

ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ ПО ТРОФИЧЕСКИМ УРОВНЯМ ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ

(примеры решения типовых задач)

Г. Л. Осипенко, ассистент кафедры экологии Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины

Живые организмы в экосистеме, мёртвые их остатки и их отбросы являются пищей для других организмов. Питательные остатки, таким образом, переходят на одного организма в другой, образуя непрерывные пищевые цепи. К трофическому уровню принадлежат организмы, составляющие пищевые цепи и получающие пищу через равное количество звеньев этой цепи. В 1942 г. гидробиолог Р. Линдеман (США) разработал «трофо-динамический аспект экологии». Опираясь на теоретические построения и экспериментальные данные, Р. Линдеман сделал следующий вывод: при переходе с одного трофического уровня на другой будет передаваться не более 10 % энергии высокого качества, запасённой на предыдущем уровне. Около 90 % от ассимилированной организмом энергии рассеивается в виде тепловой энергии. Впоследствии это правило вошло в историю как «правило 10 %». Экологическая пирамида не может состоять из большого количества этажей, так как организмы верхних этажей будут получать очень мало энергии, а следовательно, иметь малую численность. Иногда правило Линдемана нарушается, в частности при развитии крупных колониальных протистов, вызывающих «цветение» воды. Данные организмы практически не используются в пищевых цепях. И в результате этого соотношение величин приростов продуцентов и консументов 1-го порядка будет значительно меньшим, чем 10 %.

При изучении темы «Трофические уровни в экосистемах» для закрепления и понимания практической значимости закона Линдемана предлагаем примеры

решения типовых задач для учащихся с разъяснением хода их решения.

Задача 1. Схема трофической цепи на которой экосистема состоит из следующих звеньев, которые даны в случайной последовательности: волк, травы, копытные. Суточный прирост одного волка составляет 180 ккал, а травы покрывает экосистему сплошь, и их суточная продукция — 90 ккал/м². Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Линдемана. Какова минимальная территория (м²) данной экосистемы, обеспечивающей жизнедеятельность пяти волков?

Решение. Перед началом расчётов составим пищевую цепь данной экосистемы: травы (продуценты, I трофический уровень) → копытные (травоядные животные, консументы I-го порядка, II трофический уровень) → волки (хищник, консументы 2-го порядка, III трофический уровень). Учитывая правило Линдемана, находим количество энергии, которое концентрируется на III энергетическом уровне, так как по условию задачи нам надо определить минимальную территорию экосистемы, обеспечивающей жизнедеятельность пяти волков. Так как суточная первичная продукция растений составляет 90 ккал/м², то: $90 \text{ ккал/м}^2 \times 10 \% = 9 \text{ ккал/м}^2$ (такое количество энергии концентрируется на II трофическом уровне); $9 \text{ ккал/м}^2 \times 10 \% = 0,9 \text{ ккал/м}^2$ (такое количество энергии концентрируется на III трофическом уровне). Находим суточный прирост пяти волков: $180 \text{ ккал} \times 5 = 900 \text{ ккал}$.

Находим минимальную территорию данной экосистемы, на которой могут про существовать пять волков: $900 \text{ ккал} / 0,9 \text{ ккал/м}^2 = 1000 \text{ м}^2$.
 Ответ: 1000 м^2 .

Задача 2. На поверхность сообщества поступает 2×10^7 ккал солнечной энергии, а КПД фотосинтеза в лесу составляет всего лишь 1 %. В 1 кг массы синиц (консументы 2-го порядка) содержится 4000 ккал энергии. Средняя масса этих птиц 25 г. Какое максимальное количество синиц сможет прокормиться в этом сообществе? Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Линдемана.

