

681.142.2
Е 302

**Э В М
В БИОЛОГИЧЕСКИХ
ЭКСПЕДИЦИЯХ**

КИЕВ — 1972

Пров. 1979

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт биологии южных морей
им. А.О.Ковалевского

ПРОВ 98

ПРОВ 2010

В.Н. ЕГОРОВ, Г.Г.ПОЛИКАРПОВ

Э В М
В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ

Институт
биологии южных морей

БИБЛИОТЕКА

24590

Издательство "Наукова думка"
Киев - 1972

В В Е Д Е Н И Е

Как известно, современная биология интенсивно ассимилирует физические, химические и математические методы исследования, поднимаясь шаг за шагом до уровня, которого достигли точные науки о неживой природе.

Эту тенденцию мы прослеживаем почти всюду в современной биологии. Она же иллюстрируется и первыми, хочется думать небезуспешными, попытками применения одного из наиболее действенных факторов научно-технического прогресса — электронно-вычислительных машин в некоторых разделах морских биологических экспедиционных работ. Даже простая замена существующих средств расчетов цифровых данных электронно-вычислительными дает большой выигрыш в экономии времени. Еще более важным делом является алгоритмизация трудоемких процессов биоокеанографических исследований, создание автоматизированного комплекса, который из средства облегчения и ускорения количественных расчетов превращается в средство изучения биологических процессов в гидросфере, отличаясь, благодаря обратным связям, высокой степенью маневренности и способностью к корректировке планирования исследования уже в самом процессе исследования.

Предлагаемое руководство не претендует на широкий охват многочисленных областей морской биологии — это дело будущего. Наша

цель — показать принципиальную возможность повышения эффективности экспедиционных биологических исследований на примере отдельных областей экологии посредством оперативного использования электронно-вычислительной техники. Отметим, что применимость составленных программ, по нашему мнению, гораздо шире тех конкретных разделов и направлений, в которых их уже использовали мы и наши коллеги из отдела радиобиологии ИнБЮМ АН УССР. Нет принципиальной разницы в программах, применимых к изучению жизни пелагиали и населения бентали, к изучению радиоэкологических (а также хемотропических) и биохимических (а также физиологических) явлений у гидробионтов и т.д.

Мы здесь не касаемся весьма сложного, но не менее увлекательного и важного вопроса о применении ЭВМ в систематике и проблемы машинного распознавания образов при определении видов. Этому будет посвящена отдельная публикация.

Заглядывая в будущее, нам кажется, что применение ЭВМ окажет благотворное влияние на ускорение создания прямых методов регистрации биологических явлений в океане наподобие тех, которые уже себя превосходно зарекомендовали в гидрохимических и гидрофизических исследованиях [1 — 5] .

Мы глубоко признательны академику АН УССР А.Г. Колесникову и члену-корреспонденту АН УССР В.И. Беляеву за предоставление возможности перенять ценный опыт Морского гидрофизического института АН УССР по автоматизации океанографических исследований и воспользоваться ЭВМ "Минск-22" на судне.

Много потрудились и своими успехами способствовали созданию этого руководства члены отряда радиоэкологии во II рейсе (2 этап) НИС "Академик В.И. Вильямс" в Атлантику (1970 г.). В.Н. Иванов, А.В. Токарева и Н.А. Филиппов. В составлении алгоритмов некоторых программ принимали плодотворное участие В.П. Парчевский (раздел IV, 1, 2) и Д.С. Парчевская (раздел IV, 4). Всем этим специалистам мы выражаем искреннюю благодарность.

ОСНОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ В ЭКСПЕДИЦИОННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Широкие возможности использования электронно-цифровых вычислительных машин для обработки информации открыли новые перспективы

изучения океана и обусловили возникновения проблем применения вычислительной техники в экспедиционных океанографических исследованиях.

С 1964 г. в Академии наук СССР (Морском гидрофизическом институте и Институте кибернетики [1,2]) были начаты разработки вопросов автоматизации исследований физических и химических процессов в океане. К настоящему времени уже созданы измерительные комплексы, предназначенные для автоматизированного получения физических и химических характеристик среды, объединенных с помощью ряда устройств и ЭВМ в высокопроизводительную систему сбора, передачи, обработки и хранения информации о физических полях океана [3, 4, 5]. По оценкам А.Г. Колесникова, только гидрологический комплекс этой системы дает за один рейс увеличение гидрологической информации (обработанной) по сравнению с информацией, получаемой аналогичным судном, не имеющим ЭВМ и автоматизированной системы (а, следовательно, необработанной), в 15000 раз, что свидетельствует о весьма высокой эффективности использования ЭВМ в отмеченной области исследований. Поэтому экспедиционные суда, пополняющие в последнее время исследовательский флот СССР, как правило, имеют на борту электронно-цифровые вычислительные машины.

Однако до настоящего времени неизвестны публикации, посвященные вопросам применения ЭВМ в экспедиционных морских биологических исследованиях.^I Это вызвано недостаточной автоматизацией такого рода работ, причиной чего служит многообразие и сложность существующих методов сбора исследуемых объектов, содержания их в экспериментальных условиях и определения их характеристик. Вследствие этого затраты труда и времени на получение объектов биологических исследований и постановку экспериментов с ними велики по сравнению с усилиями, затрачиваемыми на обработку результатов.

^I Когда настоящее руководство было подготовлено к печати, д-р Р.С. Дагдейл (департамент океанографии Вашингтонского университета) любезно сообщил одному из нас во время пребывания в Бордо, Франция, на Океан-ЭКСПО-71, что он начал применять ЭВМ в экспедиции на одном из судов США для изучения в опытах процесса азотного питания фитопланктона. Таким образом, очевидно то, насколько уже назрела необходимость использования возможностей вычислительной техники в морской биологии.

Рассмотрим ряд причин такой недостаточности структуры исследований в настоящее время.

1. Как известно, происходит все большее повышение интереса к разумному использованию биологических ресурсов океана. Его изучение ведется высокими темпами, и в результате быстро нарастает количество новых данных. Понесим это на примере одной из отраслей морской биологии. Суммарное число публикаций в области морской радиоэкологии во всем мире достигло в 1965 году 1440 работ и продолжает расти с удвоением через каждые 5 лет, что увеличивает как общее количество информации, циркулирующей в данной области знаний, так и скорость ее старения (по оценке Г.М. Доброва, в настоящее время выполненные работы теряют каждый год в среднем по 10 % своей информационной ценности [6]).

Поэтому для обеспечения дальнейшего прогресса необходим переход на новые более производительные методы как получения, так и обработки информации.

2. Экспедиционные исследования в области морской экологии, служащие, как известно, одним из основных источников получения новых данных, характеризуются в настоящее время сжатыми сроками, отводимыми для выполнения работ, малой вероятностью проведения повторных исследований в данном районе в течение короткого промежутка времени, а также комплексностью. Для эффективного их проведения необходимо, чтобы материалы собирались быстро и достаточно полно отражали биоокеанографические характеристики анализируемых акваторий. В тоже время известно, что о полноте полученных данных часто можно судить лишь после их обработки. Кроме того, при проведении комплексных исследований необходима как можно более полная обработка наблюдений во время экспедиции в связи с координацией совместных работ по разным направлениям исследований и построением общих выводов. Поэтому очевидно, что повышение эффективности экспедиционных работ в современных условиях может быть достигнуто за счет получения результатов непосредственно вслед за производством наблюдений. Это требует использования более производительных методов исследований и может быть достигнуто за счет применения ЭВМ, в первую очередь, для автоматизированной обработки данных биологических наблюдений.

Во втором этапе второго рейса (1970 г.) НИС "Академик Вернадский" Морского гидрофизического института АН УССР нами была выполнена работа по использованию судовой вычислительной машины "Минск-22" при решении некоторых биологических задач и предпри-

нята попытка выяснить эффективность ее применения [7,8,9,10]. Для этих целей до рейса и на борту судна был разработан комплекс программ для ЭВМ. К алгоритмам программ предъявлялось требование формализации процесса обработки данных так, чтобы, с одной стороны, избавить исследователей от ручного выполнения малопроизводительных вычислительных работ, а с другой – представить результаты счета в виде, не требующем специальных знаний для интерпретации выходной информации.

