
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОГО МОРЯ

Т.С. Петина, Е.В. Павлова, Г.Н. Миронов

Изучение экологических систем необходимо для прогнозирования массовых биологических явлений в водоемах. Экологической системой называют биотоп с его населением [4]. Через эту систему проходит поток веществ и энергии. Одной из главных проблем при ее изучении является проблема эффективности использования энергии экосистемами.

Поглощенная фитопланктоном солнечная энергия передается к последующим трофическим уровням. На каждом таком уровне одна часть потребленной энергии выделяется в виде непереваренных остатков, другая — усваивается. Одна часть усвоенной энергии расходуется на обмен организмов, другая — идет на рост организмов и накапливается в них. Иначе говоря, осуществляется балансовое равенство: рацион = прирост + траты на обмен + неусвоенное вещество.

В этой работе приведены некоторые результаты исследований пелагических экосистем Черного моря, в частности, результаты изучения энергетического баланса типичных массовых организмов экосистем и использование энергии популяциями этих организмов, а затем целыми сообществами.

В Черном море в пелагиали хорошо выражено двухслойное расположение комплексов организмов. Первый комплекс, эпипланктонный, обитает в верхнем 5-20-метровом слое под термоклином. Этот слой хорошо освещен, более прогрет, в течение большей части года имеет более высокий темп продуцирования фитопланктона, населен организмами, которые не мигрируют и почти никогда его не покидают.

Второй комплекс, батипланктонный, обитает на глубине от 5-20 до 60-150 м в зоне зимнего конвективного перемешивания. Этот холод-

ный слой, температура и количество фитопланктона в котором понижаются с глубиной, населен мигрирующими организмами. Это две экосистемы и два сообщества организмов.

Из первого комплекса были исследованы *Acartia clausi* Giesbr., *Penilia avirostris* Dana, *Podon polyphaemoides* Leusk., *Evadne spinifera* Mul. и из второго комплекса - *Calanus helgolandicus* (Claus).

Для определения составных частей балансового энергетического равенства использовались экспериментальные и полевые материалы. Эксперименты проводились в лабораториях экспедиционного судна "Академик А. Ковалевский" и Института биологии южных морей АН УССР, все материалы получены, главным образом, на многосуточных станциях в центральных районах западной половины Черного моря и в прибрежной зоне.

Траты на обмен определялись по потребленному животными кислороду или расходу жирового запаса; прирост - по разнице в весе между отдельными возрастными стадиями на основе кривых роста при соответствующих температурах; рационы - по количеству непосредственно потребленной пищи или наполнению кишечника и времени прохождения пищи по кишечнику, или по балансовому равенству.

Энергетический баланс изученных животных на разных стадиях развития представлен в таблице. В рассматриваемом случае в обеих экосистемах вся продукция фитопланктона выедалась.

У *Acartia clausi* (Copepoda), представителя эпиланктонного комплекса, расход энергии на обмен в онтогенезе относительно веса тела уменьшается, что связано, вероятно, с более совершенным типом движения старших стадий и их более крупными размерами. Копеподы старшего возраста двигаются, главным образом, при помощи ударов брюшка, а науплиусы при помощи взмахов II антенн. У младших копеподитов брюшко как орган движения еще развито слабо. Движение копепод при помощи ударов брюшка более совершенно, так как при нем рачки развивают относительно большие скорости. Науплиусы *Acartia* двигаются со скоростью 0,8 см/сек, половозрелые *Acartia* - 2,5 см/сек.

Наиболее интенсивный прирост в онтогенезе наблюдается у I-III копеподитов. Науплиусы растут слабее, так как вследствие недоразвитости ротовых конечностей и несовершенности движения, они не могут обеспечить себя достаточным количеством пищи для интенсивного роста. Коэффициент использования энергии на рост K_2 /отношение прироста по

Суточный энергетический баланс пелагических животных из различных экосистем черного моря /в % от веса тела, выраженного в калориях/

всей ассимилированной энергии/ у науплиусов равен 0,17, у I-III копеподитов - 0,24. У взрослых рачков роста не обнаружено.

Рационы в онтогенезе аналогично расходу энергии на обмен уменьшаются от 148 до 66% от веса тела /таблица/.

У *Penilia avirostris* и других *Cladocera*, так же принадлежащих к эпипланктонному сообществу, траты на обмен в онтогенезе относительно веса тела увеличиваются. Возрастание энергетических трат у половозрелых особей, очевидно, связано с дыханием зародышей, которых вынашивают самки. Прирост в онтогенезе уменьшается. Однако значительная часть энергии расходуется на образование зародышей.

При сопоставлении клadoцер разных родов / *Penilia*, *Podon*, *Eubadne*/ обнаружена определенная тенденция увеличения трат на обмен /23,8-58%/ и рационов /50-120% от веса тела/ по линии: питание по типу фильтрации - смешанное питание - хищничество.

У всех организмов эпипланктонного сообщества нет резких суточных колебаний жирового запаса. Энергетический баланс организмов батипланктонного сообщества иной.

У *Calanus helgolandicus* расход энергии на обмен относительно веса тела в онтогенезе увеличивается в связи с большими тратами энергии на движение по типу скачков во время суточных вертикальных миграций рачков старшего возраста. Скорость движения науплиусов 2,4 см/сек, движение старших копеподитов при миграциях 12-15 см/сек. Энергия, расходуемая на движение, исходит из жирового запаса, откладываемого вдоль кишечника и ежесуточно восстанавливаемого.

