

УДК 577.472(28)

ПЕРИФИТОН И МИКРОФИТОБЕНТОС ОЗ. КРАСНОГО (КАРЕЛЬСКИЙ ПЕРЕШЕЕК)

С. Л. БАСОВА

(Институт озероведения АН СССР, Ленинград)

Выяснен видовой состав альгофлоры обрастаний и бентоса (244 таксона рангом ниже рода); дана количественная характеристика этих сообществ. В перифитоне прослежена сезонная смена основных групп водорослей. Видовой состав микрофитобентоса ввиду относительной стабильности экологических условий изменялся мало. В обоих сообществах выявлена зависимость флоры от приуроченности к тому или иному биотопу.

Задачу исследования составляло изучение видового состава, продуктивности, распределения и сезонной динамики основных видов водорослей перифитона и микрофитобентоса оз. Красного.

Озеро расположено в центральной части Карельского перешейка. Длина 7 км, наибольшая ширина 1,5 км. Средняя глубина 7—8 м, максимальная — 13 м. Площадь 9 км². Коэффициент водообмена 1. В литературе [4—6] приведены подробные сведения по геоморфологии, гидрологии, гидрохимии и биологии этого водоема.

Исследования проводили с июня по ноябрь 1971 г. Перифитон изучали на двух основных типах субстрата — макрофитах и камнях, микрофитобентос — на поверхности трех типов грунтов — илов, песка и железомарганцевых конкреций. Из макрофитов были выбраны наиболее распространенные растения, образующие основную часть зарослей: *Phragmites communis* Trin., *Scirpus lacustris* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *P. lucens* L. Обрастания на камнях изучали в биотопе каменистого грунта у берега.

Для оценки биомассы и других количественных характеристик определены индексы удельной площади обрастания по каждому типу субстрата. За индекс удельной площади обрастания принято отношение средней площади субстрата обрастания к единице площади (1 м²) биотопа дна:

$$Y = \frac{n \cdot u}{1},$$

где Y — удельная площадь обрастания, n — число элементарных компонентов субстрата на 1 м², u — средняя площадь обрастания одного компонента. Для основных биотопов обрастаний удельные площади в оз. Красном в летний сезон (период максимальной вегетации) оказались следующими: для тростника — 1,16, для камыша — 2,11, для рдеста — 2,0, для камней — 0,37. (В дальнейшем биомасса водорослей приводится в г/м² дна).

Количественные пробы микрофитобентоса отбирали стратометром Перфильева. Снимался верхний слой наилка в 1,5—2 см. При сборе качественных проб у берега верхний слой грунта снимали прямо склянкой, в более глубоких участках — дночер-

пателем Петерсена (малая модель). Счетное определение биомассы и численности водорослей производили обычным принятым планктонологами способом, с использованием камеры Нажотта (емкость 0,02 см³).

Результаты исследования

В перифитоне и микрофитобентосе оз. Красного найдено 244 вида, разновидности и формы водорослей, принадлежащих к семи типам: Bacillariophyta — 139 (57%), Cyanophyta — 30 (12,3%), Pyrrophyta — 3 (1,2%), Euglenophyta — 5 (2,0%), Chlorophyta — 64 (26,3%), Chrysophyta — 2 (0,8%), Xanthophyta — 1 (0,4%). Из диатомовых водорослей обильно представлены *Navicula*, *Melosira*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, из синезеленых — *Oscillatoria*. Среди зеленых водорослей многочисленны протококковые (виды родов *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Pediastrum*) и десмидиевые (виды рода *Cosmarium*).

Биомассу обрастаний составляют в основном диатомовые и зеленые водоросли, бентоса — диатомовые и синезеленые. Лишь в одном случае (13. VIII) при массовом развитии *Sphaeromonostoc zetterstedtii* (Aresch.) Elenk. в обрастаниях на камнях Cyanophyta были ведущими в перифитоне.

