

щелочно-ультраосновной и щелочно-базальтоидной. Аналогичное разделение ранее было проведено и для диатрем Жлобинского поля [2]. Из исследованных семи трубок две – Южно-Уваровичская и Южно-Гусевицкая – отнесены к щелочно-ультраосновной серии (сложены щелочными пикритами). Пять трубок (Уваровичская, Северо-Гусевицкая, Гусевицкая, Новогусевицкая и Лапичская) отнесены к щелочно-базальтоидной серии (сложены ультраосновными фойдитами).

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что структурно-текстурные особенности и вещественный состав магматических пород диатрем тесно связаны с термодинамическими условиями их кристаллизации и по существу являются их отражением. Существование в одной диатреме обломков с различной структурой и петрографическим составом объясняется тем, что процесс образования диатрем был сложным, пульсационным, с термодинамическими условиями, различающимися в каждой порции расплава. Поэтому интерпретация генезиса диатрем невозможна без детального анализа термодинамических условий образования макроскопически и микроскопически различных фрагментов магматических пород, входящих в состав каждой из диатрем.

1. Левый М. Г., Карпович М. Я., Дашкевич В. П. // Проблемы алмазоносности Беларуси. Мн., 1999. С. 18.
2. Проблемы алмазоносности Беларуси: Сб. ст. / Ред. Е.А. Никитина. Мн., 1999.
3. Левых Н.Н., Веретенников Н.В. // Литосфера. 2000. № 12. С. 55.
4. Веретенников Н.В., Корзун В.П., Лапцевич А.Г., Михайлов Н.Д. // Литосфера. 2001. № 1(14). С. 46.
5. Кручек С.А., Обуховская Т.Г., Левый М.Г., Обуховская В.Ю. // Проблемы алмазоносности Беларуси. Мн., 1999. С. 57.
6. Добрецов Н.Л. Глобальные петрологические процессы. М., 1990.
7. Бородин Л.С., Лапин А.В., Пятенко И.К. Петрология и геохимия даек щелочно-ультраосновных пород и кимберлитов. М., 1976.
8. Штефан Л.В. // Проблемы алмазоносности Беларуси. Мн., 1999. С. 100.
9. Типоморфизм минералов: Справ. / Под ред. Л.В. Чернышевой. М., 1989.
10. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. М., 1997.
11. Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук Б.И. Кимберлиты. М., 1990.
12. Саблуков С.М. // Докл. АН РФ. 1990. Т. 313. № 4. С. 935.

Поступила в редакцию 04.11.2002.

**Лариса Васильевна Штефан** – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры динамической геологии.

УДК 595.18:591.149

В.Н. ЕВДОКИМОВ, А.И. ЗАРУБОВ

### ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОДУКТОВ ДЕФЕКАЦИИ КОЛОВРАТКИ *BRACHIONUS CALYCIFLORUS* PALLAS

Rotifers excrete undigestible pigmental albumens (PA) with defecal products. This PA doesn't include in trophic chains of planktonic animals. It exposes to the bacterial decomposition. It was shown that the decrease of ionic concentration of  $\text{NO}_3^-$  and increase of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{2-}$  would be caused by accumulation of defecal products. It was established that the transformation of defecal products of rotifers would take place on the bacterial way.

Как известно, и в морских, и в пресных водоемах основную массу сестона составляют частицы размером от 0,1 до 3,0 мкм [1]. Одним из источников образования этой фракции являются продукты дефекации зоопланктона, в том числе и коловраток, которые часто доминируют в планктоне водоемов умеренной зоны в весенне-летний период. Однако до сих пор нет четкого представления о природе этих частиц и путях их трансформации.

Ранее было показано [2], что коловратка *Brachionus calyciflorus*, питаясь зелеными водорослями, не образует оформленных фекальных пеллет, а

выделяет богатые хлорофиллом частицы размером 0,4–1,5 мкм. С помощью электрофоретического и хроматографического анализа установлено, что хлорофилл из этих частиц идентичен таковому из нативных клеток водорослей и входит в состав пигмент-белковых комплексов (ПБК) хлоропластов.

Целью данной работы является установление возможных путей трансформации ПБК и оценка изменения химического состава культуральной среды по мере накопления и разложения продуктов экскреции коловраток.

#### Материал и методика

Коловраток длительное время культивировали при константных температурах на рассеянном свете и в темноте в лабораторных стаканах объемом 500 мл с проточностью 2/5 объема воды в сутки. Кормом служили зеленые одноклеточные водоросли *Chlorella sp.* и *Scenedesmus quadricauda*. В качестве культуральной среды использовали водопроводную воду с pH=8,2–8,6, которую предварительно отстаивали в течение суток.