Программной реализации подвергались те задачи, в решении которых в первую очередь возникает необходимость у специалистов в области морской биологии. Алгоритмы этих программ отображены в международном алгоритмическом языке АЛГОЛ-60 [11] и предназначены для конкретной реализации с транслятором ТАМ-22 [12] на ЭВМ "Минск-22". В случае необходимости они без существенных изменений могут быть реализованы и на любой другой ЭВМ, имеющей транслятор с АЛГОЛ-60.

Эти программы позволили в экспедиционных условиях применить ЭВМ на следующих этапах исследований: а) на этапе первичного анализа данных (рис. I, блок 3); б) в качестве звена систем проведения экспериментов (рис. I, блок 5) и в) для статистического анализа и представления результатов наблюдений в виде кривых, описывающих закономерности изучаемых процессов (рис. I, блок 6). Для оценки эффективности использования программ нами было произведено сравнение затрат времени на решение описанных выше задач с помощью клавишной счетной машины типа "Вега" и на ЭВМ. В затраты времени входило как машинное время, непосредственно необходимое для решения задач, так и время, требуемое на подготовку, перфорацию и проверку исходных данных. Такое сравнение показало, что применение ЭВМ позволяет затрачивать время для решения этих задач до 20 раз меньшее, чем при ручном счете [8].

Таким образом, организация экспедиционных биологических исследований с каналом машинного анализа данных привела уже на описанном уровне разработанности к значительному повышению эффективности труда специалистов, что позволило им доводить обработку материалов до конечных результатов на борту судна, избегая тем самым их информационного старения. Обеспечение такой возможности сделало систему (рис. I) настолько гибкой, что результаты исследований смогли определять направленность заборных работ и экспериментов (обратные связи между блоками 7-4 и 7-1 на рис. I).

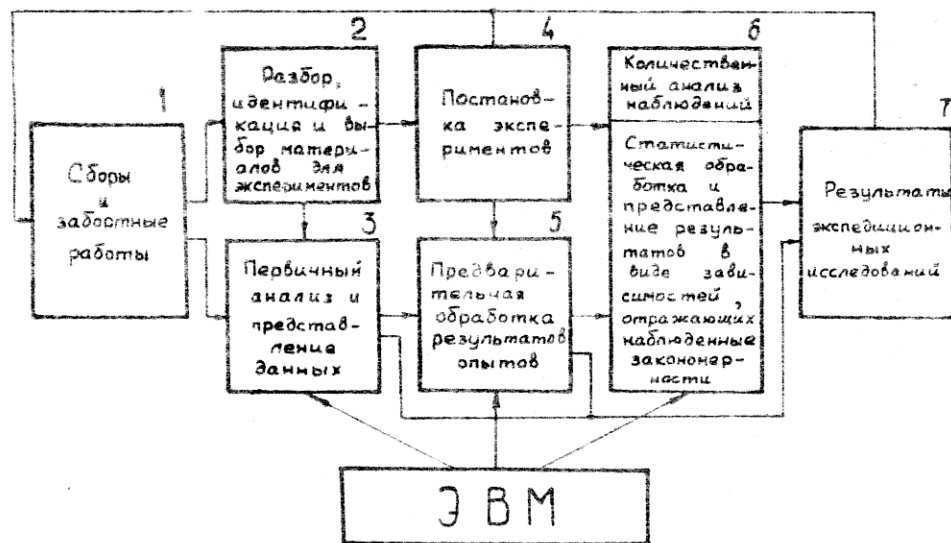


Рис. I. Структурная схема экспедиционных гидробиологических исследований.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ПЛЕЙСТОННО-НЕЙСТОННЫХ И ПЛАНКТОННЫХ СБОРОВ

При обработке гидробиологических проб возникает необходимость в производстве большого количества вычислений, связанных с определением удельных численностей организмов, биомасс особей отдельных видов, вычисляемых по определенным формулам, удельных биомасс в анализируемых акваториях моря и т.д. Кроме того, для дальнейшего анализа данных часто необходимо сведение их в таблицы.

Для автоматизации этих процессов обработки разработана программа для ЭВМ, алгоритм которой позволяет выполнять следующие операции:

I. Подсчитать эффективность фильтрации F , равную отношению объема профильтрованной воды планктонным пробоотборником к объему, очерченному поверхностью зева этого орудия лова по соотношениям, полученным из работы Трантера и Смита [13], следующим образом. Имеем

$$F \approx \frac{1}{1 + 0,01K} \quad (1)$$

где K - коэффициент сопротивления газа,

$$K \approx \frac{1 - \beta}{\beta^2} \cdot 0,6 Re^{1/3} \quad (2)$$

Здесь Re - число Рейнольдса;

β - пористость или открытая площадь газа, составляющая его фильтрующую поверхность,

$$\beta = \frac{m^2}{(d + m)^2} \quad (3)$$

где m - ширина поры, зависящая от номера газа;

d - диаметр нитей сети.

Число Рейнольдса можно определить следующим образом:

$$Re = \frac{V_\phi d}{\nu} \quad (4)$$

где V_ϕ - скорость движения воды через поперечное сечение фильтрующего конуса; ν - динамическая вязкость воды $\nu \approx 0,01$.

Для угла атаки θ эффективное число Рейнольдса будет равным

$$Re_{\text{эф}} = Re \cos \theta, \quad (5)$$

где $\cos \theta = \frac{R}{S}$; R - радиус фильтрующего конуса сети; S - дли-

на образующей конуса. Для сетей с радиусом фильтрующего конуса большим, чем радиус входного отверстия

$$v_p = \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 v_n, \quad (6)$$

где v_n - скорость протягивания сети;

R_0 - радиус входного отверстия.

Выразив значение K в (I) через (2 - 6) получим

$$F = \frac{1}{1 + 0,06 \frac{1 - \beta^3}{\beta^2} \sqrt{\frac{v_n R_0^2 d \cos \theta}{\beta R^2}}} \cdot \quad (7)$$

(При обработке проб необходимо учитывать уменьшение эффективности фильтрации за счет увеличения сопротивления сита с ростом скорости протягивания сети. Так, например, для сети Джели с 23 номером сита, имеющей размер $R_0 = 40$ см, $R = 56,5$ см и $S = 350$ см зависимость

$F = \varphi(v_n)$ показана на рис. 2.)

2. Определить объем профильтрованной воды при отборе пробы

$$V = \pi R_0^2 L F,$$

где L - расстояние, пройденное передней кромкой орудия лова.

3. Подсчитать удельные численности организмов в каждой пробе.

4. Рассчитать объемы (или веса) ракообразных в зависимости от их геометрических характеристик и размеров по формулам Т.С.Петипа и А.А.Шмелевой [14, 15, 16] и вычислить удельные биомассы организмов каждого вида в пробе

$$V_1 = \pi \left(\frac{H T_1^2}{6} + \frac{\ell T_1^2}{4} \right); \quad (8)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{12} [3 H T_2^2 + \ell (T_2^2 + T_2 t_2 + t_2^2)]; \quad (9)$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} \ell_1 t_3^2; \quad (10)$$

$$V_4 = \frac{\pi}{3} H (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2), \quad (11)$$

где H - длина цефалоторакса;

T_1 - наибольшая ширина цефалоторакса;

T_2 - ширина цефалоторакса и наибольшая ширина брюшка;

R_1 и R_2 - наибольший и наименьший радиусы цефалоторакса;

ℓ - длина брюшка;

ℓ_1 - длина туловища;

t_1 - средняя ширина брюшка;

t_2 - наименьшая ширина брюшка;

t_3 - ширина туловища;

5. Определить процентные доли биомассы каждого вида в биомассе ракообразных и в общей биомассе пробы.

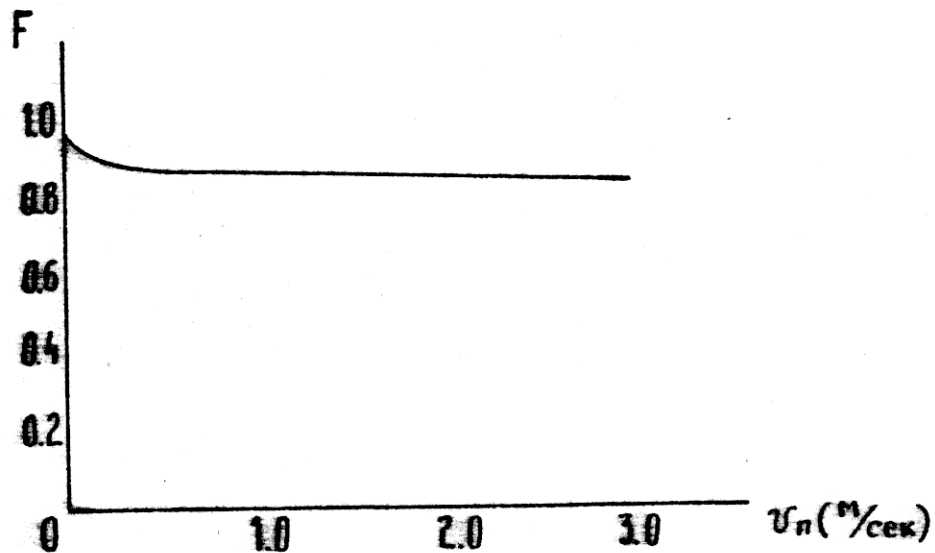


Рис. 2. Зависимость эффективности фильтрации от скорости движения орудия лова.