Основные виды перифитона

Bacillariophyta

Melosira varians A g. var. *varians*
Tabellaria fenestrata (Lyn gb.) Küt z. var. *fenestrata*
T. flocculosa (Roth.) Küt z.
Fragilaria capucina Des m. var. *capucina*
Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr. var. *ulna*
S. ulna var. *amphirhynchus* (Ehr.) Grun.
S. vaucheriae Küt z. var. *vaucheriae*
Cocconeis placentula Ehr. с разновидностями
Cymbella lanceolata (Ehr.) V. H. var. *lanceolata*
C. ventricosa Küt z. var. *ventricosa*
Didymosphenia geminata (Lyn gb.) M. Schmidt
Gomphonema constrictum Ehr. var. *constrictum*
G. olivaceum (Lyn gb.) Küt z. var. *olivaceum*
Epithemia turgida (Ehr.) Küt z. с разновидностями
E. zebra (Ehr.) Küt z. с разновидностями

Chlorophyta

Coleochaete soluta Pringsheim
Oedogonium sp., ster.
Bulbochaete sp., ster.
Cladophora glomerata (L.) Küt z.
Desmidium schwartzii A g.

Cyanophyta

Sphaeromonostoc zetterstedtii (Aresch.) Elenk.

В бентосе наиболее часто встречались:

Bacillariophyta

Melosira distans var. *alpigena* Grun. *
M. granulata (Ehr.) Ralfs var. *granulata* *
M. islandica subsp. *helvetica* O. Müll. *
M. undulata (Ehr.) Küt z. var. *undulata*
Stephanodiscus astraea (Ehr.) Grun. var. *astraea* *
Navicula radiosa Küt z. var. *radiosa*
Pinnularia nobilis Ehr. var. *nobilis*
Gyrosigma acuminatum (Küt z.) Rabenh. var. *acuminatum*
Cymatopleura solea (Bréb.) W. Sm. var. *solea*
Surirella ovata Küt z. var. *ovata*
S. robusta Ehr. var. *robusta*
Campylodiscus noricus var. *hibernicus* (Ehr.) Grun.

Cyanophyta

Microcystis aeruginosa f. *flos-aquae* (Witt.) Elenk. *
Gomphosphaeria lacustris f. *compacta* (Lemm.) Elenk. *
Woronichinia naegelianiana (Ung.) Elenk. *
Oscillatoria bornetii (Zukal.) Forti f. *bornetii*
O. limosa A g. f. *limosa*

Chlorophyta

Pediastrum tetras (Ehr.) Ralfs var. *tetras*
P. boryanum (Turp.) Menegh.
Scenedesmus bijugatus (Turp.) Kütz.
S. quadricauda (Turp.) Gréb. var. *quadricauda*

Виды, отмеченные звездочкой, представлены в массе в фитопланктоне, однако и в бентосе они встречались очень часто, причем клетки этих водорослей (на дне) сохраняли все морфологические особенности, характерные для живых водорослей.

Таким образом, 9% общего числа видов составляли основу биомассы перифитона и микрофитобентоса. Рассмотрим специфику образований по основным типам субстрата.

Обрастания на высших водных растениях

Тростник. В конце июня 1971 г. обрастания тростника состояли из диатомовых и зеленых водорослей. Наибольшего развития достигали из диатомовых — *T. flocculosa*, *T. fenestrata*, *F. capucina*, *M. varians*, из зеленых — *Oedogonium* sp., ster. Отмечены также *Fragilaria*, *Synedra*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Epithemia* (диатомовые), целый ряд протоккокковых (*Pediastrum*, *Scenedesmus*) и десмидиевых (*Pleurotaenium*, *Euastrum*, *Cosmarium*) водорослей.

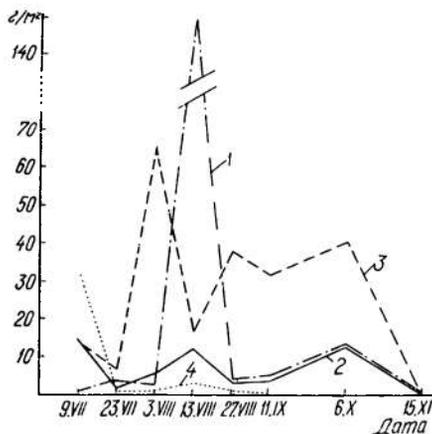


Рис. 1. Динамика биомассы перифитона на различном субстрате:

1 — камни; 2 — тростник; 3 — камыш;
 4 — рдест (*P. perforatus*).

