

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРФОСТРУКТУРЫ ЧЕРНОМОРСКОЙ *ZOSTERA MARINA* L. И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ

Исследовано влияние гранулометрического состава грунта на морфоструктуру особей *Zostera marina* L. Выявлена зависимость морфометрических параметров материнских и дочерних побегов от содержания гранулометрических фракций. Исследуемые параметры объединены в три группы по степени зависимости от процентной доли фракций: 1) вес и размерные характеристики материнского и дочерних побегов; 2) признаки подземной сферы и вегетативного размножения; 3) площадь поверхности листьев.

Среди морских трав в Черном море *Zostera marina* L. занимает доминирующее положение [11]. Сообщества этого вида произрастают на илистых и илисто-песчаных осадках во многих заливах и бухтах. Зостера относится к экологической группе длиннокорневищных вегетативно подвижных растений [7]. Известно, что растения, размножающиеся вегетативным путем, чувствительны к рыхлости и аэрации грунта [7], которые зависят от его гранулометрического состава [5]. Первые сведения о различии особей *Z. marina*, произрастающих на разных типах донных осадков, опубликованы еще в начале прошлого века [10]. Однако статистический анализ влияния гранулометрического состава осадков на ряд морфологических и популяционных характеристик зостеры выполнен относительно недавно [8]. Как известно, оценка состояния растения по комплексу параметров, относящихся к различным сферам его морфологической структуры, позволяет более точно охарактеризовать отклик организма на факторы среды, что важно для целей фитоиндикации и мониторинга [3].

В настоящей работе впервые приведены данные о взаимосвязи комплекса параметров морфологической структуры особей *Z. marina* и процентного содержания фракций в донных осадках некоторых бухт региона Севастополя.

Материалы и методы. Исследования проводили в 1999 г. в пик вегетационного развития *Z. marina* (конец июня - начало августа) в бухтах Севастополя - Стрелецкой, Камышовой, Карантинной, Голландии, Казачьей (правый и левый рукава) и в вершине б. Северная (эстуарий реки Черная). Пробы отбирали на глубине от 1,5 до 3,5 м. В исследуемых популяциях проанализировано по 50 - 70 вегетативных растений, общее количество которых составило 439.

У каждого растения измеряли и рассчитывали следующие морфометрические параметры: L_1 - максимальная длина листа материнского побега; s - средняя ширина листа материнского побега; A - площадь листьев растения; w_1 - вес листьев материнского побега в воздушно-сухом состоянии; w_r - вес корней материнского побега в воздушно-сухом состоянии; L_{in} - средняя длина молодых (белых) междоузлий корневища материнского побега; D_{in} - средний диаметр молодых междоузлий корневища материнского побега; bg/ag - отношение веса подземных частей материнского побега к весу надземных частей; w_b/W - вклад дочерних побегов в вес всего растения; N_{dp}/N_{in} - среднее количество дочерних побегов на одном узле материнского побега; w_{1s1} - средний вес корней дочернего побега 1 порядка в воздушно-сухом состоянии; w_{2s2} - средний вес корней дочернего побега 2 порядка в воздушно-сухом состоянии; N_{1s1} - среднее количество листьев дочернего побега 1 порядка; L_{1s1} - средняя длина корневища дочернего побега 1 порядка; N_{2s2} - среднее количество листьев дочернего побега 2 порядка; N_{in1s2} - среднее количество междоузлий корневища дочернего побега 2 порядка.

Анализ гранулометрического состава грунта выполнен пипеточным методом (ГОСТ 12536-79) сотрудниками Института геоинженерно-технических изысканий (г. Симферополь). В донных осадках каждой станции определено содержание 10 размерных фракций [6]: >10 мм; 10 - 5 мм; 5 - 2 мм (ракуша); 2 - 1 мм (гравий); 1 - 0,1 мм (песок); 0,1 - 0,05 мм (крупный алеврит, пыль); 0,05 - 0,01 мм (мелкий алеврит, сilt); 0,01 - 0,005 мм и 0,005 - 0,001 мм (крупный пелит); <0,001 мм (мелкий пелит). В ходе статистиче

ской обработки результатов находили средние значения морфологических параметров особей zostеры для каждой популяции. Взаимосвязь средних значений параметров *Z. marina* и процентного содержания фракций оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Для исследования структуры корреляционной матрицы использовали факторный анализ (метод главных осей). Матрицу факторных нагрузок анализировали после вращения методом "варимакс" [2]. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ STATISTICA 5.1.

Результаты. В ходе факторного анализа корреляционной матрицы было выделено 4 фактора, объясняющих 94,3 % суммарной дисперсии (см. табл., рис.).

