

УДК 591.524.13 : 591.173 + 532.5

**О БИОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЯХ ПЛАНКТОНА
И НЕКТОНА****Ю. Г. АЛЕЕВ***Институт биологии южных морей Академии наук Украинской ССР
(Севастополь)*

Рассматриваются биогидродинамические различия планктона и нектона. Даются количественные цифровые критерии для разграничения планктона и нектона, полученные на основании оригинальных экспериментальных исследований. Планктон и нектон рассматриваются как эколого-морфологические типы. Отмечается важное экологическое значение фактора, характеризующего критерием Рейнольдса (Re).

На трудности разграничения планктона и нектона указывали многие исследователи (Зернов, 1949; Зенкевич, 1951; Barthelmes, 1957 и др.). Для конкретизации различий между планктоном и нектоном целесообразно рассмотреть их биогидродинамические особенности и прежде всего — приспособления, определяющие характерную величину гидродинамического сопротивления тела бионта.

Для полностью погруженных плавающих тел, каковы в типичном случае представители планктона, нектона и плавающего бентоса, суммарное сопротивление движению складывается практически из 2 слагаемых: 1) сопротивления формы, обусловленного разностью динамических давлений на переднем и заднем концах движущегося тела, и 2) сопротивления трения, связанного с трением обтекающего потока о поверхность движущегося тела. Величина сопротивления формы определяется прежде всего общей формой движущегося тела, тогда как величина сопротивления трения зависит в основном от характера и площади поверхности этого тела. Если тела имеют более или менее обтекаемую форму, каковыми в типичном случае являются все нектеры, суммарная величина сопротивления складывается в основном из сопротивления трения. У хорошо обтекаемых тел вращения сопротивление трения составляет около 0,9 суммарного сопротивления (Патрашев, 1953). Известно (Прандтль, 1951; Патрашев, 1953; Шлихтинг, 1956 и др.), что сопротивление тел вращения существенно изменяется с изменением числа Рейнольдса (Re), которое характеризует отношение сил инерции к силам трения. Для крупных и быстро плавающих животных (большие значения Re) решающее значение будут иметь силы инерции, для мелких и медленно плавающих (малые значения Re) — силы вязкости.

Очевидно, что при малых значениях Re животное должно быть приспособлено к движению в условиях преобладающего влияния сил вязкости, т. е. к движению в относительно вязкой среде при сравнительно малой инерционности процесса движения. Напротив, при больших значениях Re животное должно быть приспособлено к движению в условиях преобладающего влияния сил инерции, т. е. к движению в относительно мало вязкой среде при сравнительно большой инерционности процесса

движения. Эти различия в направлении комплекса адаптаций, связанных с движением, в основном и формируют различия между планктоном и нектоном.

Можно, например, говорить о нектонной форме тела гидробионтов, которая характеризуется сравнительно большим относительным удлинением, общей сглаженностью контуров и отсутствием выступающих деталей и обеспечивает низкие величины сопротивления при движении в воде (кальмары, пелагические рыбы, китообразные и т. п.). Для планктонной формы тела характерны, напротив, расчлененность общего контура, обилие выступающих деталей и плохая обтекаемость, обеспечивающая хороший парашютный эффект и в то же время создающая высокое сопротивление при поступательном движении (*Entomostraca*, *Schizopoda*, медузы, личинки *Polychaeta* и др.).

Нахождение количественного критерия для разграничения по этому признаку планктона и нектона требует более строгого анализа. Из гидромеханики известно (Прандтль, 1951; Мартынов, 1958; Войткунский, 1964 и др.), что сопротивление движению полностью погруженных тел в значительной мере зависит от их относительного удлинения, т. е. от соотношения их длины и диаметра круга, равновеликого площади наибольшего поперечного сечения тела. В нашем случае искомый показатель U относительной толщины тела животного может быть найден как отношение диаметра D круга, равновеликого площади наибольшего поперечного сечения тела животного к его эффективной длине L_c :

$$U = \frac{D}{L_c} = DL_c^{-1}. \quad (1)$$

Под эффективной длиной L_c тела здесь и ниже понимается длина компактной части тела животного без нитевидных или листовидных придатков, поскольку они не определяют общей картины обтекания тела. Не следует включать в эффективную длину тела также имеющиеся у отдельных рыб (*Xiphioidae*, некоторые *Beloniformes*), ихтиозавров (*Eurhinosaurus*) и китообразных (*Monodon*) копьевидные или мечевидные рострумы, хорошо отграниченные от остальной части головы: такие рострумы в ряде случаев выполняют важную гидродинамическую функцию, однако при анализе гидродинамических качеств компактной части тела длина этой последней, естественно, не должна включать в себя длину рострума.