Решение. Пищевая цепь, которая сформировалась в данном лесу, согласно условию: растения (продуценты) → консументы 1-го порядка (по условию не уточняется, какими организмами они представлены) → синицы (консументы 2-го порядка). Для начала найдём усвоенную растениями энергию при КПД фотосинтеза 1 %: $2 \times 10^7 \text{ ккал} \times 1 \% = 2 \times 10^5 \text{ ккал}$ солнечной энергии концентрируют в себе растения. Теперь, согласно правилу Линдемана, найдём, сколько же энергии концентрируют следующие трофические уровни, учитывая то, что по условию задачи синицы — консументы 2-го порядка:

$2 \times 10^5 \text{ ккал} \times 10 \% = 2 \times 10^4 \text{ ккал}$ (столько энергии получают консументы 1-го порядка); $2 \times 10^4 \text{ ккал} \times 10 \% = 2 \times 10^3 \text{ ккал}$ (такое количество энергии будет усвоено консументами 2-го порядка). Так как известно, сколько энергии содержится в 1 кг массы синиц, то найдём биомассу (биомасса — выраженное в единицах массы количество живого вещества тех или иных организмов) синиц данного лесного сообщества.

Составляем пропорцию: $1 \text{ кг} = 4 \times 10^3 \text{ ккал}$, $x \text{ кг} = 2 \times 10^3 \text{ ккал}$, откуда $x = 0,5 \text{ кг}$.

Так как одна синица весит 25 г, а биомасса всех синиц 0,5 кг, то теперь мы можем ответить на вопрос задачи: $0,5 \text{ кг} (500 \text{ г}) / 25 \text{ г} = 20$ синиц.

Ответ: 20 синиц.

Задача 3. Биомасса популяции зайцев в охотничьем угодье составляет третью часть биомассы всех консументов 1-го по-

рядка. В 1 кг консументов 1-го порядка запасается 500 кДж энергии. Масса одного зайца — 4,5 кг. На какое количество зайцев можно выдать лицензию охотнику, учитывая, что половина популяции зайцев должна обязательно сохраниться, а продуценты биопеноса охотничьего угодья запасают $1,35 \times 10^6$ кДж энергии? Процесс трансформации энергии с одного трофического уровня на другой протекает в соответствии с правилом Линдемана.

Решение. Пищевая цепь, отражённая в условии задачи, включает только два звена: продуценты → консументы 1-го порядка (зайцы), поэтому согласно «правилу 10 %» найдём, сколько энергии усваивают зайцы в данной цепи: $1,35 \times 10^6 \text{ кДж} \times 10 \% = 1,35 \times 10^5 \text{ кДж}$ энергии.

Учитывая то, что нам известно количество энергии, которое запасает 1 кг консументов 1-го порядка, то найдём биомассу (см. задача 2) всех консументов 2-го порядка: $1 \text{ кг} = 500 \text{ кДж}$, $x \text{ кг} = 1,35 \times 10^5 \text{ кДж}$, откуда $x = 270 \text{ кг}$.

Так как биомасса зайцев — это только $1/3$ биомассы всех консументов 1-го порядка, то $270 \text{ кг} / 3 = 90 \text{ кг}$ — биомасса всех зайцев в лесной экосистеме. Лицензию можно выдавать с учётом того, что половина популяции должна сохраниться: $90 \text{ кг} / 2 = 45 \text{ кг}$, т. е. сохранится 45 кг, а лицензию можно выдавать тоже на 45 кг биомассы зайцев. Но в задаче спрашивается, на какое количество зайцев. Учитывая, что один заяц весит 4,5 кг: $45 \text{ кг} / 4,5 \text{ кг} = 10$ зайцев.

Ответ: 10 зайцев.

Задача 4. Одна мышь за год съедает около 1 кг растительной пищи. Рыси могут съесть до 2 % популяции мышей (в среднем каждая особь съедает по 400 мышей в год). Какое максимальное количество рысей сможет выжить в сообществе с фитомассой 8000 т, где мыши используют в пищу 1 % фитомассы и являются основной пищей для рысей?

Решение. В условии данной задачи не заложено правило Линдемана, но понимание хода её решения тоже немаловажно для учащихся. Находим, какую массу растений используют в пищу мыши в сообществе: $8000 \text{ тонн} \times 1 \% = 80 \text{ тонн}$,

Теперь, учитывая то, что мы знаем, сколько съедает один грызун растительной пищи, мы сможем найти, какое количество мышей сможет выжить в лесу, питаясь растительной пищей: $80 \text{ т} (80\,000 \text{ кг}) / 1 \text{ кг} = 80\,000$ мышей.