Алгол-программа, реализующая вычислительный алгоритм, показана в табл. I. Для обращения и счета по ней необходимо ввести в границах ввода следующие исходные данные: а) параметры орудия лова m (мм), α (см), R (см), $R\delta$ (см) длину фильтрующего конуса S , выраженную в сантиметрах, и Un (м/сек); б) число обрабатываемых проб n^* при данном обращении к программе, n_1^* , n_2^* , n_3^* , n_4^* - количество видов планктонных организмов, биомассы которых рассчитываются соответственно по формулам (8 - II), L - размер одного деления измерительной шкалы бинокуляра в мм. Далее ввести матрицы совокупностей размерных характеристик планктонных организмов;

в) K_1^* - размером $(H, T_1, l, t_1) \times n_1$;

г) K_2^* - размером $(H, T_2, l, t_2) \times n_2$;

д) K_3^* - размером $(l, t_3) \times n_3$;

е) K_4^* - размером $(H, R_1, R_2) \times n_4$;

ж) матрицу численностей анализируемых планктонных организмов в пробах K_5^* - размером $(n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times n$;

з) ряд расстояний, протянутых орудием лова при отборе проб, выраженных в метрах, K_6^* - размером n ;

и) ряд общих биомасс проб, определенных интегрально волюменометром, которые выражены в граммах,

K_7^* - размером n .

Результаты расчета формируются определенным образом, и выходная информация выдается АЦПУ в виде таблицы. Латинские названия организмов в ней записываются от руки или могут быть напечатаны русскими буквами (невозможность их автоматической печати по-латыни обусловлена особенностями транслятора ТАМ-22).

Перфорация матриц делается по строкам. Число видов, обрабатываемых в пробе, может быть не более 350.

По каждой из четырех формул должны рассчитываться биомассы хотя бы одного вида организмов. Если их в пробе не оказалось, то вместо соответствующей численности организмов заносится нуль.

* Число n представлено в форме с "фиксированной запятой" (здесь и далее все не помеченные звездочкой числа, служащие исходными данными, вводятся в форме с "плавающей запятой").

Алгол-программа обработки плейстонно-
нейстонных и планктонных сборов

PAGE 0

```

00 'BEGIN' 'INTEGER' I, I1, I2, I3, I4, I5,
10 I6, I7, N, N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7;
20 'REAL' S, SR, SB, DR, DB, E1, E2, E3, E4, MOD, D, RAD, RAD1, L, VOL,
    BET, KOS, F;
30 'FOR' I6:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 50 'DO'
40 'BEGIN' STANDARD ("1", MOD, D, RAD, RAD1, L, VOL);
50 BET := (MOD*/2)/(D+MOD)*/2; KOS := RAD/((RAD*/2+L*/2)
    */0.5);
60 F := 1/(1+0.06*((1-BET)/(BET*/2))*((RAD1*/2*D*KOS/(BET
    *0.01*RAD*/2))*/(1/3))*((VOL*/(1/3))));
70 STANDARD ("1", N, N1, N2, N3, N4, S);
80 N5 := N1+N2; N6 := N5+N3; N7 := N6+N4; 'BEGIN'
90 'INTEGER' 'ARRAY' K1(/1:N1, 1:4/), K2(/N1+1:N5, 1:4/),
    K3(/N5+1:N6, 1:2/), K4(/N6+1:N7, 1:3/), K5(/1:N, 1:N7/)

```

PAGE 1

```

00 'REAL' 'ARRAY' BMS, V(/1:N/), V1, D, B, R(/1:N7/);
10 STANDART ("1", K1, K2, K3, K4, K5, V, BMS);
20 'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'BEGIN'
30 I7:=0; SR:=0; SB:=0; DR:=0; DB:=0;
40 'FOR' I5:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N7 'DO' 'BEGIN'
50 'IF' I5=N1 'THEN' 'GOTO' M1 'ELSE'
60 V1(/ I5/) := 3.14*(S*/3)*(K1(/ I5, 1/)*(K1(/ I5, 2/))*/2

```

$$6.0 + K1 (/ 15, 3/) * (K1 (/ 15, 4/) ^ 2) / 4.0);$$

70 'GOTO' M; M1:

80 'IF' I5 ')' N5 'THEN' 'GOTO' M2 'ELSE'

90 $V1 (/ 15/) := (S / 3) * (0.785 * K2 (/ 15, 1/) * (K2 (/ 15, 2/) ^ 2) +$
 $0.262 * K2 (/ 15, 3/) *$

PAGE 2

00 $(K2 (/ 15, 2/) ^ 2 + K2 (/ 15, 2/) * K2 (/ 15, 4/) + K2 (/ 15, 4/) ^ 2$
 $)); 'GOTO' M;$

10 M2: 'IF' I5 ')' N6 'THEN' 'GOTO' M3 'ELSE'

20 $V1 (/ 15/) := 0.785 * (S / 3) * K3 (/ 15, 1/) * (K3 (/ 15, 2/) ^ 2);$
 'GOTO' M;

30 $M3: V1 (/ 15/) := 1.05 * (S / 3) * K4 (/ 15, 1/) * (K4 (/ 15, 2/)$
 $^ 2 + K4 (/ 15, 3/) ^ 2 +$

40 $K4 (/ 15, 2/) * K4 (/ 15, 3/));$

50 $M: R (/ 15/) := K5 (/ I, 15/) / (V (/ I) * ((RAD1 / 100) ^ 2) * F *$
 3.142;

60 $B (/ 15/) := R (/ 15/) * V1 (/ 15/);$ 70 $D (/ 15/) := (K5 (/ I, 15/) * V1 (/ 15/) / BMS (/ I)) * 0.1;$ 80 $SR := SR + R (/ 15/); SB := SB + B (/ 15/); DB := DB + D (/ 15/); 'END';$

90 STANDARD (' '18'', ' '45'', ' ') ТАБЛИЦА-ОБРАБОТКИ-ПРОБЫ
-)', '45'', ' ') -)',

PAGE 3

00 ' '30'', ' ') ГОРИЗОНТ - СКОР - ТРАЛ
 ПРОТЯНУТЫЙ - ОБЪЕМ -)',

Продолжение табл. I

10	"30", " +) -) ", " 1 ", " +) -----

	-----) ",
20	" 10 ", " +) : -) ", " 45 ", " +) : -) ", " 60 ", " +) : -) ", " 75 ",
	" +) : -) ", " 90 ", " +) : -) ", " 105 ", " +) : -) ",
30	" 3 ", " +) НОМЕР -) ", " 10 ", " +) : -) ", " 45 ", " +) : ЧИСЛЕН
	НОСТЬ -) ", " 60 ", " +) : БИОМАССА -) ",
40	" 75 ", " +) : ДОЛЯ - В - БИОМ -) ", " 90 ", " +) : ДОЛЯ - В - ОБЩЕЙ
	-) ", " 105 ", " +) : -) ", " 10 ", " +) : -) ", " 21 ", " +) ВИД - ПОЛ -
	СТАДИЯ -) ",
50	" 45 ", " +) : -) ", " 60 ", " +) : -) ", " 75 ", " +) - РАКООБРАЗНЫХ
	-) ", " 90 ", " +) : БИОМ - ПРОБЫ -) ",
60	" 105 ", " +) : ПРИМЕЧАНИЯ -) ", " 4 ", " +) П/П -) ", " 10 ", " +) :
	-) ", " 45 ", " +) : (ЭКЗ/КУБ - М) -) ",
70	" 60 ", " +) : МГ/КУБ - М) -) ", " 75 ", " +) : (ПРОЦ) -) ",
	90 ", " +) : (ПРОЦ) -) ", " 105 ", " +) : -) ",
80	" 10 ", " +) : -) ", " 45 ", " +) : -) ", " 60 ", " +) : -) ", " 75 ",
	" +) : -) ", " 90 ", " +) : -) ",
90	" 105 ", " +) : -) ", " 1 ", " +) -----