Экспериментально показано (Павленко, 1953; Мартынов, 1958; Девнин, 1967 и др.), что лобовое сопротивление эллипсоидов начинает резко увеличиваться при $U > 0,50$, а лобовое сопротивление рыбообразных тел вращения с заостренным задним концом — при $U > 0,30$. На этом основании с достаточным приближением можно принять, что нектон как эколого-морфологический тип животных, приспособленный к активному плаванию в водной среде, характеризуется значениями $U \leq 0,40$. Из этого, однако, не следует, что для всех планктеров $U > 0,40$; в планктоне мы находили как формы с высокими значениями U (например, для медуз *Aurelia* и *Cyanea* $U \approx 1,0$), так и удлиненные формы, для которых $U < 0,40$; в последнем случае количественные отличия планктона от нектона могут быть найдены с помощью других морфологических критериев.

Сопротивление трения при прочих равных условиях прямо пропорционально величине удельной поверхности S_w обтекаемого тела, которая представляет собой отношение полной поверхности S тела к его объему W , т. е. SW^{-1} . Наименьшую удельную поверхность имеет шар. С увеличением удлинения тела или, что то же, — с уменьшением U удельная поверхность увеличивается. При одной и той же форме тела удельная поверхность увеличивается с уменьшением линейных размеров тела, поэтому оценить влияние формы тела на величину удельной

поверхности можно лишь при сравнении значений S_w для одноразмерных особей. Поскольку, однако, в подавляющем большинстве случаев это невозможно, так как диапазоны линейных размеров взрослых особей сравниваемых видов, как правило, не трансгрессируют, для выполнения указанной задачи нами была получена приведенная величина удельной поверхности S_0 , находямая по формуле:

$$S_0 = \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{W}} = S^{0.5} W^{-0.5} \quad (2)$$

Величина S_0 совершенно не зависит от линейных размеров объекта и потому может быть использована для сравнительной характеристики удельной поверхности тела у различных объектов, в том числе у любых планктонных и нектонных организмов.

Необходимо подчеркнуть, что истинные величины удельной поверхности S_w при разграничении планктона и нектона не могут быть использованы в качестве критерия. Это видно из следующего сопоставления: величина S_w для кита *Balaenoptera physalus* длиной 10 м составляет, по нашим определениям, около 3, для дельфина *Phocaena phocaena* длиной 1 м — около 28 и для малька кефали *Mugil saliens* длиной 1 см — около 3449, тогда как величины S_0 для названных объектов соответственно равны 2,70; 2,72 и 2,96. Величины S_w для 10-метрового *Balaenoptera* и малька *Mugil saliens* длиной 1 см отличаются более чем в 3000 раз, но это ни в коей мере не свидетельствует о том, что форма тела малька во столько же раз более приспособлена к увеличению удельной поверхности, чем форма тела кита: это становится очевидным при сравнении величин S_0 , которые для всех 3 объектов очень близки.

Для наиболее удлинённых подвижных хищных явно нектонных форм типа *Trichiurus* полученные нами величины приведенной удельной поверхности S_0 не превышают 4,40, а в большинстве случаев (для нектонных животных с обычным удлинением) значительно менее 4,00. На этом основании, принимая во внимание известную вариабельность S_0 , обусловленную индивидуальной и возрастной изменчивостью внешнего строения нектеров, с достаточным приближением можно принять, что для нектонной формы тела характерно условие $S_0 \leq 4,50$. Из этого, однако, не следует, что для планктеров всегда характерно условие $S_0 > 4,50$: в планктоне мы встречаем как формы с $S_0 > 4,50$, так и формы, для которых $S_0 \leq 4,50$, однако в последнем случае либо $U > 0,40$, либо $Re \leq 5,0 \cdot 10^3$ (см. ниже), что также позволяет отличать планктон от нектона.

