

УДК 574.587:593.17(477.87)

А. А. Ковальчук

**ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ДЕСТРУКЦИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫМИ  
СООБЩЕСТВАМИ РЕКИ УЖ (БАССЕЙН ТИСЫ)**

Изучены процессы формирования первичной продукции и деструкции органического вещества донными сообществами р. Уж (бассейн Тисы) в зависимости от участка реки и сезона.

*Ключевые слова:* первичная продукция, деструкция органического вещества, донные сообщества, перифитон.

Продукция и деструкция органического вещества (ОВ) являются определяющими гидробиологическими процессами в водных экосистемах [2, 16]. При исследовании функциональной роли компонентов экосистем, особенно гидробионтов, необходимо учитывать количественные характеристики трансформации ОВ [5]. Цель работы — изучить первичную продукцию и деструкцию ОВ донными сообществами р. Уж.

**Материал и методика исследований.** Река Уж относится к средним рекам и, как многие другие реки бассейна Тисы, является трансграничной, протекающей по территории Украины и Словакии. Ее длина составляет 133 км, площадь водосбора — 2750 км<sup>2</sup>, в пределах Украины — 107 км и 2010 км<sup>2</sup> [1]. Глубина реки на исследованных участках не превышает 1,5 м. Вода обычно прозрачна до дна, лишь в период паводков мутная. Река типично горная в верхней части, ближе к Ужгороду постепенно изменяется на равнинную.

Река была условно разделена на три участка — верхний, средний и нижний. На каждом было по две постоянные, а также дополнительные станции [9]. Опыты по определению валовой первичной продукции ( $A_v$ ) и деструкции ОВ ( $R$ ) донными сообществами проводили в 2002—2003 гг. Интервалы между экспериментами составляли около двух месяцев. Всего осуществлено пять последовательных серий опытов, общее количество которых составило 33 (30 — для перифитона и 3 — для бентоса). Использовали скляночный метод в кислородной модификации [2] с некоторыми изменениями [24]. Содержание кислорода определяли по методу Винклера. Основным биотопом р. Уж является галька с валунами и реже глыбами. Поэтому внимание уделялось преимущественно этому твердому субстрату. Активная (обращенная

© Ковальчук А. А., 2011

вверх) площадь поверхности отдельного камня составляет в большинстве случаев от 30 до 120 см<sup>2</sup>, чему соответствуют линейные размеры 10—20 см. Формирующиеся на гальке сообщества водорослей, простейших и микробеспозвоночных согласно определению [14] можно трактовать как перифитонные. В качестве емкостей в опытах с галькой использовали герметичные стеклянные банки объемом 0,7 дм<sup>3</sup> с крышками на резьбе, которые экспонировали на глубине до 50 см в месте отбора проб или в аналогичных условиях освещенности на других станциях. При этом обязательно учитывали температурные различия между биотопами (если они имели место) и проводили соответствующий пересчет с использованием температурных поправок по Г. Г. Винбергу [4]. За температуру опыта принимали среднюю между началом и концом экспозиции.

Пересчет валовой продукции и деструкции за год был проведен «сглаживанием» кривых, характеризующих динамику обоих процессов, способом, предложенным в пакете Excel, с последующей распечаткой на миллиметровой бумаге и просчетом их интегральных значений за период исследований и аппроксимацией за год.

Бентос заселяет преимущественно песок различной степени заиления. На этом субстрате опыты ставили в цилиндрах из молибденового стекла площадью сечения 10 см<sup>2</sup> и объемом 200 мл.