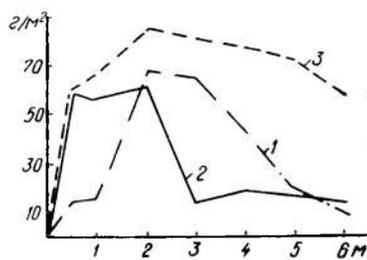


Рис. 2. Распределение биомассы бентосных водорослей по глубинам: в августе (1), сентябре (2), октябре (3).

В начале июля биомасса водорослей достигла $13,8 \text{ г/м}^2$ (рис. 1). В перифитоне тростника преобладали диатомовые водоросли ($13,2 \text{ г/м}^2$), среди которых выделялись *T. flocculosa*, *T. fenestrata* и *S. ulna*. Зеленые водоросли составляли лишь $0,6 \text{ г/м}^2$, в основном *Oedogonium* sp., ster., *P. tetras*, *S. quadricauda*. К концу июля при почти не изменившемся систематическом составе произошел резкий спад в развитии перифитона. Средние величины биомассы составляли лишь $1,1 \text{ г/м}^2$.

В первой половине августа отмечен новый подъем развития перифитона. Биомасса водорослей достигла $5,4 \text{ г/м}^2$ (3. VIII) и $12,3 \text{ г/м}^2$ (13. VIII). Преобладали зеленые водоросли — *Oedogonium* sp., ster., *D. schwartzii*; состав диатомовых изменился мало. К концу августа биомасса зеленых водорослей заметно уменьшилась ($1,4 \text{ г/м}^2$) и вновь диатомовые стали ведущей группой перифитона ($2,0 \text{ г/м}^2$). То же наблюдалось и в сентябре. Общая биомасса обрастаний в это время составила $3,7 \text{ г/м}^2$. Зеленые водоросли ($1,6 \text{ г/м}^2$) были представлены глав-

ным образом *Oedogonium* sp., ster., десмидиевыми и появившейся *C. soluta*. В октябре при общем значительном развитии перифитона ($12,9 \text{ г/м}^2$) продолжали доминировать диатомовые ($8,9 \text{ г/м}^2$), главным образом *D. geminata* и *G. olivaceum*. Повысилась и роль зеленых водорослей, особенно *C. soluta* ($3,7 \text{ г/м}^2$). К середине ноября озеро замерзло и подо льдом живые водорослевые обрастания не были обнаружены.

Итак, в июне, июле, сентябре и октябре основными обрастателями тростника были диатомовые водоросли, в августе — зеленые. В среднем за сезон биомасса перифитона на тростнике составила $7,2 \text{ г/м}^2$.

К а м ы ш. Первые качественные пробы перифитона камыша свидетельствовали о значительном разнообразии таксономического состава обрастаний. Как и на тростнике, здесь преобладали диатомовые водоросли, среди которых наибольшего развития достигли *T. flocculosa*, *T. fenestrata*, *F. capucina* и *M. varians*. Из зеленых водорослей, уступавших диатомовым в видовом разнообразии и в количественном развитии, чаще других встречались *Oedogonium* sp., ster., некоторые протококковые (виды родов *Pediastrum*, *Scenedesmus*) и десмидиевые.

В начале июля средняя биомасса перифитона составила $13,8 \text{ г/м}^2$, к концу месяца — понизилась до $6,8 \text{ г/м}^2$. Как и в обрастаниях тростника, в июле доминировали *T. flocculosa* и *T. fenestrata*, а из зеленых — *Oedogonium* sp., ster. В начале августа перифитон на камыше достиг максимального развития за весь период исследования ($65,9 \text{ г/м}^2$), причем главную роль в это время играли зеленые водоросли ($50,8 \text{ г/м}^2$), на долю диатомовых приходилось лишь $13,9 \text{ г/м}^2$. (Такое же соотношение наблюдалось в августовских сборах и на тростнике). Из зеленых доминировали *Oedogonium* sp., ster. ($34,4 \text{ г/м}^2$) и *Bulbochaete* sp., ster. ($12,0 \text{ г/м}^2$); из диатомовых чаще встречались виды рода *Epithemia*, *T. flocculosa*, *M. varians*. К середине августа биомасса обрастаний резко сократилась (до $16,1 \text{ г/м}^2$) за счет уменьшения количества *Oedogonium* sp., ster. ($8,4 \text{ г/м}^2$), а к концу месяца вновь повысилась (до $37,5 \text{ г/м}^2$). В сентябрьском перифитоне, как и в августовском, преобладали зеленые водоросли ($18,5 \text{ г/м}^2$) при общей биомассе $31,7 \text{ г/м}^2$, из которых значительного развития достигла *C. soluta* ($15,8 \text{ г/м}^2$). В октябре перифитон на камыше, как и на тростнике, был обильнее ($40,4 \text{ г/м}^2$), чем в августе и сентябре. Преобладали диатомовые, среди них доминировали *D. geminata* и *M. varians*. Основу биомассы зеленых водорослей ($16,8 \text{ г/м}^2$) составила *C. soluta*. В ноябре озеро замерзло и развитие перифитона на камыше прекратилось.