Рассмотренные морфологические критерии U и S_0 позволяют, следовательно, количественно охарактеризовать форму тела плавающих животных в смысле степени ее удлинённости. Как видно из изложенного, тело нектона должно быть настолько удлинено, чтобы это обеспечивало ему достаточно низкое сопротивление формы (что достигается при $U \leq 0,40$) и в то же время должно быть не настолько вытянуто, чтобы это существенно увеличивало сопротивление трения (что достигается при $S_0 \leq 4,50$).

На рисунке, где показана зависимость $U = f(Re)$ для планктонных и нектонных животных, видно, что у планктеров относительная толщина тела колеблется в весьма широких пределах — от $U < 0,10$ до $U > 1,0$, тогда как у нектеров — в более узком диапазоне, соответствующем условию $U \leq 0,40$. С увеличением значений Re диапазон U для нектонных животных еще более сужается, что становится особенно заметным при $Re > 10^7$. Следовательно, в диапазоне $Re \leq 5,0 \cdot 10^5$ движение животных в водной среде происходит при самых различных относительных удлинёниях тела, в то время как при $Re > 5,0 \cdot 10^5$ движение при условии $U > 0,40$ становится энергетически невыгодным, поскольку резко воз-

растает суммарное сопротивление движению, что, в свою очередь, связано с переходом пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное и резким усилением процессов вихреобразования, что обуславливает увеличение сопротивления формы, т. е. рост C_{xp} (см. рисунок). Этим и объясняется большое разнообразие форм тела планктеров и сравнительно малое разнообразие, т. е. большое конвергентное сходство форм тела нектеров; последние испытывают на себе жесткое лимитирующее влияние условия $U \leq 0,40$.

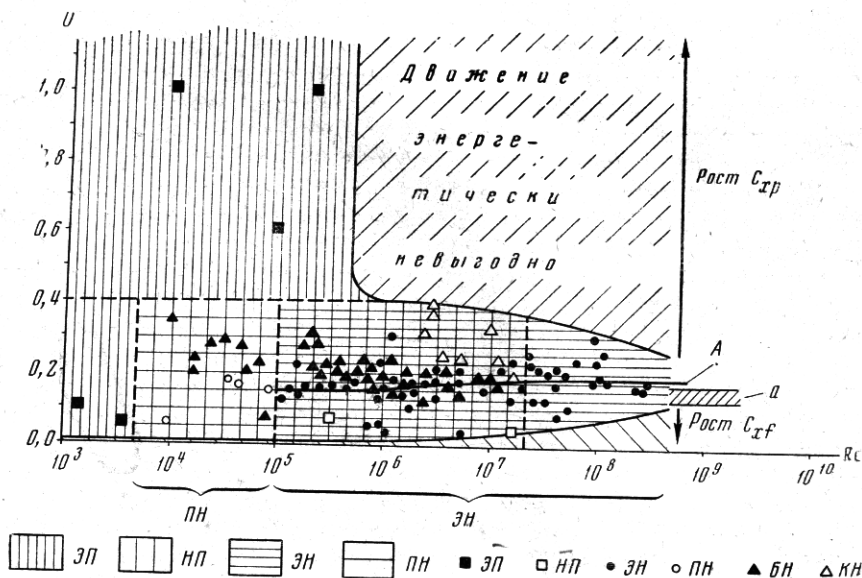


Схема зависимости $U=f(Re)$

А — средняя для эунектона величина U ; а — зона оптимальных удлинений корпусов подводных лодок империалистических государств по данным В. Н. Герасимова и В. Ф. Дробленкова (1962); ЗП — зупланктон; НП — нектопланктон; ЭН — эунектон; ПН — планктонект; БН — бентонект; КН — ксеронект, т. е. нектер, экологически связанный с сушей; прочие пояснения см. в тексте

Однако при очень малых значениях U движение в режиме $Re > 5,0 \cdot 10^5$ также становится энергетически невыгодным в связи с увеличением сопротивления трения, т. е. в связи с ростом C_{xf} (см. рисунок). У всех исследованных нами 47 видов нектеров $S_0 < 4,50$, а в большинстве случаев — $S_0 < 4,00$. Для большинства нектеров — представителей Серфалюрода, рыб, рептилий, птиц и млекопитающих характерны значения S_0 порядка 2,60—3,50; этот же диапазон может считаться характерным и для эунектона, т. е. типичного нектона.