Таблица. Факторные нагрузки морфопараметров особи *Zostera marina* L. и фракций грунта
Table. Factor loadings of morphoparameters of *Zostera marina* L. plants and sediment fractions

Параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
L_i	-0.0344	-0.1868	0.9542	-0.1705
S	0.3086	0.6492	0.1255	0.5892
A	0.3744	0.3267	0.8146	0.2375
w_i	0.0157	0.3398	0.2148	0.8943
w_r	-0.0293	0.8247	0.1596	0.3584
L_{in}	0.0935	0.8549	0.3710	0.2067
D_{in}	0.3412	0.4079	0.2366	0.7759
bg/ag	0.2075	0.8777	-0.1996	-0.3568
w_{is}/W	0.8851	0.2858	0.2707	0.1825
N_{dp}/N_{in}	0.3074	0.8953	0.2687	-0.0329
w_{rls1}	0.5152	0.5355	0.6510	-0.1665
w_{rls2}	0.5451	0.6400	0.3603	0.3495
N_{rls1}	0.8876	0.1811	-0.0094	0.3194
L_{rls1}	0.8312	0.1680	0.4761	0.2325
N_{rls2}	0.7689	0.2818	0.2324	0.5079
N_{inls2}	0.6877	0.1232	0.4282	0.4418
>10	0.2563	0.4428	0.8343	0.1058
10-5	0.5977	0.3747	0.0489	0.6919
5-2	0.3081	0.5573	-0.0607	0.7456
2-1	-0.1045	0.0392	-0.9488	-0.0674
1-0,1	-0.5727	-0.0309	-0.0291	-0.7176
0,1-0,05	-0.6893	-0.2161	0.2328	-0.6526
0,05-0,01	0.2202	-0.2944	0.0918	0.9045
0,01-0,005	0.5197	-0.0999	0.0222	0.7862
0,005-0,001	0.2088	-0.2886	-0.2593	0.8488
<0,001	-0.2061	-0.9239	0.1761	0.0616
Вклад фактора	6.1260	6.4912	4.8227	7.0780
%	23.5615	24.9661	18.5490	27.2230

Первый фактор характеризует развитие дочерних побегов, так как наибольший вклад (0,77 - 0,89) в него вносят: w_{is}/W , N_{rls1} , L_{rls1} , N_{rls2} (табл., рис.). Довольно высокими являются также нагрузки на фракции 10 - 5 мм (0,60), 1 - 0,1 мм (-0,57), 0,1 - 0,05 мм (-0,69) и 0,01 - 0,005 мм (0,52), что позволяет говорить об их влиянии на дочерние побеги. Содержание песка и крупного алеврита отрицательно, а ракушки (10 - 5 мм) и крупного пелита (0,01 - 0,005 мм) положительно связано с признаками дочерних побегов.

Во второй фактор максимальный вклад вносят следующие параметры: w_r (0,82), L_{in} (0,85), bg/ag (0,88), N_{dp}/N_{in} (0,90) и фракция <0,001 мм (-0,92). Не столь высоки нагрузки у параметров w_{rls2} (0,64) и s (0,65). Следовательно, фактор 2 отражает, главным

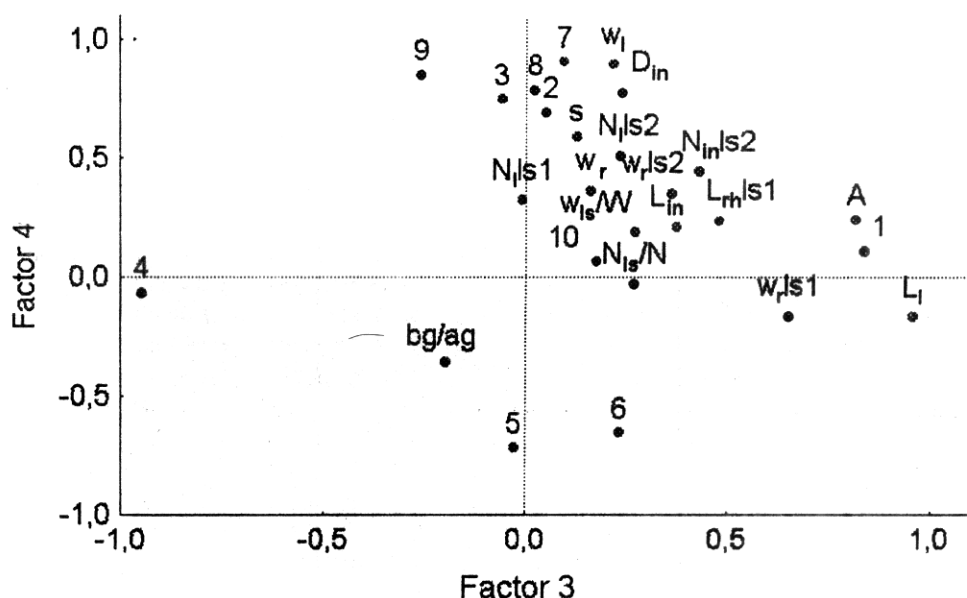


Рисунок. Размещение морфопараметров растения и фракций грунта в пространстве факторов

Figure. Location of *Z. marina* plants morphoparameters and sediment fractions in factor space

образом, отрицательную связь показателей подземной сферы материнского побега и вегетативного размножения с долей частиц мелкого пелита в грунте. Кроме этого, фракция $<0,001$ мм оказывает заметное негативное влияние на вес корней дочерних побегов и ширину листа материнского побега.