Как видим, обрастания на камыше и тростнике по составу имели очень сходный характер, однако весьма существенными были различия в сезонной ритмике и показателях биомассы. В среднем за сезон биомасса перифитона на камыше составила $35,2 \text{ г/м}^2$.

Р д е с т. Большинство проб собрано с наиболее распространенного представителя погруженной растительности оз. Красного — *Potamogeton perfoliatus* L. Поскольку обрастания другого вида рдеста — *P. lucens* L. почти не отличались от таковых на *P. perfoliatus*, характеристику обрастаний рдестов мы даем по этому последнему.

Биомасса перифитона на рдесте в начале июля достигла максимальных значений ($33,6 \text{ г/м}^2$) по сравнению с обрастаниями на других водных растениях. Состав обрастаний на рдесте и других макрофитах, сходен при большем, однако, развитии здесь видов рода *Cocconeis* (главным образом *C. placentula* с разновидностями). Июльский перифитон на рдесте состоял из зеленых ($23,0 \text{ г/м}^2$), диатомовых ($10,6 \text{ г/м}^2$) и очень незначительного числа синезеленых ($0,008 \text{ г/м}^2$). В составе зеленых преобладали *Spirogyra* sp., ster. и *Oedogonium* sp., ster., среди диатомовых — *M. varians* и *T. flocculosa*. К концу июля биомасса об-

растаний резко сократилась (до $0,2 \text{ г/м}^2$), что, по-видимому, было связано с интенсивным выеданием их беспозвоночными. Очень низкая биомасса обрастаний сохранялась до конца сезона. Небольшое повышение (до $1,5 \text{ г/м}^2$) наблюдалось лишь в середине августа; в это время доминировали зеленые — *Oedogonium* sp., ster. и *D. schwartzii*. В конце августа диатомовые стали преобладающей группой в перифитоне (в основном *Cymbella ventricosa* и *Cocconeis placentula* с различными видами), а в сентябре вегетация рдеста вообще закончилась.

Заросли макрофитов в период высокого стояния уровня озера, поднятого плотиной электростанции в 1949 г., составляли около 70 га всей его площади (50 га гелофиты и 20 га погруженные растения) [5]. После снятия плотины уровень снизился и занятая макрофитами площадь озера значительно сократилась. По приблизительным подсчетам в настоящее время она составляет 20% площади 1949 г. (10 га для гелофитов и 4 га для погруженных макрофитов). Если предположить, что камыш и тростник в равной мере образуют заросли, то средняя за сезон биомасса перифитона гелофитов составила $21,2 \text{ г/м}^2$, а с учетом площади, занятой воздушно-водной растительностью это даст 2,12 т сырого веса водорослей. Средняя биомасса перифитона рдеста за исследованный период составит $6,4 \text{ г/м}^2$ дна, или в пересчете на площадь, занятую гидрофитами, 0,26 т.

Обрастания камней

Перифитон на камнях значительно отличался от обрастаний высшей водной растительности как по видовому составу и показателям биомассы, так и по сезонной динамике развития основных групп водорослей. Прежде всего следует отметить значительную роль синезеленых, а именно *S. zetterstedtii*, развивавшегося в большом количестве в середине августа и давшего огромную биомассу ($141,4 \text{ г/м}^2$). Для диатомовых водорослей — видов рода *Cymbella*, *Epithemia* и *D. geminata* — камни оказались наиболее благоприятным субстратом. Среди развивающихся на камнях эпифитных водорослей чаще, чем на водных микрофитах, встречались формы, характерные для бентоса (это относится прежде всего к навикулоидным диатомовым). В то же время в перифитоне камней найдены все формы, встречавшиеся в обрастаниях водных растений.

