

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 2010

ПРИБ. 1981

ПРОВ 98

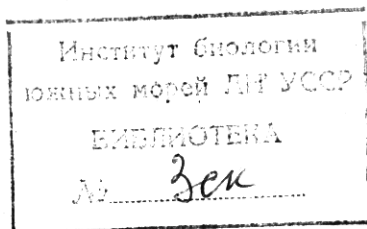
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 48

ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА
И МОРСКИЕ ОБРАСТАНИЯ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1979

ров примерно на 1% — эта система в общих чертах так же «работает» и в море. Основные данные эксперимента могут быть использованы при создании управляемых морских систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менишуткин В. В., Сорокин Ю. И. Модельное исследование экосистемы Рыбинского водохранилища. — В кн.: Биология внутренних вод. Л., Наука, 1975, с. 63—66. (Информ. бюл. АН СССР, № 27).
2. Маленко Э. Статистические методы эконометрии. Вып. 1. М., Статистика, 1975. 422 с.
3. Подвинцев Ю. В., Новиков В. Э. Анализ взаимодействия связанных с обрастанием факторов. — Настоящий сборник, с. 46—47.
4. Горбенко Ю. А. Экология морских микроорганизмов перифитона. Киев, Наук. думка, 1977. 251 с.
5. Лукас С. Экологическое значение метаболитов, выделенных во внешнюю среду. — В кн.: Механизмы биологической конкуренции. М., Мир, 1964. 51 с.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР
Севастопольский приборостроительный
институт МВССО УССР

Поступила в редколлегию
05.05.77

Ju. A. Gorbenko, Ju. V. Podvintsev

ANALYSIS OF ELEMENTS INTERACTION IN THE SYSTEM: MICRO- AND MACROORGANISMS OF OVERGROWTHS, BIO- AND ABIOTIC FACTORS OF THE MEDIUM (MATHEMATICAL EXPERIMENT)

Summary

Studies in the system of 14 biotic and 11 abiotic parameters of the marine medium made it possible to establish how the artificial increment of one of these parameters involves changes in the others. Strong exciting parameters are found in the system which are the main regulators. Most excitable and nonexcitable parameters are determined. The system is found to contain direct positive and negative relations and may be inverse positive and negative relations as well, but to a considerably less extent.

УДК 519.2+578.087.9

Ю. Н. Кошелев, П. И. Литвинов

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕКОТОРЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ

Развитие ценоза морского обрастания зависит от ряда факторов, в том числе в значительной мере от параметров морской воды [4, 5, 9]. В естественных условиях, когда все параметры воды меняются одновременно и являются неуправляемыми факторами, разделение их по степени влияния может представить интерес при изучении различных аспектов обрастания.

Для решения этого вопроса, а также для получения расчетной формулы, связывающей величину обрастания с параметрами воды, и прогноза обрастания были применены три статистических метода, расчеты по которым производились на ЭВМ¹.

¹ Программы для расчетов разработаны кафедрами систем информации, высшей математики, математической физики и вычислительной математики Севастопольского приборостроительного института. В разработке программ, кроме автора статьи — П. И. Литвинова, принимали участие Ю. В. Подвинцев, А. В. Цуканов, В. Э. Новиков, Г. А. Артемов и др. сотрудники кафедр.

Исходными данными для расчетов служили параметры воды и биомасса обрастания, определявшиеся в одном из районов моря на глубине 2,0 м. Сухую биомассу с титановых пластин размером $100 \times 100 \times 2$ мм определяли после высушивания до постоянной массы при температуре $50-60^\circ\text{C}$. Все пластины были установлены одновременно, а затем в течение года их последовательно снимали по одной через каждые 15 суток (периоды). Биомасса, определенная таким образом, соответствует графе y в табл. 1.

Таблица 1

Параметры воды и сухая масса обрастания за первый год экспозиции

Период	Хлорность, г/л	Кислород, мг/л	pH	Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	Высота волны, см	Скорость течения, см/мин	Температура, $^\circ\text{C}$	Относительная прозрачность, м	Органические вещества, мг/л	Сухая масса обрастания, г/м ²
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	y
1974 г. (IV—XII)										
1	10,27	9,80	8,44	247	0	0,46	10,6	2,9	1,0	7
2	10,05	9,82	8,54	216	1	0,06	12,8	3,0	0,9	14
3	10,17	9,38	8,40	238	13	0,27	15,2	2,6	1,2	30
4	10,16	9,63	8,33	228	11	0,10	18,3	2,6	0,6	90
5	10,07	9,50	8,34	228	15	0,15	20,1	2,6	0,9	243
6	10,14	9,50	8,47	221	15	0,18	21,8	2,7	1,6	283
7	10,17	8,86	8,39	216	11	0,14	23,4	3,1	1,3	182
8	10,07	8,05	8,36	204	10	0,05	23,5	3,3	1,3	168
9	9,92	8,52	8,44	218	7	0,09	22,4	4,5	1,2	179
10	10,52	8,20	8,41	221	7	0,07	22,4	4,0	1,3	276
11	10,25	7,08	8,35	218	6	0,10	20,5	3,4	1,7	350
12	10,03	6,44	8,22	190	7	0,11	19,5	3,6	1,4	480
13	10,06	6,66	8,24	187	15	0,30	19,2	3,3	1,2	488
14	10,01	6,65	8,24	179	12	0,14	16,5	3,1	1,2	495
15	10,62	7,55	8,32	173	8	0,16	13,9	6,0	0,8	487
16	9,90	7,82	8,23	201	9	0,15	11,3	3,1	0,8	460
1975 г. (I—IV)										
17	9,80	8,25	8,23	205	16	0,19	10,5	3,2	1,1	504
18	9,91	8,64	8,23	185	19	0,35	9,3	3,3	1,5	554
19	9,81	9,08	8,23	181	10	0,32	8,2	5,8	0,9	585
20	9,95	9,26	8,25	176	13	1,21	7,7	3,3	1,3	538
21	10,01	10,45	8,27	237	14	0,41	6,7	3,4	1,6	566
22	10,02	10,83	8,30	237	11	0,06	7,1	3,5	1,8	632
23	9,92	10,40	8,28	188	12	0,68	8,5	3,3	1,3	707
24	9,94	10,34	8,24	194	11	0,77	10,5	3,7	1,3	736