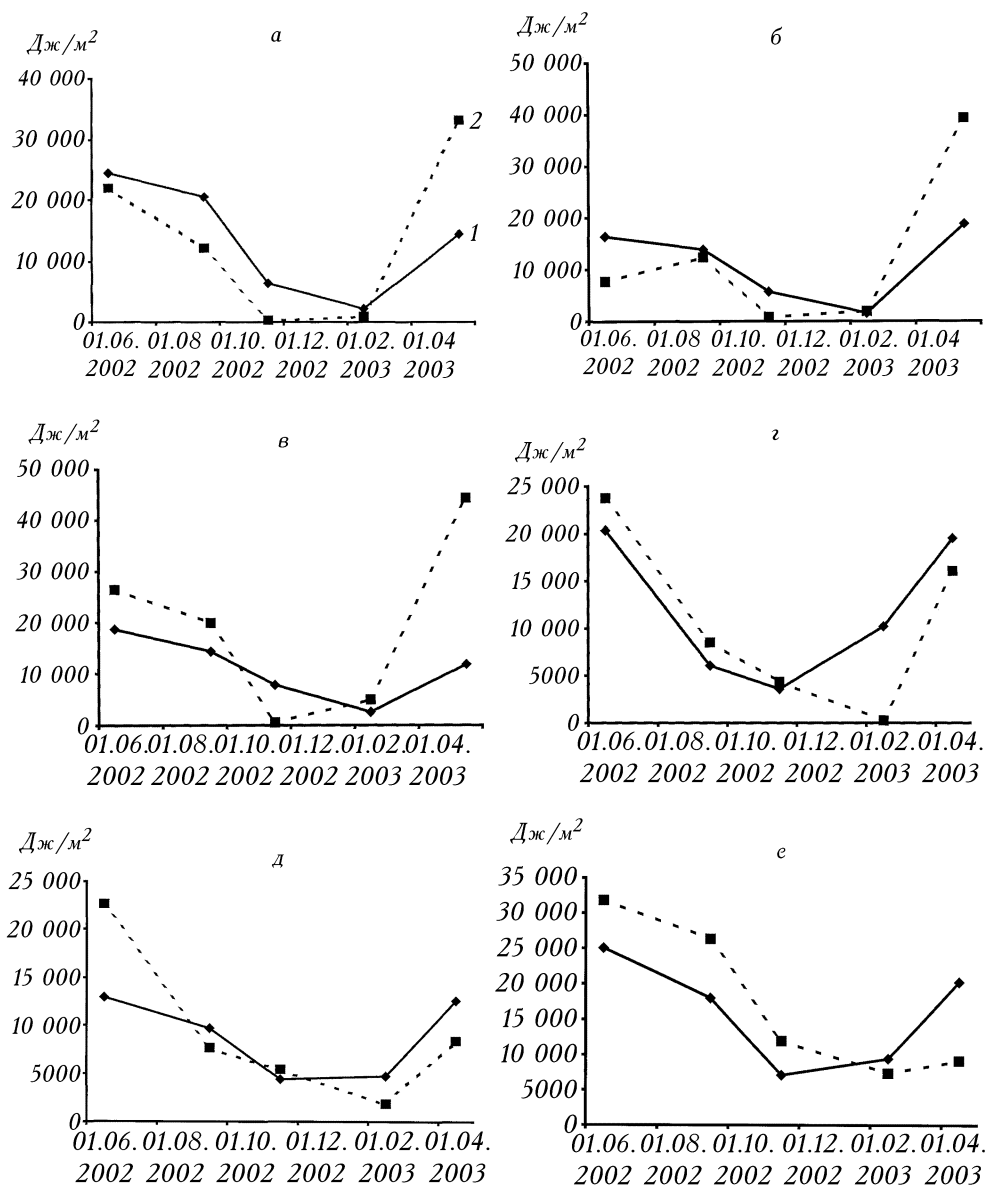
Экспозиция при определении продукции была не меньше светового дня, но иногда (в холодное время года) достигала трех суток. Продолжительность опытов по определению деструкции ОБ в теплое время года была всегда короче, поскольку при суточной экспозиции интенсивное потребление кислорода бентосным сообществом, и соответственно снижение его концентрации ниже критического или даже порогового для фоновых видов гидробионтов значений, может привести к искажению результатов. В частности, это было показано В. И. Щербаком [23] для толщи воды высокотрофных водоемов. Недостатки скляночного метода обсуждались и другими авторами [18]. Однако почти все предлагаемые альтернативные методы слишком громоздки для практического применения.