В июле биомасса перифитона возросла с 0,4 до $3,3 \text{ г/м}^2$ (см. рис. 1), при этом большую часть ее образовали диатомовые, среди которых доминировала *E. turgida*. В конце июля и в первой половине августа биомасса водорослей возросла за счет интенсивного развития *S. zetterstedtii* (13 августа на долю этого вида приходилось $141,4 \text{ г/м}^2$ при общей биомассе $149,3 \text{ г/м}^2$). В конце августа *S. zetterstedtii* исчез, а общая биомасса уменьшилась до $4,0 \text{ г/м}^2$, причем зеленые водоросли преобладали над диатомовыми (доминировал *Oedogonium* sp., ster.). Среди диатомовых наиболее распространены в это время *Epithemia turgida* и *E. zebra*. Осенью (сентябрь и октябрь) интенсивно развивались диатомовые и общая биомасса водорослей возросла с 5,1 до $13,5 \text{ г/м}^2$. Массовыми видами оказались *D. geminata* (тот же вид доминировал и в обрастаниях макрофитов), *S. ulna* var. *amphirhynchus*, *C. lanceolata* и *M. varians*. Зеленые были представлены *Oedogonium* sp., ster. В ноябре, подо льдом обрастания на камнях не обнаружены.

Средняя биомасса перифитона на камнях за июль — октябрь составляла $18,3 \text{ г/м}^2$. Если учесть, что каменистый участок литорали занимает около 500 м², то получим среднюю биомассу обрастаний на камнях для всего озера 9,2 кг.

Микрофитобентос оз. Красного

Исследовано несколько характерных для литорали и сублиторали озера биотопов: заиленный песок, орудневший песок с железомарганцевыми конкрециями, каменистая литораль, грубодетритный ил, а также глубоководные илы профундали. Фитобентос перечисленных биотопов слагался главным образом из диатомовых и синезеленых водорослей (выше уже указывались основные виды, образующие флору илов). Роль зеленых водорослей незначительна, встречались представители протококковых (виды рода *Pediastrum*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*). На всех биотопах отмечено большое количество эпифитных и планктонных организмов.

Биотоп грубодетритных илов, к которым приурочены преимущественно заросли жесткой водной растительности (глубина 0—2 м), отличались слабым развитием собственно бентофлоры (вероятно, на развитии донных водорослей неблагоприятно сказалось наличие макрофитов, а также постоянные колебания уровня озера). Большую роль в создании микрофитобентоса этого биотопа играли перифитонные водоросли, а также водоросли планктона. Средняя биомасса водорослей за август—октябрь здесь составила 53,0 г/м² (31,8 г/м² в августе, 57,8 г/м² в сентябре и 69,2 г/м² в октябре).

Фитобентос каменистой литорали складывался из водорослей, обрастающих камни (состав их дан в разделе «Обрастания камней») и немногочисленных собственно бентосных форм.

Наиболее развит биотоп заиленного песка. Степень заиления здесь возрастает с глубиной. В литорали вследствие постоянного действия волн слой наилка на прибрежных песках очень незначителен или его нет вообще. Пробы такого грунта содержали лишь осевший планктон и водоросли, попавшие сюда из обрастаний.

С глубиной, по мере увеличения слоя наилка, появляются типичные для иловых биоценозов виды. Чаше это диатомовые водоросли родов *Navicula*, *Pinnularia*, *Gyrosigma acuminatum*, различные *Nitzschia*, *Cymatopleura*, *Surirella* (особенно *S. robusta*), *Campylodiscus noricus* var *hibernicus*. Из синезеленых многочисленны *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*.