Эксперименты для получения ПБК проводились следующим образом. Коловраток из культур сгущали на нейлоновое сито с диаметром ячеек 40 мкм, отмытых животных затем помещали в суспензию водорослей необходимой концентрации. После экспозиции (12–24 ч) определяли концентрацию коловраток и водорослей. Затем удаляли из культуральной среды коловраток путем осаждения на нейлоновое сито с диаметром ячеек 40 мкм, а водоросли – центрифугированием при 4 тыс. об/мин в течение 15 мин. Надосадочная жидкость служила материалом для приготовления ацетоновой вытяжки, в которой определяли содержание хлорофилла *a+b*, снимая спектр поглощения на 2-лучевом спектрофотометре "Specord UV-VIS". Расчет проводили по формуле Вернона [5]:

$$C_{a+b} = 6,45 E_{665} + 17,72 E_{649},$$

где  $C_{a+b}$  – концентрация хлорофилла *a+b*, мкг/мл;  $E_{665}$  и  $E_{649}$  – оптическая плотность экстракта при 665 и 649 нм.

Численность бактерий в среде определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии [6]. Агрегированные бактерии учитывали при помощи фильтров с диаметром пор 3,0 мкм; прошедших через них бактерий относили к свободноживущим и собирали на фильтре с диаметром пор 0,2 мкм. Ядерные фильтры с собранными на них бактериями обрабатывали акридином оранжевым.

Водоросли выращивали на среде Тамия в светоустановке. Сравнение скорости разложения ПБК проводили по концентрации хлорофилла, используя рассчитанную на основании специально проведенных экспериментов формулу при  $t=0,98$ :

$$y = 6,9033x + 1,6052,$$

где  $x$  – концентрация хлорофилла,  $y$  – сухая масса сестона в культуральной среде.

Для определения химического состава воды применяли метод ионной хроматографии с использованием жидкостных хроматографов "Цвет-3006" и "ХПИ-1".

#### Результаты и их обсуждение

Чтобы получить представление о скорости разложения продуктов дефекации коловраток, суспензию ПБК, отделенную от водорослей и коловраток, содержали при четырех различных температурах на свету и в темноте.

На рис. 1 показано, что степень разложения ПБК, определенная по изменению содержания хлорофилла, находится в тесной зависимости от температуры: с возрастанием температуры от 10 до 30 °C наблюдается увеличение скорости падения концентрации хлорофилла в суспензии ПБК, при температуре 20 и 30 °C свет замедляет этот процесс в 2 раза. Каков же механизм происходящей трансформации ПБК?

Как известно, процесс деструкции органического вещества в водоемах прежде всего связан с бактериальной активностью среды. Причем если

разложению подвергаются частицы недавно отмерших организмов, то содержащее большое количество негидролизированных соединений (к ним относятся и фекальные массы гидробионтов) бактерии используют в первую очередь органические вещества [7]. При этом микроорганизмы, связанные с частицами детритом, образуют микроколонии или агрегации [8].

На рис. 2 представлены данные по изменению численности бактерий и содержанию хлорофилла  $a+b$  в суспензии ПБК, выделенных коловратками при 20 и 30 °С. Как видно, снижение концентрации хлорофилла в ПБК сопровождается увеличением численности бактерий, причем при 30 °С скорость обоих процессов, как и следовало ожидать, выше, чем при 20. Коэффициент  $Q_{10}$ , рассчитанный для скорости изменения концентрации хлорофилла, составил 3,3. Несмотря на то что концентрация ПБК в обоих вариантах была одинаковой, максимум численности микроорганизмов при 30 °С на вторые сутки оказался в 3 раза выше, чем при 20 °С на четвертые. Возможно, это обусловлено сильным измельчением частиц при 30 °С по сравнению с 20 °С, что при одинаковой массе ПБК приводит к образованию большего числа агрегированных бактерий и, возможно, к большей эффективности использования комплексов. Наблюдения показали, что по мере разложения комплексов увеличивается степень агрегированности бактерий. На рис. 3 показано, что численность микроорганизмов в опыте изменялась преимущественно за счет агрегированных с частицами ПБК бактерий, доля свободноживущих на протяжении опыта оставалась незначительной.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что выделенные коловратками ПБК являются субстратом для развития бактерий и способствуют увеличению степени их агрегированности. По мере истощения субстрата, показателем чего может служить снижение концентрации хлорофилла, численность бактерий падает до исходного уровня.