Полученные результаты подвергали компьютерной обработке с помощью авторской специализированной программы PRODUCT1\_2007. Применяли коэффициент 14,13 для пересчета кислорода в энергетические единицы ОБ исходя из расчета: общеизвестный оксикалорийный коэффициент 3,38 кал/мг О и 1 кал = 4,18 дж.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Известно [11], что гидробиоценозы р. Уж наиболее богаты диатомовыми водорослями. Кроме того, есть указания на нахождение сифоновых [10], десмидиевых и хлорококковых водорослей [11].

Общим для различных участков реки является характер сезонных изменений продукции и деструкции ОБ перифитоном — летний максимум, дальнейшее постепенное снижение к зиме и резкое повышение в весенний пе-



Сезонные изменения валовой первичной продукции (1) и деструкции ОВ (2) на ст. 1 (а); 2 (б); 3 (в); 4 (г); 5 (д); 6 (е).

риод. При этом максимальные значения  $R$  (24,4 и 25,0 кДж/м<sup>2</sup>·сут) установлены в июне соответственно на ст. 1 — ниже с. Ставного (рисунок, а) и ст. 6 — ниже Ужгорода (рисунок, е). Наибольшие значения валовой продукции ОВ перифитоном — 33,0—44,5 кДж/м<sup>2</sup>·сут отмечены в первых числах мая на ст. 1—3 (рисунок, а—в).

Вместе с тем между участками и даже станциями наблюдаются различия, которые достаточно легко поддаются объяснению. Так, из шести основных станций три (1, 4 и 6) расположены ниже крупных населенных пунктов: соответственно с. Ставне, пгт Перечин и г. Ужгород. Естественно ожидать на этих станциях повышения уровня органического загрязнения и, как следствие, интенсификации процессов самоочищения, а в результате — высоких значений  $R$  перифитона. В целом, это и было подтверждено экспериментально, за исключением относительно низкой деструкции ОВ осенью ниже пгт Перечин (рисунок, *г*). На наш взгляд, одной из причин этого является заиление камней мелкодисперсным илом, подавляющим развитие водорослей.

На указанных станциях лишь изредка регистрировали положительные значения отношения  $A/R$ , которое иногда называют коэффициентом самоочищения. Следовательно, здесь обычно отсутствовала «чистая» первичная продукция, то есть валовая продукция не превышала деструкцию, что трактуется как «недопотребление» сообществом создаваемого им ОВ.

Использование понятия «чистая» первичная продукция в традиционном понимании, на наш взгляд, вызывает большие сомнения, поскольку даже при значениях  $A/R$  меньше единицы первичная продукция вовсе необязательно потребляется в пределах изучаемого сообщества. Часто отмечается ее перераспределение в пределах экосистемы, особенно в подсистеме планктона [8]. Без специального изучения организмов-альгофагов оценка уровня потребления ими водорослей и, как следствие, изменения баланса ОВ в сообществе невозможна. Аналогично, значение  $A/R$  выше единицы не обязательно свидетельствует об опасности автоэвтрофикации. Во-первых, в биоценозе потребление водорослей организмами-альгофагами может существенно превышать в энергетическом эквиваленте общую деструкцию ОВ этим биоценозом. Часто вся вырабатываемая в сообществе валовая первичная продукция потребляется альгофагами и в дальнейшем полностью минерализуется. Во-вторых, в случае речного континуума первичная продукция может потребляться ниже по течению или даже попадать в околородные или контурные экосистемы, где и завершается цикл минерализации.

Сезонная динамика исследованных показателей на верхнем участке р. Уж (ст. 1, 2) во все сезоны, кроме весны, характеризовалась превышением  $R$  над  $A_B$  (см. рисунок, *а, б*). Наиболее вероятная причина этого — высокая скорость течения и периодическое взмучивание осадков вследствие частых паводков, что вызывает интенсивный дрейф организмов перифитона и бентоса.

