	Биомасса летом, г/м²	Продукция за год, г/м²
Фитопланктон (продуценты)	5	600
Зоопланктон (консументы I порядка)	15	60
Планктоноядные рыбы (консументы II порядка)	8	5
Хищные рыбы (консументы III порядка)	3	0,5

Продукция за год, г/м²



1. Опишите форму пирамиды биомассы и пирамиды продукции. Какая из них «перевёрнута» и где?
2. Во сколько раз за год «обновляется» биомасса фитопланктона и зоопланктона (продукция : биомасса)? Объясните парадокс «маленькой» биомассы водорослей.
3. Какую долю продукции предыдущего уровня составляет продукция следующего? Сравните с правилом 10 %.
4. Куда уходит остальная энергия и какую роль в этом играют бентос и редуценты?

Ключ

1. Биомасса: 5 < 15 > 8 > 3 — основание пирамиды меньше второго уровня, пирамида частично перевёрнута. Продукция: 600 > 60 > 5 > 0,5 — правильная пирамида.
2. Фитопланктон: 600 : 5 = 120 раз за год, зоопланктон: 60 : 15 = 4 раза. Водоросли размножаются быстро и сразу выедаются, поэтому их «запас» в каждый момент мал, а годовой «урожай» велик.
3. 60 : 600 = 10 %; 5 : 60 ≈ 8,3 %; 0,5 : 5 = 10 % — близко к правилу 10 %.
4. Бóльшая часть энергии тратится на дыхание и рассеивается в виде тепла; неусвоенные и отмершие остатки опускаются на дно и питают детритную цепь: бентос (личинки хирономид, олигохеты) и бактерии-редуценты, которые возвращают в воду биогенные элементы.

11 класс · 20 минут · лист + ключ

Рабочий лист «Рабочий лист: экосистема озера»

Отвечайте кратко; расчёты — с единицами. Данные в заданиях 3–4 учебные.

▼ **Источники фактов и чисел (8)**

- в Байкале и на его берегах около 2630 видов и разновидностей животных и водных растений, две трети — эндемики; рачок эпишура пропускает через себя воду и помогает ей оставаться прозрачной; голомянка — живородящая рыба — страница региона на сайте
- в зообентосе у КОС г. Байкальска (2024) обнаружены 7 групп беспозвоночных: хирономиды, олигохеты, амфиподы, моллюски, нематоды, полихеты и турбеллярии — gidrohim.com
- вода наиболее плотна при +4 °C; у дна глубоких пресных озёр вода около +4 °C — учебная константа (физика, биология)

- правило экологической пирамиды (правило 10 %): на следующий трофический уровень переходит около 10 % энергии (продукции) предыдущего — учебная константа (биология 11 класс; ФРП: «Экологические пирамиды: продукции, численности, биомассы»)
- $M(O_2)$ = 32 г/моль; $M(C_6H_{12}O_6)$ = 180 г/моль; уравнение фотосинтеза $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ — учебная константа
- параметры опыта 1: веточка элодеи около 10 см; лампа на расстоянии 10, 20 и 40 см; адаптация 2 минуты, счёт за 1 минуту 3 раза — параметры учебного опыта (подобраны для урока)
- параметры опыта 2: контейнер объёмом 2–3 л — параметры учебного опыта (подобраны для урока)
- термины ФРП: водные экосистемы, биогеоценозы, фитопланктон, зоопланктон, бентос — edsoo.ru