Наибольшие нагрузки на 3 фактор имеют параметры L_1 (0,95), A (0,81) и фракции >10 мм (0,83) и 2 - 1 мм (-0,95), что свидетельствует о позитивном влиянии на листовую поверхность *Z. marina* крупной ракушки и негативном - мелкого гравия.

Четвертый фактор связывает содержание фракций 10 - 5 мм; 5 - 2 мм; 1 - 0,1 мм; 0,1 - 0,05 мм; 0,05 - 0,01 мм; 0,01 - 0,005 мм и 0,005 - 0,001 мм с признаками w_1 и D_{in} , характеризующими развитие вегетативных органов растения (нагрузки 0,89 и 0,76). Положительно воздействуют на материнский побег фракции ракушки (10 - 2 мм), мелкого алевроита и крупного пелита (нагрузки 0,69 - 0,90), негативное влияние оказывают песок и крупный алевроит (нагрузки -0,65 и -0,71).

Обсуждение. Статистический анализ показал, что отклик различных параметров растения *Z. marina* на гранулометрический состав донных осадков неодинаков. Изученные морфологические признаки возможно объединить в три группы, отличающиеся по реакции на содержание различных фракций: 1) вес и размерные характеристики материнских и дочерних побегов положительно связаны с высоким содержанием ракушки (фракция 10 - 2 мм), мелкого алевроита (0,05 - 0,01 мм) и крупного пелита (0,005 - 0,001 мм); отрицательное влияние на эту группу признаков оказывают песок (1 - 0,1 мм) и крупный алевроит (0,1 - 0,05 мм); 2) параметры подземной сферы материнских побегов негативно реагируют на фракцию мелкого пелита ($<0,001$ мм); 3) параметры листьев позитивно связаны с долей крупной ракушки (>10 мм) в осадках и отрицательно с фракцией мелкого гравия и ракушки (2 - 1 мм).

Полученные нами данные позволяют говорить об индивидуальности отклика различных групп признаков *Z. marina* на состав грунта. Считается, что подобная признакоспецифичность реакции параметров растения на один и тот же фактор среды - универсальное явление [3].

Известно, что на вегетативное размножение длиннокорневищных трав положительно влияет рыхлость грунта [7], зависящая от его гранулометрического состава. Влажный песок является труднопроницаемым субстратом, а тонкодисперсные фракции оказывают слабое сопротивление растущим подземным частям растений [5]. Выполненные ранее исследования *Z. marina* показали, что интенсивность вегетативного размножения [8], а также длина [4, 8], ширина листьев [4] и масса побегов [1, 4] выше в условиях илистых грунтов по сравнению с песчаными.

Нами обнаружено, что мелкий алевроит и крупный пелит положительно, а песок и крупный алевроит - отрицательно влияют на вес листьев, диаметр корневища материнского побега, на параметры листьев и корневищ дочерних побегов и их вклад в вес растения. Однако, такие производственные характеристики zostеры, как длина и площадь листьев материнского побега оказались слабо связаны с содержанием песчаных и тонкодисперсных фракций. Они зависят главным образом от содержания крупной ракушки (положительная связь) и фракции 2 - 1 мм (отрицательная связь). Другие параметры растений *Z. marina* также позитивно реагируют на содержание ракушки в донных осадках. Возможно, это связано с тем, что полые раковины моллюсков создают пустоты, улучшающие аэрацию осадков и облегчающие рост корней и корневищ.

Наряду со сведениями о положительном влиянии илистых донных осадков на морские травы, существуют данные о том, что такой тип грунта является неблагоприятной средой для их подземных органов [12]. Илистые грунты часто характеризуется анаэробными условиями, высоким содержанием сероводорода [9, 12, 13]; кроме того, практически во всех бухтах Севастополя они загрязнены нефтепродуктами [9]. Результаты настоящего исследования свидетельствуют о негативном влиянии фракции мелкого пелита (<0,001 мм) на вес корней и другие признаки подземной сферы. Есть сведения о том, что при недостатке кислорода в донных осадках снижаются транспорт углерода из листьев в корни и потребление его корнями [13]. Возможно, это объясняет обнаруженную нами отрицательную связь фракции (<0,001 мм) и соотношения веса подземных и надземных частей zostеры. Анаэробные условия и высокое содержание сульфидов негативно влияют также на фотосинтетическую активность и прирост листьев *Z. marina* L. [13]. Однако в исследованных нами популяциях zostеры связь содержания пелита и параметров листьев, за исключением ширины листа материнского побега, практически отсутствует.