На среднем участке (ст. 3, 4) наблюдалась тенденция превышения первичной продукции над деструкцией (см. рисунок, *в, г*). С некоторыми вариациями она сохраняется и на нижних станциях (см. рисунок, *г, е*). Результаты, полученные при подсчете первичной продукции и деструкции ОВ за год, представлены в таблице 1.

Значения  $R$  за год колеблются в относительно нешироких пределах — от 3,1 до 5,7 тыс. кДж/м<sup>2</sup>. Важно отметить, что на станциях, расположенных

### 1. Деструкция и валовая первичная продукция за год на различных станциях р. Уж

Станции	$R$ , кДж/м <sup>2</sup> -год	$A_B$ , кДж/м <sup>2</sup> -год	$A_B/R$
1. Ниже с. Ставного	4481	4325	0,96
2. Между с. Соль и пгт В.-Березный	3501	3799	1,09
3. Выше с. Дубрынычи	3729	6121	1,64
4. Ниже пгт Перечин	4153	3567	0,86
5. Выше г. Ужгорода	3084	3118	1,01
6. Ниже г. Ужгорода	5627	6015	1,07

ниже населенных пунктов, они были существенно выше, чем на находящихся выше их. Средние значения этого показателя составили соответственно  $4755 \pm 772$  и  $3438 \pm 327$  кДж/м<sup>2</sup>-год, то есть различия были статистически достоверными.

Вместе с тем не наблюдалось существенных различий  $A_B$  между загрязненными и «чистыми» участками. Средние значения  $A_B$  составили соответственно  $4636 \pm 1253$  и  $4346 \pm 1574$  кДж/м<sup>2</sup>-год, то есть различия были недостоверными, что позволило усреднить результаты для всех шести станций:  $4490 \pm 1283$  кДж/м<sup>2</sup>-год.

Таким образом, отношение  $A/R$  на станциях, расположенных ниже населенных пунктов, составило 0,97, а на станциях вне населенных пунктов — 1,31. Следовательно, в р. Уж «чистая» продукция обычно образуется лишь на станциях, мало подверженных влиянию населенных пунктов. Например, на ст. 6, расположенной существенно ниже г. Ужгорода, органическое загрязнение все еще высоко, однако  $A_B$  уже превышает деструкцию ( $A/R = 1,07$ ).

Снижение коэффициента самоочищения и повышение интенсивности деструкции на загрязненных участках ранее были установлены для планктона р. Днестр и его притоков [21]. В отличие от планктона горных рек, для которого коэффициент самоочищения, как правило, составляет 0,9—1,0 [19], для донных сообществ незагрязненных участков характерны более высокие значения  $A/R$ . Ранее установлена невысокая интенсивность продукционно-деструкционных процессов в гидробиоценозах горных рек [19, 20]. Однако это справедливо по отношению к толще воды, да и то не всегда. При замедлении течения и одновременном увеличении глубины в заводях и старицах интенсивность трансформации ОВ может быть весьма значительной [7].

В экспериментах с бентосом, проведенных в зарослях рогоза, на илистом песке и на глинистом иле, деструкция существенно превышала продукцию, а именно: на ст. 3а (22.06.2002) —  $R = 19,703$ ,  $A = 3,938$  кДж/м<sup>2</sup>-сут, на ст. 4 (27.06.2002) — соответственно 17,594 и 0 кДж/м<sup>2</sup>-сут и на ст. 2а (06.09.2002) соответственно 11,954 и 4,279 кДж/м<sup>2</sup>-сут. Если значения  $R$  бентосных и перифитонных сообществ были сопоставимы (на ст. 4 осуществляли параллельную постановку эксперимента, значение  $R$  для перифитона составило

20,364), то величина  $A_B$  бентоса была существенно ниже, а на ст. 4 (ил) равна нулю.