	-----) " 1 ;

PAGE 4

```

00  'FOR' I5:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N7 'DO' 'BEGIN' I7:=I7+1;
10  E1:=R(/I5/); E2:=B(/I5/);
20  E3:=(B(/I5/)/SB)*100; E4:=D(/I5/); DR:=DR+E3;
30  STANDARD("18","10","+) :-)", "45","+) :-)", "60",
    "+) :-)", "75","+) :-)", "90","+) :-)",
40  "105","+) :-)", "4","0", I7, "45","+) :-)", "51",
    "3", E1, "60","+) :-)", "66","3", E2,
50  "75","+) :-)", "82","3", E3, "90","+) :-)", "97",
    "3", E4, "105","+) :-)",
60  "1","+)-----
    -----
    -----)");
70  'END'; STANDARD("18","45","+) :-)", "60","+) :-)", "75",
    "+) :-)", "90","+) :-)", "105","+) :-)",
80  "12","+) СУММАРНО-РАКООБРАЗНЫХ -)", "45","+) :-)", "51",
    "3", SR, "60","+) :-)", "66","3", SB, "75","+) :-)",
    "82","1", DR, "90","+) :-)", "97","3", DB, "105",
    "+) :-)",
90  "1","+)-----
    -----
    -----)",
    "30","+) --)"); 'END'; 'END'; 'END'; 'END'

```

Пусковой адрес рабочей алгол-программы + I663.

Работу с программой покажем на примере. В табл. II приведены численности анализировавшихся организмов в одной из 40 проб, отобранных в Атлантическом океане ($16^{\circ} 34'N$, $33^{\circ} 31'W$) на суточной станции сетью Джеди, размеры которой даны в примере расчета величины F , протянутой со скоростью 0,4 м/сек в слое 50-100 м на расстояние 63,5 м. Общий объем пробы, определенный интегрально волюменометром, равен 1210 мл (или примерно 1210 мг).

Объемы или веса особей, составляющих пробу, систематические положения которых занимают с I по 28 пункты табл. II, могут быть определены по формуле (8), с 29 по 30 - по (9), с 31 по 34 - по (10) и 35-36 - по (11) ($n_1 = 28$, $n_2 = 2$, $n_3 = 4$ и $n_4 = 2$). Соответствующие совокупности размерных характеристик, выраженные в делениях шкалы бинокуляра, где каждое деление шкалы равно 0,05 мм, сведены в табл. III.

Для обработки пробы на ЭВМ исходные данные к программе необходимо представить в виде, показанном в табл. IV (в ней большие массивы чисел сокращены).

Перфорация чисел производится на цифровом перфаторе в десятичном коде. После перфорации каждого числа нажимается клавиша "запись". Работа на пульте при работе с рабочей алгол-программой требует выполнения следующих операций [12].

I. Магнитную ленту с транслятором поставить на ЛПМ-0.

2. На ЛПМ-I установить размеченную рабочую магнитную ленту, имеющую не менее 16 зон.

3. Включить режим работы машины "цикл".

4. Стереть МОЗУ.

5. Сделать общее гашение.

6. Поставить перфоленту с рабочей программой на фотоввод.

7. Включить устройства ввода.

8. Нажать кнопку "цифровой ввод".

9. Проверить на сумматоре контрольную сумму 7, 7, 7, ..., 7 (все неоновые лампочки сумматора должны светиться).

10. Сделать общее гашение.

II. Набрать на наборном поле в двоичном коде номер пускового адреса программы.

12. Занести пусковой адрес в регистр адреса команд.

13. Поставить перфоленту с исходными данными на фотоввод.

ИНСТИТУТ

БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Численности планктонных организмов в пробе Таблица II

№ пп	Вид, пол, стадия	Число особей в пробе	№ пп	Вид, пол, стадия	Число особей в пробе
I	Nannocalanus minor ♀♂	56	19	Pleuromamma xiphius ♀	0
2	Neocalanus gracilis ♀	80	20	Pleuromamma xiphius ♂	0
3	Neocalanus robustior ♂	2	21	Centropages violaceus ♂	0
4	Undinula vulgaris ♀	60	22	Haloptilus spiniceps ♀	18
5	Undinula vulgaris ♂	17	23	Arietellus sp. ♂♀	I
6	Undinula vulgaris (взрослая форма) ♀	7	24	Candacia pachydactyla ♀	4
7	Undinula vulgaris (взрослая форма) ♂	11	25	Candacia pachydactyla ♂	I
8	Undinula vulgaris (молодые) ♀	67	26	Candacia bispinosa ♀	0
9	Undinula vulgaris (молодые) ♂	28	27	Candacia bispinosa ♂	7
10	Rhincalanus cornutus ♂	0	28	Oithona sp.	28
11	Euchirella amoena ♀	0	29	Macrosetella gracilis ♀	6
12	Euchaeta marina ♀	13	30	Lucifer sp.	3
13	Euchaeta marina ♂	I	31	Sapphirina metallina ♂	5
14	Pareuchaeta sp.	0	32	Copilia mirabilis ♀	2
15	Undeuchaeta sp.	0	33	Copilia mediterranea ♂	5
16	Scolecithrix danae ♂♀	67	34	Copilia quadrata ♀	I
17	Metridia princeps ♀	0	35	Urocorycaeus lautus ♀	9
18	Pleuromamma abdominalis ♂	0	36	Corycella sp.	0

Таблица III

Размеры и характеристики планктонных организмов (их систематические положения указаны в табл. II под теми же порядковыми номерами)

Условный номер организма	Размеры параметров /в/			
	/в делениях шкалы бинокляра/			
	H	T ₁	l	t ₁
I	17	11	10	3
2	74	42	32	10
3	25	17	17	4
4	25	17	13	4
5	21	14	14	4
6	25	17	13	4
7	21	14	14	4
8	25	17	13	4
9	21	14	14	4
10	32	14	10	3
11	52	29	22	8
12	34	30	29	7
13	26	16	18	3
14	50	28	25	7
15	45	22	25	3
16	21	17	11	3
17	41	25	68	9
18	21	17	22	5
19	90	22	30	6
20	30	26	28	9
21	16	10	10	2
22	50	20	12	3
23	56	31	20	6
24	26	20	14	4
25	23	17	16	4
26	25	17	17	3
27	21	18	18	4
28	12	9	25	2

Продолжение табл. III

Условный номер организма	Размеры параметров /9/ /в делениях шкалы бинокюляра/				в
	H	T_2	l	t_2	
29	7	4	9		I
30	42	12	19		2
Условный номер организма	Размеры параметров /10/ /в делениях шкалы бинокюляра/				
	l_1	t_3			
31	60	30			
32	23	19			
33	100	54			
34	21	22			
Условный номер организма	Размеры параметров /II/ /в делениях шкалы бинокюляра/				
	H	R_1	R_2		
35	17	5	4		
36	17	3	2		

Таблица IV

Образец подготовки данных для перфорации

№ п.п.	К программе 1	№ п.п.	К программе 1	№ п.п.	К программе 1 <i>лист 1</i>
I	граница	27	. . .	53	граница
2	+ 3330 000 00	28	. . .	54	+ I7
3	+ I 250 000 00	29	+ 28	55	+ 5
4	+ 5 650 000 02	30	+ 9	56	+ 4
5	+ 4 000 000 02	31	+ 25	57	+ I7
6	+ 3 500 000 03	32	+ 2	58	+ 3
7	+ 4 000 000 00	33	граница	59	+ 2
8	граница	34	граница	60	граница
9	граница	35	+ 7	61	граница
10	+ I	36	+ 4	62	+ 56
II	+ 28	37	+ 9	63	+ 80
12	+ 2	38	+ I	64	+ 2
13	+ 4	39	+ 42	65	+ 60
14	+ 2	40	+ I2	66	. . .
15	+ 5 000 000 4I	41	+ I9	67	. . .
16	граница	42	+ 2	68	+ 9
17	граница	43	граница	69	0
18	+ I7	44	граница	70	граница
19	+ II	45	+ 60	71	граница
20	+ 10	46	+ 30	72	+ 6 350 000 02
21	+ 3	47	+ 23	73	граница
22	+ 74	48	+ I9	74	граница
23	+ 42	49	+ 100	75	+ I 210 000 01
24	+ 32	50	+ 54	76	граница
25	+ 10	51	+ 21	77	
26	. . .	52	+ 22	78	