Представленные в статье данные не позволяют однозначно говорить о позитивном или негативном воздействии илистых грунтов на *Z. marina*. По-видимому, тонкодисперсные фракции, исходя из их влияния на морфоструктуру zostеры, можно разделить на 2 группы: 1) мелкий алевроит и крупный пелит (0,05 - 0,001 мм) положительно воздействуют на растения zostеры; 2) мелкий пелит (<0,001 мм) отрицательно связан с признаками подземной сферы.

Выводы. Выявлено 3 группы морфометрических признаков особей *Zostera marina* L., отличающихся по реакции на содержание различных фракций в донных осадках: 1. Параметры, характеризующие общее развитие системы материнских и дочерних побегов (ширина листьев и диаметр корневища материнского побега, количество листьев и длина корневищ и вклад дочерних побегов в вес всего растения), положительно связаны с высоким содержанием ракушки (фракция 10 - 2 мм), мелкого алевроита и крупного пелита (0,05 - 0,001 мм); отрицательное влияние на эту группу признаков оказывают песок (1 - 0,1 мм) и крупный алевроит (0,1 - 0,05 мм). 2. Параметры подземной сферы и вегетативного размножения (вес корней, длина междоузлий, соотношение веса подземных органов и листьев, среднее количество дочерних побегов на одном узле) негативно реагируют на фракцию мелкого пелита (<0,001 мм). 3. Параметры листьев (длина и площадь листьев материнского побега) позитивно связаны с долей крупной ракушки (>10 мм) в осадках и отрицательно - с фракцией мелкого гравия (2 - 1 мм).

1. Александров В.В. Оценка состояния ценопопуляций *Zostera marina* L. в районе Севастополя // Экология моря. - 2000. - Вып. 52. - С.26 - 30.
2. Афифи Ф., Эйзен С. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ. - М.: Мир, 1982. - 488 с.

3. Злобин Ю.А., Сухой И. Б. Ценопопуляция на эколого-фитоценоотическом градиенте // Проблемы теор. эксп. фитоценол. / отв. ред. Розенберг Г. С. - Уфа: БФАН СССР, 1987. - С. 129 - 139.
4. Куликова Н.М., Иванова И.К. Анатомо-морфологическая характеристика *Zostera marina* L. из Севастопольской бухты // Биология моря. - 1972. - Вып. 26. - С. 133 - 145.
5. Культиасов И.М. Экология растений. - М.: Изд-во МГУ, 1982. - 384 с.
6. Логвиненко Н.В. Морская геология. - Л.: Недра, 1980. - 344 с.
7. Любарский Е.Л. Экология вегетативно-подвижных растений. - Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1967. - 184 с.
8. Мильчакова Н.А. Статистический анализ влияния гранулометрического состава донных осадков на численность и размерную структуру популяций морфоструктуры *Zostera marina* L. в Черном море // Экология моря. - 1989. - Вып. 32. - С. 59 - 63.
9. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов А. С. Нефть и состояние бентосных сообществ в Севастопольских бухтах // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу / ред. Павлова Е.В., Шадрин Н.В. - Севастополь: Аквавита, 1999. - С. 176 - 173.
10. Савенков М. Я. Материалы к изучению ойкологии и морфологии *Zostera* в окрестностях г. Севастополя. - Харьков: Изд-во Печатник, 1910. - 36 с.
11. Milchakova N. A. On the status of seagrass communities in the Black Sea // Aquatic Botany. - 1999. - 65. - P. 21 - 32.
12. Penhale P. A., Wetzel R. G. Structural and functional adaptations of eelgrass (*Zostera marina* L.) to the anaerobic environment // Can. J. Bot. - 1983. - 61. - P. 1421 - 1428.
13. Terrados J., Duarte C. M., Kamp-Nielsen L. et al. Are seagrass growth and survival constrained by the reduced conditions of the sediment? // Aquatic Botany. - 1999. - 65. - P. 175 - 197.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 19.10.2001

V. V. ALEXANDROV

INTERRELATION OF MORPHOSTRUCTURE OF *ZOSTERA MARINA* L. PLANTS FROM THE BLACK SEA AND GRANULOMETRIC COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS

Summary

The effect of granulometric composition of bottom sediments on *Zostera marina* L. plants morphostructure was examined in 1999, near Sevastopol (the Black Sea). The interrelation of morphometric parameters of *Z. marina* plants and content of sediment fractions is revealed. Morpho-parameters are divided into three groups reacting to sediment structure particularly: 1) the size and weight of main and lateral shoots; 2) the root-rhizome system and vegetative propagation parameters; 3) the leaves area.