Таким образом, наиболее целесообразной является некоторая средняя величина U : достаточно малая, чтобы не вызвать заметного роста C_{xp} и в то же время не настолько малая, чтобы способствовать заметному увеличению C_{xf} .

Для эунектона средними величинами могут считаться значения U от 0,15 до 0,19, о чем можно судить на основании расположения соответствующей кривой $U=f(Re)$ для эунектона, отмеченной на рисунке буквой А. С увеличением Re кривая А медленно поднимается от значений $U=0,15$ при $Re=10^5$ до значений $U=0,19$ при $Re=2,0 \cdot 10^7$, после чего идет практически горизонтально до предельных для нектеров значений Re порядка $5,0 \cdot 10^8$. Этот подъем кривой $U=f(Re)$, сам по себе очень незначительный, указывает на некоторое увеличение оптимальной относительной толщины тела у эунектонных животных в диапазоне Re от 10^5 до $2,0 \cdot 10^7$, что, в свою очередь, соответствует более обтекае-

мой форме тела и более высокой маневренности, которая с увеличением относительной толщины тела увеличивается.

Характерно, что в диапазоне $Re > 2,0 \cdot 10^7$ мы видим исключительно эунектонных животных. Это свидетельствует, видимо, о том, что как большие линейные размеры животных, так и высокие скорости движения, характерные для указанного диапазона Re , исключают возможность сохранения каких-либо экологических контактов с дном водоема, сушей или каким-то иным твердым субстратом. Не менее характерно и то, что все нектеры, которых мы видим в диапазоне $Re > 2,0 \cdot 10^7$, имеют осевой ундуляционный движитель скомброидного типа, что полностью соответствует большой относительной мощности движителя этого типа и его способности обеспечивать высокие скорости движения. Не исключается, правда, что в нижнюю часть рассматриваемого диапазона Re , примерно до значений Re порядка $5,0 \cdot 10^7$, попадают и некоторые крупные *Teuthoidea* с гидрореактивным движителем.

Интересно отметить, что среднее для эунектона относительное удлинение, соответствующее при $Re > 2,0 \cdot 10^7$ величине $U = 0,19$ (см. рисунок, *A*); близко к тем удлинениям ($U \approx 0,15$), которые считаются оптимальными (Герасимов, Дробленков, 1962) для современных подводных лодок (см. рисунок, *a*).

Важным морфологическим критерием, отличающим нектон от планктона, является наличие или отсутствие специальных парашютирующих систем. У нектеров таких систем никогда не бывает, поскольку наличие их всегда ухудшает обтекаемость тела. У планктеров, напротив, специальные парашютирующие системы почти всегда имеются, поскольку наличие их облегчает пассивное парение в толще воды; отсутствуют они только у очень мелких форм (длиной менее 1 мм) и форм, имеющих плавучесть, близкую к нейтральной (планктонные яйца рыб и др.). По устройству парашютирующие системы чрезвычайно разнообразны — от зонтиков медуз до различных типов антенн, щетинок, удлинненных лучей плавников и т. д.

Наличие или отсутствие специальных парашютирующих систем может служить очень хорошим критерием при определении момента перехода от планктонной стадии к нектонной в онтогенезе отдельных видов. В громадном большинстве случаев редукция специальных парашютирующих систем у нектонных рыб заканчивается при длине около $2,0 - 5,0$ см, что примерно соответствует величинам Re от $5,0 \cdot 10^3$ до $2,5 \cdot 10^4$.

