

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО БИОЛОГИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРАВИЛА Р. ЛИНДЕМАНА**

**EXAMPLES OF SOLVING PROBLEMS IN BIOLOGY USING  
R. LINDEMAN'S RULE. PART 1**

**Е. Г. Шевчук<sup>1</sup>, О. В. Ковалева<sup>2</sup>  
E. G. Shevchuk<sup>1</sup>, O. V. Kovaleva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Государственное учреждение образования «Средняя школа № 9 г. Гомеля»,  
г. Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени  
Франциска Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

*В работе приводятся примеры решения типовых задач по биологии с использованием правила Р. Линдемана различных уровней сложности, которые предлагаются абитуриентам при репетиционном и централизованном тестировании. Как показала практика, решение таких и более сложных задач вызывает затруднения не только у абитуриентов, но и у педагогов.*

*Ключевые слова: правило Р. Линдемана, продуценты, консументы, энергия, пищевая цепь.*

*The paper provides examples of solving typical problems in biology using R. Lindemann's rule of different levels of complexity, which are offered to applicants during rehearsal and centralized testing. As practice has shown, the solution of such and more complex problems causes difficulties not only for applicants, but also for teachers.*

*Keywords: R. Lindemann's rule, producers, consumers, energy, food chain.*

**Введение.** Абитуриенты, поступающие для получения I степени высшего образования в учреждения высшего образования Республики Беларусь на специальности «Биология», «Химия лекарственных соединений», «Биохимия», «Микробиология», «Лечебное дело», «Биоэкология», «Психология» и другие, сдают экзамен по биологии в форме централизованного тестирования. Как показала многолетняя практика авторов данной статьи, при преподавании биологии в средней школе, основ экологии и общей экологии в учреждениях высшего образования, проведении факультативных занятий, курсов повышения квалификации, семинаров и консультаций для школьных учителей возникает целый ряд вопросов при решении задач с применением правила Р. Линдемана. Зачастую не только абитуриенты, но и сами педагоги испытывают определенные трудности в решении вышеуказанных задач. Свидетельство тому – неоднократные обращения учителей среднеобразовательных школ г. Гомеля и Гомельской области за помощью и разъяснениями к авторам статьи. На наш взгляд, вышеотмеченным и обусловлена актуальность темы данной публикации.

**Цель работы** – осуществить подробный пошаговый разбор типовых задач по биологии различных уровней сложности с использованием правила Р. Линдемана.

**Материалы и методика исследований.** Основой данной статьи послужили условия задач, которые предлагались абитуриентам при проведении централизованного или репетиционного тестирования в различные годы и вызвавшие наибольшее количество вопросов учителей общеобразовательных школ.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ предлагаемых абитуриентам задач с использованием правила Р. Линдемана выявил несколько проблемных моментов.

Во-первых, не всегда корректно формулируется условие задачи. Например, в тех случаях, когда приводится перечень организмов, нужно составить пищевую цепочку и далее – решить задачу. Однако ни слова не говорится о том, что не все предлагаемые организмы должны быть задействованы, что нужно составить возможную трофическую цепь. В итоге абитуриент не может увязать водоросли, прудовика, козу, лисицу, человека, эндопаразитов в одну пищевую цепочку, тратя на это большое количество времени, нервничая, переживая и т. д. Полагаем, что условия задач нужно формулировать четко, без вариантов и допущений, а если таковые существуют – оговаривать их в условии. Нечеткими формулировками мы запутываем абитуриента, сбиваем его с верного пути решения, усиливаем и без того имеющееся волнение. Кроме того, если с помощью задания проверяется не только умение применять правило Р. Линдемана, но и знание цикла развития какого-то паразита, то и балл за это задание должен быть высоким. Хотя, на наш взгляд, не стоит усложнять задачи таким образом. Для абитуриента вступительные испытания – это уже стрессовая ситуация, выводящая его из чувства равновесия. А задания такого типа являются для тестируемого своего рода ловушкой, камнем преткновения, который изначально может привести к невозможности решения задачи.