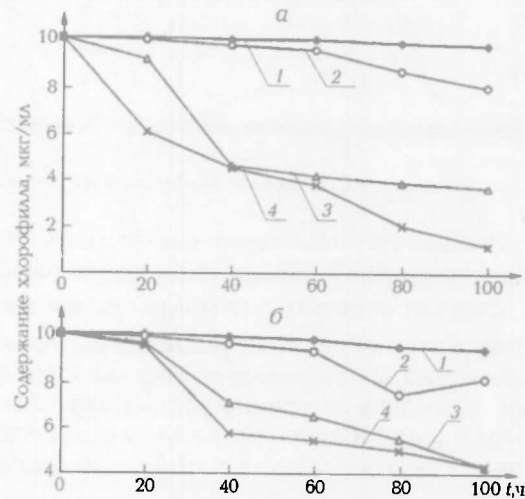


Рис. 1. Динамика разложения хлорофилла в ПБК, выделенных коловратками в темноте (а) и на свету (б) в зависимости от температуры: 1 – 10 °С, 2 – 15, 3 – 20, 4 – 30 °С

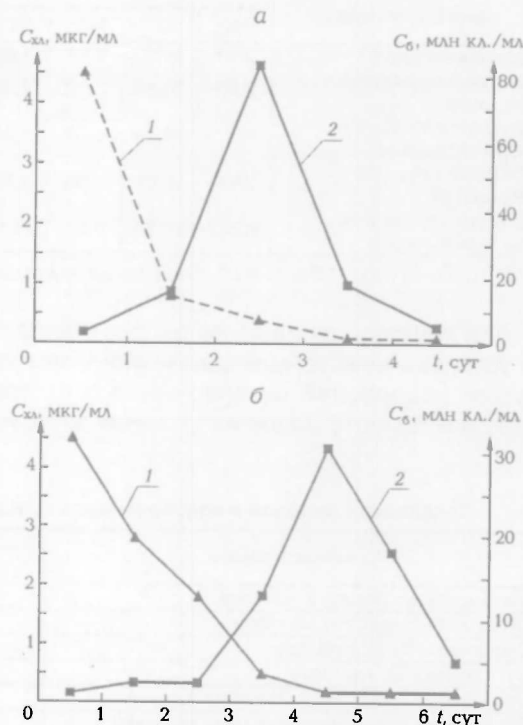


Рис. 2. Динамика содержания хлорофилла (1) и численности бактерий (2) в суспензии ПБК при 30 °С (а) и 20 °С (б)

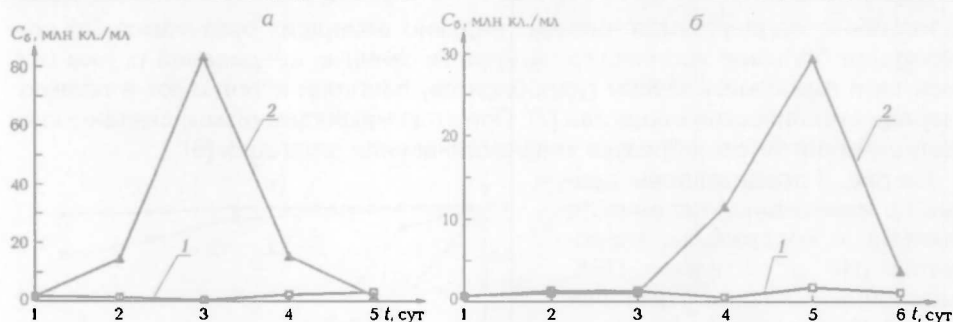


Рис. 3. Изменение свободных и агрегированных бактерий в суспензии ПБК при 30 °С (а) и 20 °С (б)

Изменение химического состава воды по мере накопления и разложения в ней продуктов экскреции коловраток показано в табл. 1.

Следует отметить, что концентрация всех ионов (за исключением  $\text{NO}_3^-$ ) в присутствии коловраток увеличилась. Кроме того, появилось значительное количество ионов аммония, что является закономерным при интенсификации процессов экскреции водных животных [9]. Уменьшение концентрации нитрат-ионов в культуральной среде коловраток по сравнению с исходной можно связать с деятельностью либо водорослей, либо микроорганизмов.

Таблица 1

Изменение содержания ионов в коловраточных культурах по сравнению с отстоянной водопроводной водой и суспензией хлореллы после суточной экспозиции при 30 °С, мг/л

Характеристика пробы	Ион								
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
Отстоянная вода	26,1	8,72	2,67	1,36	1,34	—	1,2	34,77	12,6
Исходная суспензия хлореллы	31,3	10,89	2,93	1,49	2,11	—	1,43	*	*
Суспензия хлореллы после экспозиции	29,7	10,33	2,66	1,43	2,04	—	5,73	32,9	10,8
Исходная культура коловраток	29,4	11,06	3,33	1,79	1,96	—	1,28	31,7	10,0
Культура коловраток после экспозиции	109,3	11,39	0,77	21,13	2,04	2,38	10,13	33,55	11,74

Примечание. \* Здесь и в табл. 2 концентрация не определена.

Для конкретизации этого вопроса была проведена серия экспериментов по установлению концентрации анионов в коловраточных культурах и в суспензии водорослей по сравнению с отстоянной водопроводной водой на свету и в темноте после их суточной экспозиции (табл. 2).