Процессы трансформации ОВ в реках изучаются сравнительно недавно. Значительно подробнее в этом отношении исследованы водохранилища Днепра [12, 13, 15, 22]. К сожалению, основное внимание обращалось на сообщества планктона. Менее изученными оставались сообщества бентоса, хотя здесь выполнен значительный объем исследований [15]. Изучались также процессы анаэробной деструкции на разнотипных мелководьях Кременчугского водохранилища [6]. Сообщества перифитона разных типов водоемов изучены в меньшей степени, поскольку обычно его роль в функционировании гидробиоценозов крупных водоемов сравнительно невысока. Исследовались преимущественно сообщества эпифитона водохранилищ [15]. Иная ситуация в мелководных водотоках с быстрым течением, где планктонные сообщества часто не сформированы вследствие быстрого течения и высокой турбулентности [11] и основой функционирования экосистемы реки являются мозаичные донные биоценозы, состоящие из обрастаний на камнях и собственно бентосных сообществ.

Достаточно высокий уровень  $R$  может регистрироваться в летний период в толще воды средней и нижней частей крупных рек Закарпатья (Тиса, Латорица, Уж), вероятно за счет процессов жизнедеятельности бактерий и простейших. В то же время значимая величина  $A_B$  обнаружена лишь в самой нижней части р. Латорицы [24].

Таким образом, вследствие дрефта «чистая» продукция донных сообществ может потребляться на отдельных участках рек так же и в планктоне. Ранее [7] установлено значительную величину  $R$  бентоса затона р. Уж —  $46,1 \text{ кДж/м}^2\text{-сут}$ , что почти в два раза выше, полученной в настоящем исследовании. Очевидно, что активный занос и накопление ОВ в затонах, особенно в виде остатков растительности, способствуют высокой интенсивности его деструкции. Не исключено, что частичное разложение ОВ осуществляется здесь по анаэробному типу.

### *Заключение*

Установлено, что средняя для р. Уж первичная продукция перифитона составляет  $4490 \pm 1283 \text{ кДж/м}^2 \text{ год}$ . Сезонная динамика суточной продукции характеризуется весенним или летним максимумом (изредка могут наблюдаться двухвершинные кривые), когда значения могут превышать  $40 \text{ кДж/м}^2$ . В ноябре — марте суточная первичная продукция наиболее низкая, однако даже в этот период на отдельных станциях она может достигать  $12 \text{ кДж/м}^2$ .

Деструкция ОВ существенно отличается на загрязненных и незагрязненных участках — средние значения достигают соответственно  $4755 \pm 772$  и  $3438 \pm 327 \text{ кДж/м}^2 \text{ год}$ . Наибольшие значения деструкции ОВ —  $24\text{—}25 \text{ кДж/м}^2 \text{ сут}$  отмечены летом.

\*\*

*Середня для р. Уж валова первинна продукція перифітону становить  $4490 \pm 1283$  кДж/м<sup>2</sup>·рік. Сезонна динаміка добової продукції характеризується весняним або літнім максимумом. Деструкція ОР суттєво відрізняється на забруднених і незабруднених ділянках — середні значення дорівнюють відповідно  $4755 \pm 772$  і  $3438 \pm 327$  кДж/м<sup>2</sup>·рік.*

\*\*

*The average annual gross primary production of periphyton is about  $4490 \pm 1283$  kJ/m<sup>2</sup>·year. The spring or summer maximum characterizes seasonal dynamics of daily production. Total destruction of organic substances differs obviously in clear and polluted sites — the average value amounted appropriately  $4755 \pm 772$  kJ/m<sup>2</sup>·year and  $3438 \pm 327$  kJ/m<sup>2</sup>·year.*