Из теории гидро- и аэромеханики известно (Прандтль, 1951; Павленко, 1953; Патрашев, 1953; Шулейкин, 1953; Шлихтинг, 1956, 1962 и др.), что как в водной, так и в воздушной среде при малых числах Рейнольдса форма движущегося тела оказывает очень слабое влияние на величину его суммарного сопротивления, поскольку в этом случае оно определяется практически исключительно действием сил трения, и только при увеличении числа Рейнольдса свыше определенного уровня появляется заметная разница в этом отношении между телами плохо обтекаемыми и хорошо обтекаемыми. Разница в величине сопротивления между шаром и хорошо обтекаемыми телами вращения становится заметной лишь в интервале величин Re от 10^3 до 10^4 ; с достаточным приближением можно принять, что эта разница становится существенной при условии $Re > 5,0 \cdot 10^3$.

Из этого следует, что при $Re \leq 5,0 \cdot 10^3$ нет предпосылок для формирования хорошо обтекаемой, нектонной формы тела, поскольку в этом диапазоне величин Re при любой форме тела резко доминирует сопротивление трения. На этом основании величину $Re = 5,0 \cdot 10^3$ логично считать нижней границей нектона. За редкими исключениями, эта величина Re примерно соответствует абсолютной длине нектера около $2 - 3$ см, из чего следует, что абсолютная длина нектонных животных, как правило, не бывает менее 2 см.

Переход ламинарной формы течения в турбулентную, происходящий при величинах Re порядка 10^5 и выше, существенно влияет на морфологию нектеров, создавая предпосылки к развитию специальных приспособлений, направленных на сохранение ламинарного режима обтекания, обеспечивающего более низкую величину суммарного сопротивления движению. На рыбах показано (Бурдак, 1968, 1969 и др.), что специальные ламинаризаторы, образуемые рельефом поверхности чешуи, в частности ктеноидами, в онтогенезе получают законченное развитие примерно при $Re = 3,0 \cdot 10^5$, т. е. за некоторое время до достижения наиболее вероятной критической величины Re ($5,0 \cdot 10^5$), а начало формирования ламинаризаторов наблюдается еще при Re порядка 10^4 . В филогенезе рыб наличие ктеноидной чешуи наблюдается преимущественно в диапазоне Re от 10^4 до 10^6 , т. е. когда еще есть возможность существенного уменьшения степени турбулентности в пограничном слое. При $Re > 10^6$ ламинаризатор из ктеноидов оказывается уже недостаточно эффективным, и потому у нектеров развиваются другие системы ламинаризации, либо они приспосабливаются к движению в турбулентном режиме.

Таким образом, при величинах Re порядка 10^5 у нектеров появляется новая функция, связанная с движением, — функция управления пограничным слоем. Эта граница — $Re = 10^5$ определяет, следовательно, переход от животных с неуправляемым пограничным слоем, существующих в мире ламинарных течений, к числу которых принадлежит громадное большинство планктеров, к животным с управляемым пограничным слоем, существующим в условиях постоянной угрозы турбулизации пограничного слоя, к числу которых относится подавляющее большинство нектеров. Планктеры, существующие в диапазоне величин $Re > 10^5$, как, равным образом, и нектеры, существующие в диапазоне величин $Re < 10^5$, представляют собой лишь исключение из общего правила.

На основании всего изложенного логично считать, что величина $Re = 10^5$ соответствует нижней границе эунектона, т. е. типичного нектона, тогда как диапазон Re от $5,0 \cdot 10^3$ до 10^5 характерен для планктонектона. За редкими исключениями, величина $Re = 10^5$ примерно соответствует абсолютной длине нектера не более 10 см, из чего следует, что абсолютная длина эунектонных животных, как правило, не бывает менее 10 см.

Таким образом, нектон как особый эколого-морфологический тип животных водной среды в принципе возможен лишь в диапазоне $Re > 5,0 \cdot 10^3$, тогда как диапазон $Re \leq 5,0 \cdot 10^3$ представляет собой исключительно планктонную область.