Таблица 2

Содержание анионов в коловраточных культурах на свету и в темноте, мг/л

Характеристика пробы	Ион		
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Суспензия хлореллы в темноте	*	3,37	13,44
Суспензия хлореллы на свету	9,3	3,27	*
Суспензия ПБК в темноте	7,17	1,57	12,12
Суспензия ПБК на свету	6,08	1,64	10,06
Отстоянная водопроводная вода в темноте	9,09	2,94	13,2
Отстоянная водопроводная вода на свету	10,23	3,34	14,81

Как видно, содержание ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в коловраточных культурах изменяется незначительно, а концентрация нитрат-ионов по сравнению с отстоянной водой за сутки снижается почти в 2 раза как на свету, так и в темноте. При отсутствии коловраток в суспензии водорослей концентрация

всех анионов практически не изменялась, т. е. сами по себе водоросли в потреблении нитрат-ионов роли не играют.

Уменьшение содержания нитрат-ионов в культуральной среде коловраток связано с деятельностью микроорганизмов: в вариантах с добавлением антибиотика концентрация  $\text{NO}_3^-$  практически не изменяется. Процесс денитрификации, по-видимому, зависит и от количества потребленных коловратками водорослей – при начальной концентрации  $C_0$  корма  $5,3 \text{ млн кл./мл}^{-1}$  содержание нитрат-ионов уменьшилось на 53 %, а при  $C_0 = 50,2 \text{ млн кл./мл}^{-1}$  – на 67 % (табл. 3).

Таблица 3

Изменение содержания анионов в суспензии ПБК и хлореллы с добавкой антибиотика и без добавки, мг/мл

Характеристика пробы	Ион								
	Начало опыта			2-е сут			5-е сут		
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Отстоянная вода	9,22	2,71	11,63	9,86	2,54	11,74	8,85	2,53	10,70
Суспензия хлореллы с антибиотиком	9,10	2,56	11,98	8,82	2,43	11,03	9,16	2,84	12,96
Суспензия хлореллы без антибиотика	10,77	2,63	12,65	9,74	2,59	11,70	9,26	2,55	12,14
Суспензия ПБК с антибиотиком	8,98	2,08	10,93	8,68	2,06	11,80	12,23	1,88	14,89
Суспензия ПБК без антибиотика	8,96	2,46	11,06	9,31	0,77	12,19	9,92	<0,01	13,23

При сравнении концентрации анионов в суспензии ПБК и культуре водорослей установлено, что развитие бактерий в обоих вариантах подавлялись добавлением антибиотика, как и в предыдущем эксперименте. В качестве контроля служила отстоянная водопроводная вода с добавлением нитрата калия. Время экспозиции – 5 сут.

Данные, представленные в табл. 3, показывают, что наиболее сильное падение концентрации нитрат-иона наблюдается в среде с ПБК без добавления антибиотика, т. е. в случае, когда развитие бактерий не ингибируется, а, наоборот, создаются благоприятные условия для их роста. В варианте с добавкой ампициллина содержание  $\text{NO}_3^-$  изменилось незначительно по сравнению с контролем как в суспензии ПБК, так и в суспензии хлореллы на протяжении 5 сут опыта.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что трансформация продуктов дефекации коловраток идет по детритному пути, при этом бактерии, интенсивно развивающиеся на ПБК, потребляют нитрат и, по-видимому, относятся к группе денитрифицирующих.

1. Blanchot J., Charpy L., Le Borgne R. // Mar. Biol. 1989. Vol. 102. № 3.
2. Евдокимов В.Н., Мананкина Е.Е., Галковская Г.А. // Докл. АН БССР. 1986. Т. 30. № 11.
3. Евдокимов В.Н. // Коловратки: Материалы III Всесоюз. симпоз. Л., 1990.
4. Галковская Г.А., Евдокимов В.Н., Инкина Г.А. // Ред. журн. Изв. АН БССР. Сер. биол. наук. Мн., 1987. Деп. в ВИНТИ 15.10.87, № 7976-B87.
5. Шлык А.А. // Биохимия. 1968. Т. 33. Вып. 2.
6. Харламенко В.И. // Микробиология. 1984. Т. 53. № 1.
7. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. Киев, 1971.
8. Инкина Г.А., Остапеня А.П. // Микробиология. 1984. Т. 53. Вып. 4.
9. Schlüter M. // Kernforschungsanlage Jährlich. 1984. № 1959.

Поступила в редакцию 11.11.2002.

**Вячеслав Николаевич Евдокимов** – научный сотрудник Полесского радиационно-экологического заповедника.

**Александр Иванович Зарубов** – кандидат биологических наук, доцент кафедры геоэкологии.