Как видно из приведенных данных (рис. 2), максимум развития микрофитобентоса приходился в среднем на глубину 2 м. С увеличением глубины количество водорослей уменьшается. Средняя биомасса микрофитобентоса (за август, сентябрь и октябрь) для глубины 0—6 м — 48,1 г/м². Если учесть, что площадь между изобатами 0 и 6 м 3,3 км², то получим, что биомасса фитобентоса для этой площади в среднем равна 159 т. Видовой состав собственно бентофлоры на протяжении всего периода исследований относительно стабилен, изменения происходят лишь в составе тех планктонных водорослей, которые попадают сюда из толщи воды, и в количественном развитии иловых водорослей. Так для глубин 0—6 м средняя биомасса в августе составляла 32,7 г/м², в сентябре — 33,3 г/м², в октябре — 70,0 г/м².

Биотоп орудневшего песка с железомарганцевыми конкрециями. Одной из особенностей оз. Красного является значительное распространение в его нижней литорали (на глубине 1,5—2,5 м) железомарганцевых конкреций, которые вплоть до конца июля оставались свободными от водорослей. В конце июля конкреции сплошь покрылись *S. glomerata* (Chlorophyta), которая в свою очередь обрастала различными диатомовыми (в большинстве случаев *S. vaucheriae*, виды рода *Gomphonema*). Максимальное развитие *S. glomerata* отмечено в октябре — 17,8 г/м²; среднее значение биомассы за все время исследований составило 7,4 г/м².

Заключение

В перифитоне и микрофитобентосе оз. Красного за период исследования обнаружено 244 видовых и внутривидовых таксонов водорослей. Основную роль в перифитоне играли диатомовые и зеленые водоросли, в микрофитобентосе — диатомовые и синезеленые. В обрастаниях происходит сезонная смена основных групп водорослей: диатомовые — зеленые — диатомовые. Видовой состав перифитона, а также количественные показания биомассы обрастаний зависят от вида субстрата. Ввиду большей стабильности условий в микрофитобентосе видовой состав водорослей изменялся мало, отличия сводились к разнице в показаниях биомассы. Наиболее продуктивной в фитобентосе была глубина 2 м. В перифитоне и особенно в микрофитобентосе большую роль играли планктонные водоросли.

Средняя величина биомассы растительного перифитона оз. Красного (16,3 г/м², или 2,38 т водорослей с учетом площади, занятой макрофитами) оказалась ниже, чем в Братском водохранилище (36—500 г/м² — [3]) и оз. Глубоком (18,7 г сухого веса на 1 м² зарослей хвоща — [1]). Количественное развитие микрофитобентоса оз. Красного (средняя биомасса 48,1 г/м²) выражается величинами того же порядка, что и в Киевском (34,5 г/м² [7]), а также Днепродзержинском (40—113 г/м²—[2]) водохранилищах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ассман А. В. 1953. Роль водорослевых обрастаний в образовании органического вещества в Глубоком озере. Тр. ВГБО, 5.
2. Гаухман З. С. 1971. К характеристике микрофитобентоса Днепродзержинского водохранилища. В сб.: «Днепродз. вод-ще», Днепропетровск.
3. Загоренко Г. Ф. 1970. Методы и результаты количественной оценки растительного перифитона Братского водохранилища. В сб.: «Биол. проц. в морск. и контин. вод.», Изд-во АН МолдССР, Кишинев.
4. Озера Карельского перешейка. 1964. Лимнология и методика исследований (под ред. И. И. Николаева и Е. А. Попова). Изд-во «Наука», М.—Л.
5. Озера Карельского перешейка. 1971. Лимнологические циклы озера Красного (под ред. С. В. Калесника). Изд-во «Наука», Л.
6. Семенович Н. И. 1958. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах. «Тр. Лабор. озеровед АН СССР», 6.
7. Скорик Л. В. 1972. Особенности формирования и развития фитомикробентоса (Киевского) водохранилища. В сб.: «Киевск. вод-ще», изд-во «Наукова думка», К.

Поступила 2. I 1973 г.

PERIPHYTON AND MICROPHYTOBENTHOS OF THE LAKE KRASNOYE (KARELIAN ISTHMUS)

S. L. BASOVA

(Lake Research Institute, Academy of Sciences, USSR, Leningrad)

Summary

The specific composition of the periphyton and benthic algae flora (244 subgeneric level taxa) and quantitative characteristics of these associations are given. Seasonal successions of the essential algal groups is pointed out for periphyton. The microphyto-benthic algae composition found to be of minor variability as a result of relative stability of ecological conditions. The fair biotopic preferences of the floral elements are pointed out in both associations considered.