Образец выдачи результатов обработки планктонной пробы на ЭВМ

Таблица 5

Таблица обработки проб 12
горизонт 50-100 скор.трал 0,4 протянутый объем 36

№ п/п	Вид, пол, стадия	Численность (экз/куб м)	Биомасса (мг/куб м)	Доля в биом- ракообраз- ных (проц)	Доля в об- щей биом пробы (проц)	Примечания
1	Neannocalanus minor ♀♂	1,735	0,249	0,752	0,669	
2	Neocalanus gracilis ♀	2,479	21,944	66,361	50,022	
3	Neocalanus robustior ♂	0,062	0,031	0,094	0,083	
4	Undinula vulgaris ♀	1,859	0,917	2,772	2,465	
5	Undinula vulgaris ♂	0,527	0,153	0,464	0,413	
6	Undinula vulgaris (взрослая форма) ♀	0,217	0,107	0,323	0,288	
7	Undinula vulgaris (взрослая форма) ♂	0,341	0,099	0,300	0,267	
8	Undinula vulgaris (молодые) ♀	2,076	1,023	3,095	2,753	
9	Undinula vulgaris (молодые) ♂	0,868	0,253	0,764	0,680	
10	Rhincalanus cornutus ♂	0,000	0,000	0,000	0,000	
11	Euchirella amoena ♀	0,000	0,000	0,000	0,000	
12	Euchaeta marina ♀	0,403	0,862	2,608	2,320	
13	Euchaeta marina ♂	0,031	0,014	0,042	0,038	
14	Pareuchaeta sp. ♂♀	00,000	0,000	0,000	0,000	
15	Undeuchaeta sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	
16	Scolecithrix danae ♂♀	2,076	0,844	2,553	2,271	

17	Metridia princeps ♀	0,000	0,000	0,000	0,000	
18	Pleuromamma abdominalis ♂	0,000	0,000	0,000	0,000	
19	Pleuromamma xiphias ♀	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	Pleuromamma xiphias ♂	0,000	0,000	0,000	0,000	
21	Centropages violaceus ♂	0,000	0,000	0,000	0,000	
22	Haloptilus spiniceps ♀	0,558	0,736	2,224	1,978	
23	Arietellus sp. ♂♀	0,031	0,111	0,336	0,299	
24	Candacia pachydactyla ♀	0,124	0,087	0,263	0,234	
25	Candacia pachydactyla ♂	0,031	0,014	0,043	0,038	
26	Candacia hispidosa ♀	0,000	0,000	0,000	0,000	
27	Candacia hispidosa ♂	0,217	0,103	0,310	0,276	
28	Oithona sp.	0,868	0,064	0,193	0,171	
29	Macrosetella gracilis ♀	0,186	0,003	0,010	0,009	
30	Lucifer sp.	0,093	0,080	0,042	0,216	
31	Sapphirina metallina ♂	0,155	0,821	2,482	2,208	
32	Copilia mirabilis ♀	0,062	0,050	0,153	0,136	
33	Copilia mediterranea ♂	0,155	4,433	13,405	11,922	
34	Copilia quadrata ♀	0,031	0,031	0,093	0,083	
35	Urosoryseus latus ♀	0,279	0,038	0,115	0,102	
36	Corysellia sp.	0,000	0,000	0,000	0,000	
Суммарно ракообразных		15,460	33,067	100,0	88,939	

14. Включить устройства ввода.
15. Включить устройства вывода.
16. Перевести машину в режим работы "автомат".
17. Нажать кнопку "пуск".
18. При каждом новом массиве исходных данных или в случае останова при обнаружении ошибки перфорации процедуру повторить, начиная с пункта 10.

Результаты расчета напечатываются в виде табл. У, в которую вписаны систематические положения анализируемых организмов. Следует заметить, что при обработке совокупности проб количество исходных данных возрастает только за счет увеличения длины массивов чисел K_5 , K_6 и K_7 . Поэтому использование программы для обработки большого числа проб при каждом обращении к ней требует относительно меньших затрат времени на перфорацию исходных данных.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПОСТАВЛЕННЫХ НА ИЗОТОПНЫХ СМЕСЯХ

Методика проведения опытов на смесях пар изотопов $Ru^{106} - Ce^{144}$, $Ru^{106} - Co^{60}$, $Ru^{106} - Zn^{65}$, разработанная В.И. Ивановым и Н.А. Филипповым², требует выполнения значительной вычислительной работы для интерпретации экспериментов, поставленных с двойной меткой, и поэтому может быть эффективной лишь в совокупности с ЭВМ, применяемой для обработки результатов наблюдений.

Вычислительная программа, алгол-реализация которой показана в табл. УІ, позволяет автоматизировать процесс обработки. По ней выполняются следующие операции:

І. Производится расшифровка двойных спектров проб воды и гидробионтов при радиометрии этих проб на поверхности кристалла и в колодце. При этом счетности проб (имп/мин), обусловленные излучением каждого из пары изотопов - с высокоэнергетическим P_2 - с низкоэнергетическим спектрами гамма-излучения, рассчитываются по формулам:

$$n_1 = \frac{(1 - a_{12} \cdot a_0) - \sqrt{(1 - a_{12} \cdot a_0)^2 - 4a_{12}a_1(N_1 - N_2a_{12})}}{2a_1a_{12}}; \quad (1)$$

² Описание методики публикуется отдельно.

Алгол-программа обработки радиозокологических
экспериментов, поставленных на изотопных смесях

PAGE 0

```

00  'BEGIN' 'INTEGER' I, I1, I2, I4, L1, L3, T1, T2, SS, V11, N11, PV, PN;
10  'REAL' A12, A21, A, B12, B21, B, SV1, SV2, SM1, SM2, CM1, B1, CM2, B2,
    E1, E2, E3; 'REAL' 'ARRAY' L (/1: 4/);
20  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 50 'DO' 'BEGIN'
30  STANDARD ( "1", T1, T2, L1, L3, A12, A21, A, B12, B21, B, L );
40  SS:= T1 / L3; 'BEGIN' 'INTEGER' 'ARRAY' P (/1: SS/);
50  'REAL' 'ARRAY' NV1, NV2, V1, L21, L22, V2 (/1: T1/), NG1, K1, K2, NG2
    G1, G2, M (/1: T2/),
60  SR1, SR2, KS1, KS2, OX1, VX1, D1, VX2, OX2, D2 (/1: SS/);
70  STANDARD ( "1", NV1, NV2, NG1, NG2); 'FOR' I1:=1 'STEP' 1 'UNTIL'
    T1 'DO'
80  'BEGIN' V1 (/ I1/) := (1 - A12 * A21) / (2 * A * A12) - (((1 - A12 * A21) / 2
    - 4 * A12 * A * (NV1 (/ I1/) - NV2 (/ I1/) * A12)) / 0.5) / (2 * A * A12);
81  L21 (/ I1/) := V1 (/ I1/) * (L (/1/) * V1 (/ I1/) + L (/2/));
90  V2 (/ I1/) := NV2 (/ I1/) - V1 (/ I1/) * A12 + A * V1 (/ I1/); L22 (/ I1
    ) := V2 (/ I1/) * (L (/3/) * V2 (/ I1/) + L (/4/)); 'END';

```

PAGE 1

```

00  'FOR' I2:=1 'STEP' 1 'UNTIL' T2 'DO' 'BEGIN'
10  G1 (/ I2/) := (1 - B12 * B21) / (2 * B * B12) - (((1 - B12 * B21) / 2 - 4
    * B12 * B * (NG1 (/ I2/) - NG2 (/ I2/) * B12)) / 0.5) / (2 * B * B12);
20  G (/ I2/) := NG2 (/ I2/) - G1 (/ I2/) * (B12 + B * G1 (/ I2/)); 'END';
30  STANDARD ( "2", V1, V2, G1, G2); 'IF' L1=0 'THEN' GOTO M1