Планктонные формы существуют и при $Re > 5,0 \cdot 10^3$, вплоть до значений Re порядка $2,0 \cdot 10^7$, но при $Re > 2,0 \cdot 10^7$ существует только нектон. Верхняя граница существования эупланктонных форм соответствует величинам Re порядка $5,0 \cdot 10^5$, т. е. отвечает наиболее вероятным критическим значениям Re . Таким образом, в типичном случае пределом увеличения линейных размеров и скоростей плавания планктонных животных является верхняя граница области ламинарных течений: ни одна из эупланктонных форм не переходит этой границы. Это свидетельствует о том, что соотношение сил инерции и сил трения, характеризующее процесс движения бионта и выражаемое числом Рейнольдса (Re), представляет собой важнейший экологический фактор, который должен учитываться наряду с такими факторами, как температура, свет, наличие кислорода и т. п. Нектопланктонные виды, в морфологии которых имеются отдельные элементы нектонной организации, что проявляется прежде всего в соблюдении условия $U \leq 0,40$, существуют в диапазоне Re от $5,0 \cdot 10^3$ до $2,0 \cdot 10^7$, т. е. двигаются как в докритических, так и в закритических режимах. Верхняя граница существования некто-

планктона, соответствующая величине $Re = 2,0 \cdot 10^7$, определяется в основном уменьшением удельной поверхности тела с увеличением линейных размеров животных, в связи с чем существенно осложняется обеспечение достаточной парашютной функции.

Итак, при $Re \leq 5,0 \cdot 10^3$ существует только планктон, в диапазоне величин Re от $5,0 \cdot 10^3$ до $2,0 \cdot 10^7$ — планктон и нектон, при $Re > 2,0 \cdot 10^7$ — только нектон.

Определения планктона и нектона, данные в свое время, соответственно, Генzenом (V. Hensen, 1887) и Геккелем (E. Haeckel, 1890), не содержат в себе точных количественных критериев для разграничения этих эколого-морфологических типов, так же как и для отграничения каждого из них от бентоса. Уточненные определения планктона и нектона, сформулированные с учетом их биотопических, экологических, морфологических и биогидродинамических особенностей, могут иметь следующий вид.

1. Планктон — эколого-морфологический тип бионтов, объединяющий свободноживущих гидробионтов — растения и животных, постоянно или на протяжении большей части времени находящихся во взвешенном состоянии в толще воды или плавающих у самой поверхности воды, в некоторых случаях — в полупогруженном состоянии, не способных к длительным направленным активным перемещениям в горизонтальном направлении и плавающих в режиме $Re \leq 2,0 \cdot 10^7$, как правило, — в режиме $Re \leq 5,0 \cdot 10^5$, общая конструкция тела которых в целом определяется преимущественно развитием комплекса приспособлений, функционально связанных с увеличением гидродинамического сопротивления и обеспечением возможности пассивного парения в толще воды с наименьшей затратой энергии.

2. Нектон — эколого-морфологический тип бионтов, объединяющий свободноживущих гидробионтов — животных, постоянно или на протяжении большей части времени находящихся во взвешенном состоянии в толще воды, способных к длительным направленным активным перемещениям в горизонтальном направлении и плавающих в режиме $Re > 5,0 \cdot 10^3$, как правило, — в режиме $Re > 10^5$, общая конструкция тела которых в целом определяется преимущественно развитием комплекса приспособлений, функционально связанных с уменьшением гидродинамического сопротивления и обеспечением возможности активного движения в толще воды с наименьшей затратой энергии.

Как видно из всего изложенного, планктон и нектон являются примерами таких эколого-морфологических групп бионтов, которые обитают в одних и тех же условиях (в данном случае — в толще воды) и характеризуются альтернативным направлением развития комплексов приспособлений, определяющих наиболее существенные особенности общей конструкции тела бионта.