\*\*

1. Географічна енциклопедія України: В 3 т. / Відп. ред. О. М. Маринич. — К.: Українська Енциклопедія, 1989—1993. — Т. 3: П—Я. — 480 с.
2. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. — Минск: Изд-во АН БССР, 1960. — 328 с.
3. Винберг Г.Г. Формирование представлений о продукции // Общие основы изучения водных экосистем. — Л.: Наука, 1979. — С. 114—119.
4. Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общ. биологии. — 1983. — Т. 154, № 1. — С. 31—42.
5. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов // Т. А. Харченко, В. М. Тимченко, А. А. Ковальчук и др. — Киев: Наук. думка, 1993. — 328 с.
6. Ковальчук А.А., Скорик Л.В., Шагрин В.П. Интенсивность аэробной и анаэробной деструкции органического вещества в донных отложениях мелководий Кременчугского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1991. — Т. 27, № 1. — С. 57—64.
7. Ковальчук А.А. Простейшие и микрофауна // Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. — Киев: Наук. думка, 1993. — С. 119—148.
8. Ковальчук А.А. Свободноживущие планктонные инфузории Днепровско-Бугского лимана и их роль в продукционно-деструкционных процессах // Гидробиол. журн. — 1997. — Т. 33, № 4. — С. 44—56.
9. Ковальчук А.А. Видовой состав и количественное развитие донных коловраток р. Уж // Гидробиол. журн. — 2011. — Т. 47, № 3. — С. 21—31.
10. Мошкова Н.О. Нові та рідкісні вошерії флори Української РСР // Укр. ботан. журн. — 1968. — Т. 25, № 5. — С. 23—32.
11. Полищук В.В., Гарасевич И.Г. Биогеографические аспекты изучения бассейна Дуная в пределах СССР. — Киев: Наук. думка, 1986. — 210 с.
12. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1981. — 278 с.
13. Приймаченко А.Д., Михайленко Л.Е., Гусынская С.Л., Небрат А.А. Продуктивность планктонных сообществ на разных трофических уровнях

- Кременчугском водохранилище // Гидробиол. журн. — 1978. — Т. 14, № 4. — С. 3—12.
14. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. — Киев: Наук. думка, 1997. — 307 с.
  15. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ* / Л. А. Сиренко, И. Л. Корелякова, Л. Е. Михайленко и др. — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
  16. Федоров В.Д., Соколова С.А. Опыт оценки устойчивости водной экосистемы // Гидробиол. журн. — 1973. — Т. 9, № 2. — С. 11—15.
  17. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 168 с.
  18. Хромов В.М. О соотношении первичной продукции и деструкции органического вещества в водоемах // Экологическая и биологическая продуктивность Баренцева моря. Тез. докл. Всесоюз. конф. — Мурманск, 1986. — С. 102—103.
  19. Шнаревич И.Д., Иванчик Г.С., Черегарик М.И. Влияние антропогенных факторов на первичную продукцию гидроэкосистемы бассейна верхнего Днестра // Проблемы общ. и мол. биологии. — 1985. — № 4. — С. 116—118.
  20. Шнаревич И.Д., Измайлова Л.М., Черегарик М.И., Хомяк М.В. Особенности продукционно-деструкционных процессов верхнего Днестра и Днестровского водохранилища // Материалы к 6-му Всесоюз. лимнол. совещ. — Иркутск, 1985. — Вып. II. — С. 92—94.
  21. Шнаревич И.Д., Иванчик Г.С., Телюк П.М. и др. Влияние антропогенных факторов на трансформацию структуры экосистем верховьев бассейна Прута и Днестра // 5-й съезд ВГБО, г. Тольятти: Тез. докл. — Куйбышев: Изд-во АН СССР, 1986. — Т. 2. — С. 310—311.
  22. Щербак В.И. Структурно-функціональна характеристика дніпровського фітопланктону: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2000. — 32 с.
  23. Щербак В.И. Влияние продолжительности экспозиции на показатели первичной продукции фитопланктона евтрофных водоемов при использовании скляночного метода в кислородной модификации // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 1. — С. 97—102.
  24. Kovalchuk A.A. Primary production and destruction of organic substances in the waters of Tisa Basin in Ukraine // XVIIth Conf. of the Danube countries, Budapest, 5—9 Sept., 1994. — P. 735—740.