```

'ELSE'

```

40  STANDARD ("1", P, M); 'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO'
50  'BEGIN' V11:=I4 * L3; N11:=(I4-1)*L3+1; SV1:=0;
60  SV2:=0; 'FOR' I1:=N11 'STEP' 1 'UNTIL' V11 'DO'
70  'BEGIN' SV1:=SV1+L21(/ I1/); SV2:=SV2+L22(/ I1/); 'END';
80  SR1(/ I4/):=SV1/L3; SR2(/ I4/):=SV2/L3; 'END';
90  RV:=0; 'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO'

```

PAGE 2

```

00  'BEGIN' RV:=RV+P(/ I4/); PN:=RV-P(/ I4/)+1; SM1:=0; SM2:=0;
40  'FOR' I2:=PN 'STEP' 1 'UNTIL' RV 'DO' 'BEGIN'
20  K1(/ I2/):=G1(/ I2/)/(M(/ I2/)*SR1(/ I4/));
30  K2(/ I2/):=G2(/ I2/)/(M(/ I2/)*SR2(/ I4/));
40  SM1:=SM1+K1(/ I2/); SM2:=SM2+K2(/ I2/); 'END';
50  KS1(/ I4/):=SM1/P(/ I4/); KS2(/ I4/):=SM2/P(/ I4/); 'END';
60  RV:=0; 'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO'
70  'BEGIN' RV:=RV+P(/ I4/); PN:=RV-P(/ I4/)+1; CM1:=0;
80  STANDARD ("2", I4); 'FOR' I2:=PN 'STEP' 1 'UNTIL' RV 'DO'
90  'BEGIN' CM1:=CM1+(K1(/ I2/)-KS1(/ I4/))/2;

```

PAGE 3

```

00  B1:=K1(/ I2/); STANDARD ("2", B1); 'END';
10  D1(/ I4/):=(CM1/(P(/ I4/)-1))/0.5; DX1(/ I4/):=D1(/ I4/)/
    (/ (P(/ I4/))/0.5);
20  VX1(/ I4/):=(D1(/ I4/)/KS1(/ I4/))*100; 'END'; RV:=0;

```

```

30  'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO' 'BEGIN' RV:=RV+P(/ I4 /);
40  PN:=PV-P(/ I4 /)+1; CM2:=0; STANDARD("2", I4);
50  'FOR' I2:=PN 'STEP' 1 'UNTIL' RV 'DO' 'BEGIN'
60  CM2:=CM2+(K2(/ I2 /)-KS2(/ I4 /))'/2;
70  B2:=K2(/ I2 /); STANDARD("2", B2); 'END';
80  D2(/ I4 /):= (CM2 / (P(/ I4 /)-1))'/0.5; OX2(/ I4 /):= D2
    (/ I4 /) / (P(/ I4 /)'/0.5);
90  VX2(/ I4 /):= (P2(/ I4 /) / KS2(/ I4 /)) * 100; 'END';

```

PAGE 4

```

00  'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO' 'BEGIN'
10  E1:=K61(/ I4 /); E2:=OX1(/ I4 /); E3:=VX1(/ I4 /);
20  STANDARD("2", I4, E1, E2, E3); 'END';
30  'FOR' I4:=1 'STEP' 1 'UNTIL' SS 'DO' 'BEGIN'
40  E1:=KS2(/ I4 /); E2:=OX2(/ I4 /); E3:=VX2(/ I4 /);
50  STANDARD("2", I4, E1, E2, E3); 'END'; M1: 'END'; 'END';
    'END'

```

$$n_2 = N_2 - n_1(a_0 - a_1 n_1), \quad (2)$$

где N_1 и N_2 — разности между числами импульсов в минуту, определенными в энергетических интервалах фотопиков излучения изотопов, имеющих соответственно более высокую и низкую энергию гамма-излучения, и фоном в этих энергетических интервалах; a_{12} — отношение счетности образца с изотопом, имеющим более низкую энергию излучения в энергетическом интервале фотопика изотопа с высокоэнергетическим излучением, к его счетности в энергетическом интервале фотопика изотопа с низкой энергией излучения;

a_0 и a_1 — параметры прямой $a_2 = a_0 + a_1 n_1$, характеризующей изменение отношения счетности образца с изотопом, имеющим более высокую энергию излучения в энергетическом интервале фотопика изотопа с низкоэнергетическим излучением, к его счетности в энергетическом интервале фотопика изотопа с высокой энергией излучения в зависимости от активности (счетности) образца.

Параметры a_0 , a_1 и a_2 различны для разных пар изотопов, используемых в экспериментах, и зависят от места кристалла, на котором производится радиометрия (в колодке или на поверхности). Они определяются экспериментально на выбранном и поддерживаемом без изменений режиме работы радиометрической аппаратуры.

2. Рассчитываются средние счетности проб воды $\bar{n}_b$ в каждой временной точке, обусловленные излучением изотопов, используемых в эксперименте.

$$\bar{n}_b = \frac{\sum_{i=1}^m n_{bi}}{m}, \quad (3)$$

где m — количество проб воды, анализируемых в каждой временной точке.

3. Определяются коэффициенты накопления K_j гидробионтами каждого из пары радионуклидов по формуле

$$K_j = \frac{n_{gi} q}{n_b \delta} \quad (4)$$

где n_{gi} — счетность (имп/мин) i -й пробы гидробионта; δ — вес i -й пробы гидробионта в граммах (в методике объем проб воды принят всегда одинаковым и равным 1 мл); q — поправка на изменение геометрии счета при радиометрии проб воды и гидробионта. Радиометрия проб воды всегда производится на поверхности кристалла. Если радиометрия гидробионта также ведется на его поверхности, то $q = 1$, а

если внутри, то $g = \alpha + \beta n z i$. Здесь α и β - параметры прямой, определяемые экспериментально по образцам. Значения параметров в разных энергетических интервалах фотопиков излучения изотопов различны.

4. Коэффициенты накопления группируются по временным точкам, и определяются средние значения этих коэффициентов в каждой временной точке

$$\bar{K}_k = \frac{1}{\ell_k} \sum_{i=1}^{\ell_k} K_i, \quad (5)$$

где ℓ_k - количество проб, отобранных в каждой точке.

5. Рассчитываются несмещенные оценки стандартных ошибок средних

$$O_{\bar{K}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\ell_k} (K_i - \bar{K}_k)^2}{\ell_k (\ell_k - 1)}} \quad (6)$$

и несмещенные оценки коэффициентов вариации

$$V_{\bar{K}} = \frac{1}{\bar{K}_k} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\ell_k} (K_i - \bar{K}_k)^2}{\ell_k - 1}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Программа может использоваться в двух режимах. В первом - выполняется только расчет n_1 и n_2 по формулам (1) и (2), а во втором - все вычисления, указанные в зависимостях (1 - 7).

Для использования программы требуется занести в память ЭВМ в границах ввода следующие массивы информации:

- а) Число анализируемых проб воды t_1^* , количество проб гидробионта t_2^* , единицу (I^*), если программа используется во втором режиме, или нуль, если - в первом, в форме с фиксированной запятой число m , равное количеству повторностей проб воды, отбираемых в каждой временной точке (в эксперименте число проб воды, отбираемое во временной точке, должно быть одинаковым).
- б) Значения параметров α_n , α_o , α_i , полученных при радиометрии образцов на поверхности кристалла, и значения α'_n , α'_i , α'_o , определенных при радиометрии в колоде.
- в) Значения β , α , β' , α' (параметры со штрихом сняты в энергетическом интервале фотопика изотопа, имеющего высокоэнергетический спектр излучения).
- г) Массив значений $N_i B$ (здесь и далее индекс "в" - обозначает пробы воды, а "г" - гидробионта).

д) Массив $M_2 B$.

е) Массив M_{1r} .

ж) Массив M_{2r} .

и) Массив B_k^* .

к) Массив весов проб гидробионта B .

При обработке нескольких вариантов исходных данных повторных вводов программы не требуется. При использовании режима 2 число проб на каждую временную точку должно быть не менее двух. При использовании режима 1 массивы B_k и B не вводятся. Пусковой адрес рабочей алгол-программы + I454.

ПРОГРАММЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НАБЛЮДЕНИЙ

Задачей статистической обработки данных в гидробиологических исследованиях является определение показателей изучаемых совокупностей, позволяющих уплотнить информацию за счет вычисления компактных параметров, достаточно полно характеризующих их свойства.

Подобная задача ставится в любых исследованиях, связанных с обработкой наблюдений.