Во-вторых, задания должны быть правдоподобными. Не может человек со средней массой тела за день съесть несколько килограмм мяса или кролик – несколько десятков килограмм моркови! Решая такую задачу, абитуриент получает математически правильный ответ, однако думает, что цифры далеки от реалий, что он ошибся где-то в расчетах, пересчитывает снова и снова и в итоге просто убирает цифру «0», понимая, что в естественной среде именно эта величина реальная. Результат – ответ неверный, задание считается невыполненным и не засчитывается. Итоговый балл по тесту снижается, а ведь именно часть «В» наиболее «весомая» в централизованном тестировании.

В-третьих, несложные задачи с пищевой цепью на правило Р. Линдемана не вызывают большого количества вопросов. Трудности как у абитуриентов, так и у некоторых педагогов возникают, когда в условии задач присутствуют траты на дыхание, содержание сухого вещества, окисление углеводов, валовая первичная продукция и тому подобное. Практика показывает, что школьники в большинстве случаев совсем не ориентируются в данных проблемных полях, не знают даже элементарных терминов. После прохождения репетиционного тестирования они обращались к учителям биологии в своей школе за разъяснениями. Однако не все из них смогли помочь своим ученикам. В итоге, школьники обращались к нам. К слову, не только ученики, но и педагоги приходят за консультацией. Не видим в этой ситуации ничего постыдного, наоборот – учиться, узнавать что-то новое, не стесняться попросить о помощи, уточнить какой-то момент – это похвально. Однако некоторые из учителей порой задавали вопросы, которые показывали их некомпетентность. Например, «Не понимаю, к чему применить окисление углеводов. Это нужно записать какую-то химическую реакцию?», «Сухое вещество на 70 % состоит из углеводов, а кролики едят ведь не сухую морковку. Что с этими цифрами делать?», «Может ли лиса съесть козу?», «Продуценты дышать не могут, причем здесь траты на

дыхание?», «Если есть определенное количество энергии продуцентов, то почему на уровне вторичных консументов оно не в 100 раз меньше (к задаче 5)?» и прочие.

Трудности и основные моменты, на которые следует обращать внимание при решении экологических задач, отмечены в работах [1–2].

С примерами решения несложных типовых задач можно ознакомиться в статье Г. Л. Осипенко [3]. В данной же работе приведен разбор задач, решение которых вызвало наибольшее количество вопросов у приходивших на консультации абитуриентов и школьных педагогов. При решении принимаем следующие сокращения (таблица 1).

Таблица 1. – Принятые сокращения

Сокращение	Значение
П	Продуценты
К <sub>1</sub>	Консументы первого порядка
К <sub>2</sub>	Консументы второго порядка
К <sub>3</sub>	Консументы третьего порядка
К <sub>4</sub>	Консументы четвертого порядка
ВПП	Валовая первичная продукция
ЧПП	Чистая первичная продукция

Полагаем, приводить в данной работе само правило будет излишним, оно присутствует в каждом учебнике по общей экологии [4–5 и др.].

Задача 1. Биомасса продуцентов экосистемы составляет 400 т, в 1 кг запасается 100 кДж энергии. Какое количество особей консументов четвертого порядка может вырасти в этой экосистеме, если в 1 кг их тела запасается 200 кДж энергии, а масса одной особи равна 5 кг. Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Р. Линдемана.

Решение:

1) Составляем пищевую цепочку:

П → К<sub>1</sub> → К<sub>2</sub> → К<sub>3</sub> → К<sub>4</sub> 2) По условию задачи, биомасса всех продуцентов составляет 400 т, в 1 кг запасается 100 кДж энергии. Значит мы можем рассчитать количество энергии, запасаемое всеми продуцентами (переводим величины в одинаковые размерности, то есть 400 т = 400000 кг = 4×10<sup>5</sup> кг): в 1 кг П – 100 кДж в 4×10<sup>5</sup> кг П – x кДж

$$x = \frac{4 \times 10^5 \times 100}{1} = 4 \times 10^7 \text{ кДж.}$$

3) Составляем схему потока энергии по пищевой цепочке (по правилу Р. Линдемана), согласно которой консументы четвертого порядка получают 4×10<sup>3</sup> кДж энергии:

$$4 \times 10^7 \quad 4 \times 10^6 \quad 4 \times 10^5 \quad 4 \times 10^4 \quad 4 \times 10^3 \text{ кДж}$$

$$\text{П} \quad \rightarrow \quad \text{К}_1 \quad \rightarrow \quad \text{К}_2 \quad \rightarrow \quad \text{К}_3 \quad \rightarrow \quad \text{К}_4$$