Параметры воды определяли непосредственно в зоне установки пластин один раз в сутки. В табл. 1 приведены средние значения параметров воды $x_1 - x_9$ за каждые 15 суток.

Гидрохимические параметры — хлорность и кислород — определяли по [11], pH и окислительно-восстановительный потенциал — милливольтметром pH 340; гидрометеорологические параметры — высоту волны, скорость течения, температуру и относительную прозрачность — определяли по [10]; органические вещества экстрагировали хлороформом и определяли в соответствии с [8].

Для расчетов использовали значения параметров воды, пересчитанные по данным табл. 1 как средние за каждый период, начиная с установки пластин на экспозицию. В таком виде их значения соответствовали периодам определения биомассы, приведенным в той же таблице.

Биомассу на втором году экспозиции определяли не каждые 15 суток, а через разные промежутки времени, кратные 15 суткам. Параметры воды на втором году экспозиции не регистрировали.

Большинство параметров, характеризующих морскую воду и влияющих на обрастание, коррелировали между собой как из-за того, что они описывают разные стороны одного и того же биологического, химического или физического явления (например, относительная прозрачность воды и количество органического вещества, окислительно-восстановительный потенциал и количество кислорода, скорость течения и волнение воды), так и из-за совместных сезонных монотонных изменений (температура и содержание растворенного кислорода). Поэтому для определения степени влияния параметров воды на величину обрастания был применен метод главных компонент, позволяющий преодолеть трудности, связанные с коррелированностью параметров и видами их статистического распределения [1, 2, 7].

Степень влияния каждого параметра определялась относительным показателем

$$s_i = \sum_{j=1}^n b_j \sigma_j w_{ij}, \quad (1)$$

где n — количество параметров; b_j — коэффициенты в уравнении регрессии на главных компонентах; σ_j — процент дисперсии, приходящийся на компоненту; w_{ij} — удельная масса i -го параметра в j -ой компоненте.

Судя по результатам расчетного ранжирования параметров (табл. 2), на увеличение биомассы основное влияние оказывают параметры x_7 — x_9 . Относительная прозрачность (x_8) и содержание органических веществ (x_9) в единице объема воды характеризуют относительное и прямое количественное содержание всех видов органических веществ в воде. Наименее влиятельным на увеличение биомассы, согласно этим расчетам, оказывается рН (x_3) и параметры, характеризующие окислительные свойства воды (x_4 и x_2).

Предложенный расчет по методу главных компонент дает в большей степени качественную, чем количественную характеристику: с его помощью можно только ранжировать параметры по степени их «статистической значимости».

Для получения уравнения, связывающего прирост биомассы с параметрами воды, применен метод множественной линейной регрессии с отбросом параметров с малозначимыми коэффициентами. Применимость метода основывалась на проверке вида распределения, которое для восьми параметров оказалось нормальным.

В зависимости от трех преобладающих параметров x_7 — x_9 получено уравнение, в котором при расчете исключен x_9 :

$$y = 15,1x_7 + 628x_8 - 1870. \quad (2)$$

В уравнении (2) коэффициенты при x_7 и x_8 значимы по критерию t не меньше чем на 0,95 (программа расчета производит отброс параметров с коэффициентами, имеющими значимость ниже этого или другого заданного уровня), а само уравнение по критерию F значимо более чем на 0,99. Расчет по программе можно проводить с любым количеством

Таблица 2
Ранжирование параметров воды по степени влияния на увеличение биомассы

Параметр	s_i	Место по ранжиру
x_1	—12,2	6
x_2	—15,9	9
x_3	—13,9	7
x_4	—15,6	8
x_5	—4,4	4
x_6	—9,3	5
x_7	10,9	3
x_8	14,6	2
x_9	15,1	1

параметров, принятых для регистрации, и с различными пределами уровня значимости коэффициентов при переменных.