Наиболее интенсивный прирост в онтогенезе у *Calanus*, как и у *Acartia*, наблюдается у I-III копеподитов и по той же причине, что и у *Acartia*, выше, чем у науплиусов. Однако коэффициент использования энергии на рост K_2 у интенсивно растущих стадий *Calanus* равен 0,37-0,43, т.е. вдвое выше, чем у эпипланктонной *Acartia*. Суточные рационы в онтогенезе аналогично расходу энергии на обмен и в противоположность тому, что наблюдается у *Acartia*, увеличиваются от 18,5 до 122,7%.

У второго вида, относящегося к батипланктонному сообществу *Aurelia aurita* (Scyphomedusae), траты энергии на обмен относительно веса тела в онтогенезе постепенно уменьшаются и составляют всего лишь 1/3-1/2%. Такие низкие величины расхода энергии на обмен обус-

ловлены слабым движением медуз с небольшими скоростями /0,66 см/сек/ и высоким содержанием воды в теле.

Суточные рационы *Aurelia* невелики и колеблются от 4 до 35% от веса тела. Основная часть энергии, потребленной вместе с пищей и усвоенной, у *Aurelia* идет на рост. Поэтому коэффициент использования энергии на рост у медуз очень высок и равен 0,78-0,86.

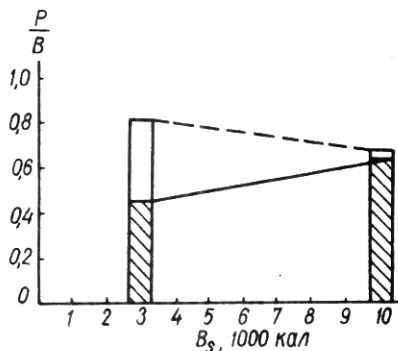
Сопоставляя эти коэффициенты роста у организмов эпи- и батипланктонного сообществ, можно видеть, что батипланктонные формы значительно эффективнее накапливают энергию, чем эпиланктонные.

Таким образом, представители эпиланктонного комплекса, находясь в хорошо освещенных прогреваемых водах, круглосуточно питаются и размножаются, двигаются в течение почти полных суток и тратят значительную часть энергии на обмен. На прирост у них идет обычно меньшая часть усвоенной энергии /24-53%/. Представители батипланктонного комплекса более или менее интенсивно мигрируют в пределах слоя обитания, в светлое время суток находятся в пассивном состоянии у нижней границы этого слоя при низкой температуре, тратят там меньше энергии на обмен и меньше теряют в весе. Сохраненная энергия может пойти на рост и продукцию яиц. Питаются и размножаются очень интенсивно в ночные часы у верхней границы слоя обитания при более высокой температуре. В результате слабого выедания в дневные часы фитопланктон быстро размножается. Хотя в связи с миграциями расходы энергии на обмен у батипланктонных форм могут быть велики, в то же время на прирост у них идет большая часть усвоенной энергии /43-86%/.

Сопоставляя данные по использованию энергии популяциями массовых организмов и планктонными сообществами в целом в обеих экосистемах, можно прийти к следующим выводам.

Батипланктонная экосистема более эффективна, чем эпиланктонная. В эпиланктонном сообществе потенциальный коэффициент $\frac{P_p}{B}$ фитопланктона значительно больше, чем его фактический коэффициент $\frac{P_f}{B}$. Суточная потенциальная продукция фитопланктона P_p * равна $B_1 - B_0$, где $B_1 = B_0 \cdot 2^{\frac{t}{T}}$, т.е. B_1 - конечная биомасса фитопланктона через время t ; B_0 - исходная наличная биомасса; t - одни сутки; T - время между двумя делениями водоросли; P_f - фактическая продукция фитопланктона, созданная в море и равная величине выедания; B_s - био-

* Это - "чистая продукция" по терминологии Кларка [1], или "эффективная продукция" по терминологии Калле [3] и Эльстера [2].



Зависимость между удельной скоростью потенциального $\frac{P_e}{B}$ и фактического $\frac{P_f}{B}$ продуцирования фитопланктона и биомассой сообщества B_s :

$$\square - \frac{P_e}{B}; \quad \text{штриховка} - \frac{P_f}{B}.$$

миграции к верхней границе батипланктонной экосистемы. Фитопланктон, благодаря слабому выеданию в дневное время, интенсивно размножается, создавая более высокую фактическую продукцию.

Нахождение зоопланктона в дневное время в холодных глубоких водах в пассивном состоянии и высокая фактическая продукция фитопланктона за сутки способствует более экономным тратам энергии животными и более полному использованию пищи. Коэффициент использования физиологически полезной энергии на рост K_2 у батипланктонных форм возрастает.

Таким образом, эффективность образования и использования первичной продукции в батипланктонной экосистеме выше, чем в эпипланктонной, в результате чего биомасса батипланктонного сообщества возрастает.

Л и т е р а т у р а

1. Clarke G.L. - Ecol. Monographs, 1946, 16, 321-335.
2. Elster H.J. - Arch. Hydrobiol., 1954, Suppl., 20, 487-523.
3. Kalle K.-Dtsch. Hydrol., 1948, 1, 2-17.
4. Odum E.P. Fundamentals of ecology. Philadelphia a. London, 1959.

масса сообщества /рисунок/. В батипланктонном сообществе это различие очень небольшое. Иначе говоря, фитопланктон в батипланктонном сообществе полнее осуществляет свою потенциальную продукцию.

Это явление оказывается следствием того факта, что батипланктонные животные, состоящие, главным образом, из старших возрастных стадий, выедают фитопланктон периодически, в основном, ночью, вследствие регулярных ми-