4) Зная, что в 1 кг тела консументов четвертого порядка запасается 200 кДж энергии, рассчитываем общий вес организмов этого уровня:

в 1 кг  $K_4 - 200$  кДж в

$x$  кг  $K_4 - 4 \times 10^3$  кДж

$$x = \frac{4 \times 10^3}{200} = 20 \text{ кг.}$$

5) Так как масса одной особи консументов четвертого порядка составляет 5 кг, определяем количество особей  $K_4$ :

20 кг : 5 кг = 4 особи. Ответ:

4.

Задача 2. Пастбищная цепь луга состоит из следующих звеньев (перечислены в случайном порядке!): ландыш, жук-листоед, уж, лягушка. На лугу обитает 6 особей ужа. Определите, сколько валовой первичной продукции (кг) необходимо для прироста каждого ужа на 50 г, если в данной пищевой цепи соблюдается правило 10 %, траты продуцентов на дыхание составляют 50 %, в 100 г продуцентов заключено 200 кДж энергии, а в 100 г консументов третьего порядка – 500 кДж.

Решение:

1) Составляем пищевую цепочку:

Ландыш (П) → жук ( $K_1$ ) → лягушка ( $K_2$ ) → уж ( $K_3$ )

2) По условию задачи, на лугу обитает 6 особей ужа, прирост каждой особи составляет 50. Значит прирост всех ужей составит:

$$6 \times 50 = 300 \text{ г.}$$

3) Зная, что в 100 г тела ужей (консументов третьего порядка) заключено 500 кДж энергии, рассчитываем количество энергии, заключенное в 300 г тела ужей:  
в 100 г  $K_3 - 500$  кДж

в 300 г  $K_3 - x$  кДж

$$x = \frac{300 \times 500}{100} = 1500 \text{ кДж.}$$

4) Составляем схему потока энергии по пищевой цепочке (по правилу Р. Линдемана, в обратном порядке: для производства 1500 кДж энергии на четвертом уровне пищевой цепи её должно быть в 10 раз больше на каждом предыдущем уровне), согласно которой энергия продуцентов составляет  $15 \times 10^5$  кДж:

$15 \times 10^5$        $15 \times 10^4$        $15 \times 10^3$        $15 \times 10^2$  кДж  
П      →       $K_1$       →       $K_2$       →       $K_3$

5) Учитывая, что на дыхание продуценты затрачивают 50 % энергии, то первичная энергия продуцентов должна быть в 2 раза больше и равна:

$$15 \times 10^5 \times 2 = 3 \times 10^6 \text{ кДж.}$$

б) Так как в 100 г (0,1 кг) продуцентов (ландыша) заключено 200 кДж энергии, определяем количество продуцентов (в кг) для производства  $3 \times 10^6$  кДж энергии. При этом приводим все величины к одинаковым размерностям:

$$\begin{aligned} &\text{в } 0,1 \text{ кг П} - 200 \text{ кДж} \\ &\text{в } x \text{ кг П} - 3 \times 10^6 \text{ кДж} \end{aligned}$$

$$x = \frac{3 \times 10^6 \times 0,1}{200} = 1500 \text{ кг.}$$

Ответ: 1500.

Задача 3. Два человека массой 70 кг решили питаться в течение суток исключительно крольчатинной, потребляя с ней 40 ккал энергии на 1 кг массы тела. Пищей для кроликов служит только морковь. Содержание сухого вещества в моркови составляет 25 %, сухое вещество на 70 % состоит из углеводов. При окислении 1 г углеводов в организме освобождается 4 ккал энергии (энергетический вклад других органических соединений не учитывайте). В данной пищевой цепи соблюдается правило 10 %. Рассчитайте сырую массу моркови (кг), требуемую для кормления кроликов, чтобы получить необходимую для питания двух человек в течение суток крольчатину.