Для автоматизации решения некоторых задач статистического анализа уже разработаны программы, входящие в библиотеки стандартных программ ЭВМ. Имеется возможность включения этих программ и в библиотеку стандартных программ транслятора ТАН-22 [12] для использования их в качестве процедур в системе программирования на АЛГОЛ-60. Учитывая то обстоятельство, что подобная работа находится еще на стадии выполнения, мы приводим в настоящем пособии программы для решения задач статистического анализа, возникающих в гидробиологических исследованиях. В инструкциях по эксплуатации программ мы оговариваем необходимые условия для их использования и границы их применимости.

1. Программа вычисления параметров выборок и центральных выборочных моментов.

В ней по формулам, заимствованным из работ [17, 18], вычисляются следующие статистические показатели выборок.

Среднее значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где x_i - значения вариант; n - число вариант в выборке. Несмещенная оценка стандартного отклонения

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Ошибка среднего

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Ошибка стандартного отклонения

$$S_s = \frac{S_x}{\sqrt{2n}} \quad (4)$$

Несмещенная оценка коэффициента вариации

$$V_x = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Ошибка коэффициента вариации

$$S_{V_x} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} V_x \sqrt{\frac{1}{2} + \left(\frac{V_x}{100}\right)^2} \quad (6)$$

Коэффициент асимметрии

$$g_1 = \sqrt{\frac{m_3}{m_2^3}} \quad (7)$$

где $m_1, m_2, \dots, m_k$ - центральные выборочные моменты, вычисляемые по формуле

$$m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k$$

Коэффициент эксцесса

$$g_2 = \frac{m_4}{m_2^2} - 3 \quad (8)$$

Несмещенная оценка коэффициента асимметрии

$$G_1 = \sqrt{\frac{n(n-1)}{n-2}} g_1 \quad (9)$$

Несмещенная оценка коэффициента эксцесса

$$G_2 = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)} [(n+1)g_2 + 6] \quad (10)$$

Среднее квадратичное отклонение несмещенной оценки коэффициента асимметрии

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{8n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \quad (II)$$

Среднее квадратичное отклонение несмещенной оценки коэффициента эксцесса

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}} \quad (I2)$$

Отношение несмещенной оценки коэффициента асимметрии к ее квадратичному отклонению

$$\alpha_1 = \frac{G_1}{\sigma_1} \quad (I3)$$

Отношение несмещенной оценки коэффициента эксцесса к ее квадратичному отклонению

$$\alpha_2 = \frac{G_2}{\sigma_2} \quad (I4)$$

Алгол-программа, реализующая вычислительный процесс, показана в табл.УП. Исходными данными к ней служат число n^* и значения вариант выборки x_i . Результаты счета выводятся на цифропечатающие устройства МП-16 в порядке перечисленных выше пунктов (I-I4). Из формулы (I0) видно, что по данной программе могут обрабатываться выборки при $n \geq 4$. Пусковой адрес рабочей алгол-программы +620. При малых разбросах значений вариант возможен останов машины из-за возникновения машинного нуля при вычислении центральных выборочных моментов высших порядков. В этих случаях необходимо предварительное масштабирование исходных данных.

Вычисленные по данной программе статистические показатели могут непосредственно использоваться для: а) анализа законов распределения вариант в выборках; б) оценки вариабильности изучаемых признаков; в) расчета доверительных интервалов средних с заданными уровнями значимости; г) сравнения выборок по статистическим критериям; д) определения объема выборок по величине доверительных интервалов и средних значений при планировании экспериментов с контролируемой точностью по результатам предварительных опытов [17, 18, 19].

Алгол-программа вычисления параметров выборок и
центральных выборочных моментов

PAGE 0

```

00  'BEGIN' 'INTEGER' I, J, N; 'FOR' J:=1 'UNTIL' 50 'DO'
    'BEGIN' STANDARD('1', N);
10  'BEGIN' 'REAL' 'ARRAY' X(/1:N/); 'REAL' SUMX, X1, R2, R3, R4,
    V1, SX2, SX, SX1, SS, VX, SVX, M2,
20  M3, M4, L1, L2, G1, G2, G12, G11, G22, G21, R5, R6; STANDARD
    ('1', X);
30  'BEGIN' SUMX:=0; 'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
40  'BEGIN' SUMX:=SUMX + X(/I/); 'END';
50  X1:=SUMX/N; R2:=0; R3:=0; R4:=0;
60  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
70  'BEGIN' R2:=R2 + (X(/I/) - X1) * (X(/I/) - X1); R3:=R3 + (X(
    /I/) - X1) * (X(/I/) - X1) * (X(/I/) - X1);
80  R4:=R4 + ((X(/I/) - X1)2) * ((X(/I/) - X1)2); 'END';
90  V1:=0.5; SX2:=R2/(N-1); SX:=SX21/2; SX1:=
    SX/(N1/2*V1);

```

PAGE 1

```

00  SS:=SX/((2*N)1/2*V1); VX:=(SX/X1)*100;
10  SVX:=(VX*(V1 + (VX/100)1/2)/V1)/V1/((N-1)1/2*V1);
20  M2:=R2/N; M3:=R3/N; M4:=R4/N;
30  L1:=M3/((M21/3)/V1); L2:=(M4/(M21/2))-3;
40  G1:=((N*(N-1))1/2*V1)*L1/((N-2)1/2);
50  G2:=(N-1)*(((N+1)*L2)+6)/((N-2)*(N-3));

```

```

60  G12 := 6 * N * (N-1) / ((N-2) * (N+1) * (N+3));
70  G11 := G12 / V1 ; G22 := 24 * N * ((N-1) / 2) / ((N-3) * (N-2) * (N+3)
    * (N+5));
80  G21 := G22 / V1 ; R5 := G1 / G11 ; R6 := G2 / G21 ;
90  STANDARD (" 2 ", J, X1, SX, SX1, SS, VX, SVX, L1, L2, G1, G2,
    G11, G21, R5, R6 ); 'END';
PAGE 2
00  'END'; 'END'; 'END'

```

2. Программа аппроксимации экспериментальных зависимостей функции вида $y = a + bx$.

Алгоритм программы реализует вычислительную процедуру нахождения из опытных данных параметров прямой по методу наименьших квадратов, исходя из предположения, что значения аргумента X заданы или измеряются с весьма малой ошибкой, а значения зависимой переменной y принимают случайные значения или в случае функциональной связи измеряются с ошибкой, намного превышающей таковые при измерении X . По этому методу параметры выбираются так, что сумма квадратов разностей между наблюдаемыми и соответствующими значениями на аппроксимирующей прямой принимает минимальное значение. Они определяются из системы нормальных уравнений [18], реализующих условие минимальности,

$$ma + b \sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m y_i ; \quad (I)$$

$$a \sum_{i=1}^m x_i + b \sum_{i=1}^m x_i^2 = \sum_{i=1}^m x_i y_i ,$$

где m - число наблюдений.

Из (I) определяются неизвестные параметры

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m y_i \sum_{i=1}^m x_i^2 - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m x_i y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} ; \quad (2)$$

$$b = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} .$$

Для оценки степени разброса значений y_i относительно прямой вычисляется дисперсия

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^m [y_i - (a + bx_i)]^2}{m-2} . \quad (3)$$

Таблица УШ

Алгол-программа аппроксимации эксперименталь-
ных зависимостей прямой

PAGE 0

```

00 'BEGIN' 'INTEGER' I, J, M; 'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 50 'DO'
10 'BEGIN' STANDARD ( "1", M );
20 'BEGIN' 'REAL' A1, A2, A3, A4, A5, X2, X4, Y2, A, B, S02, KOR, S0,
    SA2, SA, SB2, SB, L;
30 'REAL' 'ARRAY' X, Y, Y1 ( / 1 : M / ); STANDARD ( "1", X, Y );
40 'BEGIN' A1:= A2 := A3 := A4 := A5 := 0;
50 'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN' X2:= X ( / J / ) Y2;
60 X4:= X ( / J / ) * Y ( / J / ); Y2:= Y ( / J / ) Y2; A1:= A1 + X ( / J / );
    A2:= A2 + Y ( / J / );
70 A3:= A3 + X2; A4:= A4 + X4; A5:= A5 + Y2; 'END';
80 A:= ( A2 * A3 - A1 * A4 ) / ( M * A3 - A1 Y2 );
90 B:= ( M * A4 - A1 * A2 ) / ( M * A3 - A1 Y2 );