Отличия планктона и нектона от бентоса состоят прежде всего в том, что бентосные организмы постоянно или на протяжении большей части времени находятся в контакте с дном водоема или иным погруженным в воду твердым субстратом неорганического или растительного происхождения, как находящимся на дне, так и плавающим, что во всех случаях оказывает самое существенное влияние на их экологию и морфологию. В частности, бентосные животные, обитающие на поверхности грунта, резко отличаются от планктонных и нектонных животных по комплексу морфологических особенностей, связанных с маскировкой. У планктеров основной способ маскировки состоит в обеспечении высокой оптической прозрачности тела. Бентосные же животные, как правило, окрашены под цвет того субстрата, на котором они обитают. У нектонных животных форма поперечного сечения тела обычно либо приближается к кругу, либо имеет вид дорсо-вентрально удлиненного овала, нижний конец которого в той или иной мере

приострен, т. е. нижняя сторона тела округлая или приостренная в виде киля (нектонный тип маскировки). У бентосных же форм поперечное сечение тела по форме в типичном случае приближается либо к трапеции, обращенной широким основанием вниз, либо к сегменту круга, обращенному вниз хордой, либо к равнобедренному треугольнику, расположенному вниз основанием, т. е. нижняя сторона тела в той или иной степени уплощена (бентосный тип маскировки). Как у нектонных, так и у бентосных животных эти особенности формы тела, несмотря на их противоположный характер, служат для одной и той же цели, т. е. для ликвидации демаскирующей тени (Алеев, 1963).

ЛИТЕРАТУРА

- Алеев Ю. Г., 1963. Функциональные основы внешнего строения рыбы: 1—247, Изд-во АН СССР, М.
- Бурдак В. Д., 1968. О функциональном значении ктеноидов на чешуе рыб, Зоол. ж., 47, 5: 732—733.— 1969. Онтогенетическое развитие чешуйного покрова кефали *Mugil saliens* Risso, Зоол. ж., 48, 2: 242—248.
- Войткунский Я. И., 1964. Сопrotивление воды движению судов: 1—412, Изд-во «Судостроение», Л.
- Герасимов В. Н., Дробленков В. Ф., 1962. Подводные лодки империалистических государств: 1—302, Военное изд-во Мин-ва обороны СССР, М.
- Девнин С. И., 1967. Аэродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций: 1—223, Изд-во «Судостроение», Л.
- Зенкевич Л. А., 1951. Фауна и биологическая продуктивность моря, 1: 1—506, Изд-во «Сов. наука»: Л.
- Зернов С. А., 1949. Общая гидробиология: 1—587, Изд-во АН СССР, М.— Л.
- Мартынов А. К., 1958. Экспериментальная аэродинамика: 1—348, Оборонгиз, М.
- Павленко Г. Е., 1953. Сопrotивление воды движению судов: 1—507, Гос. изд-во водн. транспорта, М.
- Патрашев А. Н., 1953. Гидроаэромеханика: 1—719, Военно-морск. изд-во Военно-морск. Мин-ва СССР, М.
- Прандтль Л., 1951. Гидромеханика: 1—572, Пер. с нем., Изд. 2-е, Изд-во иностр. лит., М.
- Шлихтинг Г., 1956. Теория пограничного слоя: 1—528, Пер. с нем., Изд-во иностр. лит., М.— 1962. Возникновение турбулентности: 1—203, Пер. с нем., Изд-во иностр. лит., М.
- Шулейкин В. В., 1953. Физика моря: 1—989, Изд. 3-е, Изд-во АН СССР, М.
- Barthelmes D., 1957. Zur Abgrenzung des Plankton von den Nachbarbiocoenosen, Z. Fischerei, N. E., 6, 1—7: 441—452.
- Haeckel E., 1890. Plankton-Studien: 1—105, Fischer, Jena.
- Hensen V., 1887. Ueber die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. 5. Ber. d. Kommiss. z. Wiss. Untersuch. d. Deutsch. Meere. Kiel. 1882—1886, 12—16: 1—108.

ON BIOHYDRODYNAMIC DISTINCTIONS OF PLANKTON AND NEKTON

Yu. G. ALEEV

Institute of Biology of Southern Seas, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (Sebastopol)

Summary

Biohydrodynamic distinctions of plankton and nekton are considered. Indices for distinguishing between plankton and nekton obtained in experimental studies are given. Plankton and nekton are regarded as eco-morphological types. The ecological importance of the factor characterized by the Reynolds number (Re) is noted.