Решение:

1) Составляем пищевую цепочку:

Морковь (П) → кролики (К<sub>1</sub>) → человек (К<sub>2</sub>)

2) Масса двух человек составит:

$$2 \times 70 = 140 \text{ кг.}$$

3) Определим энергию необходимой для человека крольчатинной: на 1 кг массы тела К<sub>2</sub> – 40 ккал

на 140 кг массы тела К<sub>2</sub> – x ккал

$$x = \frac{140 \times 40}{1} = 5600 \text{ ккал.}$$

4) Определяем, сколько энергии потребляют кролики при съедании моркови (по пищевой цепочке, по правилу Р. Линдемана, в обратном порядке): для производства 5600 ккал энергии на втором уровне пищевой цепи её должно быть в 10 раз больше на первом, значит энергия продуцентов составляет 56000 ккал:

56000 ккал                      5600 ккал  
П                      →                      К<sub>1</sub>                      →                      К<sub>2</sub>

5) Рассчитаем массу углеводов, имеющую такой энергетический запас:

1 г углеводов выделяет при окислении – 4 ккал

$x$  г углеводов выделяет при окислении – 56000 ккал

$$x = \frac{56000 \times 1}{4} = 14000 \text{ г} = 14 \text{ кг.}$$

б) Определяем массу сухого вещества моркови, зная, что оно на 70 % состоит из углеводов:

14 кг углеводов соответствует – 70 %

$x$  кг углеводов соответствует – 100 %

$$x = \frac{14 \times 100}{70} = 20 \text{ кг.}$$

7) Определяем сырую массу моркови, зная, что содержание сухого вещества в ней составляет 25 %:

20 кг сухого вещества соответствует – 25 %

$x$  кг сухого вещества соответствует – 100 %

$$x = \frac{20 \times 100}{25} = 80 \text{ кг.}$$

Ответ: 80.

Задача 4. Валовая первичная продукция экосистемы N составляет 12000 кг. Траты продуцентов на дыхание составляют 60 %, а в 1 кг фитомассы заключено 200 кДж энергии. Рассчитайте максимальное количество перепелятников, которые могут прокормиться в данной экосистеме, если в пищевой цепи перепелятники занимают III трофический уровень, средняя масса одной птицы 200 г, а в 100 г тела заключено 400 кДж энергии. Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом 10 %.

Решение:

1) Составляем пищевую цепочку:



2) Так как на дыхание продуценты тратят 60 %, чистая первичная продукция (ЧПП) составит:

$$100 - 60 = 40 \text{ \%}.$$

3) Определяем массу (в кг) ЧПП:

$$12000 \text{ кг} - 100 \text{ \%}$$

$$x \text{ кг} - 40 \%$$

$$x = \frac{12000 \times 40}{100} = 4800 \text{ ккал}$$

4) Зная, что в 1 кг фитомассы заключено 200 кДж энергии, определяем количество энергии, заключенное во всех продуцентах:

$$\begin{aligned} &\text{в 1 кг П} - 200 \text{ кДж} \\ &\text{в 4800 кг П} - x \text{ кДж} \end{aligned}$$

$$x = \frac{4800 \times 200}{1} = 960000 \text{ кДж.}$$

5) Составляем схему потока энергии по пищевой цепочке. Согласно правилу Р. Линдемана, перепелятникам ( $K_2$ ) доступно 9600 кДж энергии:

$$\begin{array}{ccccc} 960000 & & 96000 & & 9600 \\ \text{П} & \rightarrow & K_1 & \rightarrow & K_2 \end{array}$$

6) Определяем массу  $K_2$  (перепелятников), учитывая, что в 100 г их тела заключено 400 кДж энергии:

$$\begin{aligned} &\text{в 100 г } K_2 - 400 \text{ кДж} \\ &\text{в } x \text{ г } K_2 - 9600 \text{ кДж} \end{aligned}$$

$$x = \frac{9600 \times 100}{400} = 2400 \text{ г.}$$

7) Согласно условию задачи, средняя масса одной птицы 200 г, значит максимальное количество перепелятников, которые могут прокормиться в данной экосистеме, составит:

$$2400 : 200 = 12 \text{ особей.}$$

Ответ: 12.