Находим, какое количество мышей могут съесть рыси, исходя из условия задачи: $80\,000 \text{ мышей} \times 2\% = 1600$ мышей. И теперь можем определить, какое же количество рысей сможет выжить в сообществе, учитывая то, что одна рысь съедает по 400 мышей в год: $1600 / 400 = 4$ рыси.

Ответ: 4 рыси.

Задача 5. Пищевая цепь включает следующие звенья: тимофеевка → кузнечик → трясогузка → сова. На I трофическом уровне запас энергии в виде чистой первичной продукции составляет 6×10^4 кДж. На II и III трофических уровнях на прирост биомассы организмы используют по 10 % своего рациона, на дыхание — 65 %, с экскрементами выделяют 30 % всей энергии рациона. Рассчитайте, сколько

энергии (кДж) используют консументы 3-го порядка на прирост биомассы?

Решение. Так как чистая первичная продукция на I трофическом уровне составляет 6×10^4 кДж и консументы 1-го и 2-го порядка тратят по 10 % своего рациона на прирост биомассы, то найдём, какое это количество энергии: $6 \times 10^4 \text{ кДж} \times 10\% = 6 \times 10^3$ кДж (на II трофическом уровне), $6 \times 10^3 \text{ кДж} \times 10\% = 6 \times 10^2$ кДж (на III трофическом уровне).

Т. е. 6×10^2 кДж — это те 100 % энергии, которые получает III трофический уровень. Но из них на прирост биомассы они тратят только 5 % ($100\% - 65\% \text{ дыхания} - 30\% \text{ экскременты}$): $6 \times 10^2 \text{ кДж} \times 5\% = 30 \text{ кДж}$.

Ответ: 30 кДж.

Надеемся, что наши рекомендации по решению задач будут полезны для учителей биологии в процессе подготовки к урокам, при проведении факультативных занятий, а также подготовке учащихся к сдаче ЦТ.

Желаем успехов!

Да ведама аўтараў і падпісчыкаў

Рэдакцыя прымае да разгляду матэрыялы на беларускай ці рускай мове аб'ёмам да 20 машынапісных старонак у двух экзэмплярах. Таксама падасца электронны варыянт на дыску ці дыскце (можна даслаць электроннай поштай на адрас aiv@aiv.by).

Артыкулы павінны быць надрукаваны на белай паперы праз два інтэрвалы на адным баку ліста. Фотазадымкі прымаюцца добрай якасці.

Неабходна ўказаць прозвішча, імя і імя па бацьку аўтара, месца яго працы, навуковую ступень, навуковае званне, хатні адрас, нумары тэлефонаў, пашпартныя звесткі (нумар, катэгорыя і кім выдадзены, асабісты нумар, адрас прапіскі ці рэгістрацыі). Без гэтых звестак матэрыялы разглядацца не будуць.

Дасылаючы ў часопіс распрацоўкі ўрокаў, абавязкова пазначайце клас, катэгорыю выкладання ў школе.

Навуковыя матэрыялы трэба рыхтаваць у адпаведнасці з «Інструкцыяй па афармленні дысертацый, аўтараферата і публікацый па тэме дысертацый».

Наколькі наш часопіс не паступае ў рознічны гандаль, набываць яго раім па трэбную колькасць экзэмпляраў часопіса з Вашым артыкулам на нумарах тэлефонаў 297-93-22 і 297-93-25 (аддзел маркетынгу).

Рэдакцыя не заўсёды падзяляе думкі аўтараў. Алюшніня нясуць адказнасць за ўсю інфармацыю, якая ўтрымліваецца ў артыкуле, у адпаведнасці з Законам Рэспублікі Беларусь «Аб сродках масавай інфармацыі».

Рукапісы аўтарам не вяртаюцца.