Применение метода множественной линейной регрессии позволяет получить только интерполяционную зависимость величины биомассы от параметров воды и времени, не превышающего срок экспозиции. Поэтому для прогнозирования роста биомассы построена модель средне-суточного экстраполяционного прогноза [6]. Рост биомассы в течение нескольких лет происходит по экспоненте — чаще всего с насыщением [3, 9]. Эту временную тенденцию изменения (тренд) можно достаточно точно описать зависимостью

$$\tilde{y}_t = (at^{\frac{1}{2}} + c) \ln(t + 1), \quad (3)$$

где t — время обрастания; a и c — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов по значениям y из табл. 1.

Получаемые при экспозиции величины отклонений обрастания от предложенного тренда (3) можно рассматривать как случайные значения, зависящие от отклонений параметров воды от своих трендов. Исходя из этого, прогноз с учетом параметров воды определялся как

$$y_t = \tilde{y}_t + \eta, \quad (4)$$

где η — поправка к тренду, определяемая зависимостями, полученными на отклонениях: коэффициенты в уравнении авторегрессии y выражались через коэффициенты регрессии y по x_i .

С учетом ряда требований [6] поправка к тренду y на любой период времени (начиная с периода, определяемого шагом авторегрессии) рассчитывалась как

$$\eta = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{r=1}^k \beta_{ir} \Delta x_{it-r}, \quad (5)$$

где α_i — коэффициенты в уравнении регрессии, составленном на отклонениях y по отклонениям x_i от трендов; β_{ir} — коэффициенты в уравнении авторегрессии y ; k — количество шагов в уравнении авторегрессии, для которого выполнен критерий неавтокоррелированности.

Трендами для параметров воды служили их разложения в ряды Фурье.

Опытные значения биомассы ($y_{оп}$) (периоды 3—24 за первый год экспозиции и 27—48 за второй) и соответствующие им значения (y_t), полученные при расчете прогноза только от x_7 и x_8 , приведены в табл. 3.

Таблица 3
Опытные ($y_{оп}$) и прогнозируемые (y_t) значения биомассы за первый и второй год экспозиции, г/м²

Период	$y_{оп}$	y_t	Период	$y_{оп}$	y_t
3	30	—	24	736	—
4	90	140	27	860	798
6	283	183	29	915	827
8	168	241	32	910	898
10	276	312	35	980	968
12	480	379	38	1090	1037
14	495	433	41	1100	1104
16	460	475	44	1150	1169
18	554	573	48	1180	1259
20	538	581			
22	632	653			

Коэффициент сходимости прогноза [12], определенный по всем расчетным периодам по формуле

$$v = 1 - \left(\frac{\sum (y_{\text{оп}} - y_t)^2}{\sum y_{\text{оп}}^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

составил 0,91. Прогноз по разработанной программе может вестись с любым количеством параметров и на любой срок, задаваемый исследователем.

Несмотря на положительные результаты расчетов, необходимо учитывать, что они выполнены только по девяти параметрам морской воды и не включают многих факторов, которые могут оказаться существенными для обрастания. Поэтому результаты этих расчетов следует рассматривать в большой мере как иллюстрацию принципиальной возможности моделирования морского обрастания предложенными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрукович П. Ф. Применение метода главных компонент в практических исследованиях. — Тр. межфакультет. лаб. стат. методов Моск. ун-та, 1973, 36. 68 с.
2. Болошин С. Б., Осипов А. В., Семенов Г. А. Оптимизация описания методом ортогонализации по данным пассивного эксперимента. — Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1973, № 3, с. 202—204.
3. Брайко В. Д. Некоторые сукцессивные закономерности в сообществе макрообрастаний. — Океанология, 1974, 14, № 2, с. 345—348.
4. Горин А. Н. Зависимость распределения основных организмов-обрастателей Японского моря от некоторых факторов среды обитания. — Сб. работ Ин-та биологии моря Дальневосточ. науч. центра АН СССР, 1975, № 3, с. 21—44.
5. Зевина Г. Б. Обрастание в морях СССР. М., Изд-во МГУ, 1972. 216 с.
6. Кулиш С. А., Воловельская С. Н., Рабинович И. А. Математические методы в планировании материально-технического снабжения. Киев, Вища школа, 1974. 228 с.
7. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М., Мир, 1967. 144 с.
8. Организация и проведение наблюдений за химическим загрязнением морских вод и донных отложений. Л., Гидрометеиздат, 1971. 92 с. (Методическое указание, № 36).
9. Морское обрастание и борьба с ним. М., Воениздат, 1957. 504 с.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. ГУГМС при Совмине СССР. Л., Гидрометеиздат, 1968, 19, № 1. 424 с.
11. Руководство по морским гидрохимическим исследованиям. Под ред. Л. К. Блинова. М., Гидрометеиздат, 1959. 256 с.
12. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М., Статистика, 1975. 184 с.

Поступила в редколлегию
20.09.77

Ju. N. Koshelev, P. I. Litvinov

ON USING CERTAIN STATISTICAL MODELS TO STUDY MARINE FOULINGS

Summary

Calculation performed only for nine parameters of sea water yielded positive results which permit one to hope that the suggested methods might be of practical use when taking account of all the factors affecting fouling.