Задача 5. Экологическая пирамида охотничьего угодья имеет следующий вид (рисунок 1). Используя данные пирамиды, определите, разрешение на отстрел скольких волков (консументов второго порядка) можно выдать для восстановления экологического равновесия, если известно, что в теле одного волка сохраняется 400 кДж полученной энергии. Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Р. Линдемана.



**Рисунок 1. – Экологическая пирамида охотничьего угодья**

Решение:

- 1) Составляем пищевую цепочку:



- 2) Составляем схему потока энергии по пищевой цепочке. Согласно правилу Р. Линдемана, волкам ( $\text{K}_2$ ) доступно  $2,4 \times 10^3$  кДж энергии:

$$2,4 \times 10^5 \quad 2,4 \times 10^4 \quad 2,4 \times 10^3$$

$$\text{П} \quad \rightarrow \quad \text{K}_1 \quad \rightarrow \quad \text{K}_2$$

- 3) Определяем количество волков, которые могут существовать в данном охотничьем угодье:

в теле 1 волка сохраняется – 400 кДж энергии

в телах  $x$  волков сохраняется –  $2,4 \times 10^3$  кДж энергии

$$x = \frac{2,4 \times 10^3 \times 1}{400} = 6 \text{ волков.}$$

- 4) Определяем фактическое количество волков, которые живут в данном охотничьем угодье согласно условию задачи:

в теле 1 волка сохраняется – 400 кДж энергии

в телах  $x$  волков сохраняется –  $1,2 \times 10^4$  кДж энергии

$$x = \frac{1,2 \times 10^4 \times 1}{400} = 30 \text{ волков.}$$

- 5) Так как в данном охотничьем угодье энергия продуцентов составляет  $2,4 \times 10^5$  кДж, в ней могут существовать только 6 волков, то разрешение на отстрел может быть выдано на 24 волка:



$$30 - 6 = 24 \text{ волка.}$$

Ответ:

24.

**Заключение.** Анализ задач с использованием правила Р. Линдемана, приводящихся в тестах для абитуриентов, выявил несколько проблемных моментов: не всегда корректная и четкая формулировка условия; конечный результат, который не соответствует реальным цифрам в природных экосистемах; сложности в решении не только для проходящих централизованное тестирование, но и учителей биологии.

Авторы статьи надеются, что данная публикация частично снимет некоторые вопросы, возникающие при самостоятельном решении задач, что статья будет полезной не только для абитуриентов, но и школьных педагогов.

Дальнейшие публикации авторов по тематике статьи будут направлены на подробный анализ и решение задач на правило Р. Линдемана с повышением их уровня сложности, а также на решение других задач, предлагаемых абитуриентам при сдаче репетиционного и централизованного тестирования по биологии.

#### Список использованной литературы

1. Литвенкова, И.А. Проблемные вопросы при решении задач по экологии в курсе «Биология» средней общеобразовательной школы / И.А. Литвенкова, Е.В. Шаматульская, М.М. Данюк // Материалы XXIV (71) Региональной науч.-практич. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов. В 2-х т. ; редкол.: И.М. Прищепа [и др.]. – Витебск : ВГУ им. М.П. Машерова, 2019. – С. 118–119.
2. Колчанова, Л.В. Решение задач с экологическим содержанием / Л.В. Колчанова // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. 2010. – № 3. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 143–146.
3. Осипенко, Г.Л. Перенос энергии по трофическим уровням пищевой цепи: примеры решения типовых задач / Г.Л. Осипенко // Біялогія: Праблемы выкладання. – 2012. – № 5. – С. 26–28.
4. Наумова, Л.Г. Основы общей экологии : учеб. пособие / Л.Г. Наумова, Б.М. Миркин. – М. : Логос, 2003. – 239 с.
5. Маврищев, В.В. Основы общей экологии : учеб. / В.В. Маврищев. – Минск, 2020. – 447 с.