```

PAGE 1

```

00 S02:= ( A5 - A2 / M - ( ( A4 - A1 * A2 / M ) Y2 ) / ( A3 - ( A1 Y2 ) / M ) )
    / ( M - 2 );
10 S0:= SQRT ( S02 );
20 SA2:= S02 * A3 / ( M * A3 - A1 Y2 ); SA:= SA2 Y 0.5;
30 SB2:= S02 * M / ( M * A3 - A1 Y2 ); L:= M - 1; 'FOR' J:= 1 'STEP'
    L 'UNTIL' M 'DO'
40 Y1 ( / J / ):= B * X ( / J / ) + A; SB:= SB2 Y 0.5;
50 STANDARD ( "2", I, A, B, S0, SA, SB, Y1 ); 'END'; 'END'; 'END';
    'END'

```

Точность определения параметров a и b оценивается на основе закона накопления ошибок, согласно которому соответствующие ошибки S_a и S_b рассчитываются по формулам (4) и (5)

$$S_a = \sqrt{\frac{S_0^2 \sum_{i=1}^m x_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2}} ; \quad (4)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{S_0^2 m}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2}} . \quad (5)$$

Исходные данные заносятся в границах ввода в следующем порядке: а) m^* ; б) массив X ; в) массив y . В результате счета на МП-16 печатаются значения параметров прямой, вычисленные по формулам (1 - 5), и значения ординат в точках, абсциссы которых равны X_1 и X_m , по которым может проводиться прямая при построения графиков. Аппроксимация по данной программе, алгол-реализация которой приведена в табл. УШ, может производиться при $m \geq 3$. Пусковой адрес рабочей алгол-программы + 451.

3. Программа аппроксимации экспериментальных зависимостей некоторыми кривыми, приводящимися к линейным разложениям.

По данной программе производится вычисление параметров зависимостей вида

$$y = a e^{bx} ; \quad (1)$$

$$y = a x^b ; \quad (2)$$

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (3)$$

по методу наименьших квадратов. Требования, предъявляемые к аргументу x и зависимой переменной y те же, что и в случае описания экспериментальных данных уравнением прямой. Кроме того, при аппроксимации кривой (1) $y_i \geq 0$, а кривой (2) $x_i \geq 0$ и $y_i \geq 0$.

Определение параметров экспоненциальной зависимости изображенной в виде (1) по методу наименьших квадратов приводит к реше-

нию нелинейной задачи. Для сведения ее к линейной произведено логарифмирование, уравнения (I)

$$\ln y = \ln a + b x. \quad (4)$$

Введя новые обозначения $y' = \ln y$; $a' = \ln a$

получим зависимость $y' = a' + b x$, (5)

представляющую собой уравнение прямой, параметры которого определяются из системы нормальных уравнений

$$\begin{aligned} m a' + b \sum_{i=1}^m x_i &= \sum_{i=1}^m y'_i; \\ a' \sum_{i=1}^m x_i + b \sum_{i=1}^m x_i^2 &= \sum_{i=1}^m x_i y'_i, \end{aligned} \quad (6)$$

где m — количество наблюдений.

Откуда, сделав обратные преобразования, можно определить значения a и b в уравнении (I)

$$a' = \frac{\sum_{i=1}^m \ln y_i \sum_{i=1}^m x_i^2 - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m x_i \ln y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2}; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} a &= e^{a'}; \\ b &= \frac{\sum_{i=1}^m x_i \ln y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m \ln y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2}. \end{aligned}$$

Дисперсия S_0^2 , характеризующая отклонение экспериментальных от соответствующих расчетных значений, рассчитывается по формуле (8)

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - a e^{bx_i})^2}{m-2}. \quad (8)$$

Относительный разброс опытных данных вокруг кривой оценивается коэффициентом вариации

$$\sigma_x = \frac{S_0}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i} \cdot 100\% . \quad (9)$$

Задача отыскания параметров степенной функции (2), так же как и в случае приближения экспонентой, сводится к линейной посредством логарифмирования

$$\ln y = \ln a + b \ln x . \quad (10)$$

Обозначив $y' = \ln y$; $a' = \ln a$; $x' = \ln x$, приведем (10) к уравнению прямой, для которой система нормальных уравнений запишется в виде, аналогичном (6) (в нем везде вместо значений аргумента будут его логарифмы), из которой параметры a и b определятся следующим образом:

$$a' = \frac{\sum_{i=1}^m \ln y_i \sum_{i=1}^m \ln x_i - \sum_{i=1}^m \ln x_i \sum_{i=1}^m \ln x_i \ln y_i}{m \sum_{i=1}^m \ln x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m \ln x_i \right)^2} ;$$

$$a = e^{a'} ;$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m \ln x_i \ln y_i - \sum_{i=1}^m \ln x_i \sum_{i=1}^m \ln y_i}{m \sum_{i=1}^m \ln x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m \ln x_i \right)^2} . \quad (11)$$

Дисперсия S_0^2 рассчитывается по зависимости (12), а коэффициент вариации по (9)

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - a x_i^b)^2}{m-2} . \quad (12)$$

Для аппроксимирующей кривой (3) условие минимальности сумм квадратов отклонений запишется следующим образом

$$\sum_{i=1}^m [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)]^2 = \min . \quad (13)$$

Взяв производные левой части по a_0 , a_1 , a_2 и приравняв их к нулю, получим систему уравнений (14), в которую неизвестные параметры входят линейно [20]

$$a_0 m + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 = \sum_{i=1}^m y_i ;$$

$$a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 = \sum_{i=1}^m x_i y_i ; \quad (14)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 = \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i ,$$

откуда

$$\begin{aligned} a_0 &= b_0 - b_1 \bar{x} + b_2 \bar{x}^2 - b_2 \gamma ; \\ a_1 &= b_1 - 2b_2 \bar{x} ; \\ a_2 &= b_2 , \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i ; & b_0 &= \bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i ; \\ \gamma &= \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{m} ; & b_1 &= \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} ; \\ b_2 &= \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 y_i - m \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^4 - m \gamma^2} . \end{aligned} \quad (16)$$

Дисперсия рассчитывается по формуле (17), на основе которой по (9) вычисляется коэффициент $\mathcal{U}_X$, характеризующий точность аппроксимации

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^m y_i - [(a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2)]^2}{m-2} . \quad (17)$$

Вычислительная программа (табл. IX) позволяет описывать опытные данные любой из трех приведенных зависимостей, находить параметры кривых так, чтобы сумма квадратов разностей между эксперименталь-

Таблица IX

Алгол-программа аппроксимации экспериментальных
зависимостей некоторыми кривыми, приводящимися к
линейным разложениям

PAGE 0

```

00  'BEGIN' 'INTEGER' I1, M, L1, I2; 'FOR' I1:=1 'STEP' 1 'UNTIL'
    50 'DO'

10  'BEGIN' STANDARD ("1", M, L1); 'BEGIN' 'REAL' SX,
    SY, SX2, SRX, SM1, SM2, SM3, SM4,

20  SR4, SXY, A11, A, B, A1, A2, S2, VX, XSR, G, B1, B2; 'REAL'
    'ARRAY'

30  X, Y, X1, Y1 (/ 1:M/); STANDARD ("1", X, Y); SX:=SY
    :=SX2:=0; SM1:=SM3:=SM4:=0;

40  SXY:=S2:=XSR:=G:=B1:=B2:=0; 'IF' L1=1 'THEN'

50  'GOTO' M1 'ELSE' 'IF' L1=2 'THEN' 'GOTO' M2 'ELSE' 'FOR'
    I2:=1 'STEP' 1

60  'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN' X1 (/ I2/) := X (/ I2/); Y (/ I2/) := Y
    (/ I2/); 'END'; 'GOTO' M3; M1: 'FOR' I2:=1 'STEP' 1 'UNTIL'

80  M 'DO' 'BEGIN' X1 (/ I2/) := X (/ I2/); Y1 (/ I2/) := LN
    (Y (/ I2/)); 'END';

90  'GOTO' M3; M2: 'FOR' I2:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
    'BEGIN' X1 (/ I2/) :=

```

PAGE 1

```

00  LN(X (/ I2/)); Y1 (/ I2/) := LN(Y (/ I2/)); 'END';
    M3: 'FOR' I2:=1 'STEP' 1

10  'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN' SX := SX + X1 (/ I2/); SY := SY +
    Y1 (/ I2/); SX2 :=

```

```

20  SX2+X1(/ I2/)' / 2;  SXY := SXY+X1 (/ I2/)* Y1 (/ I2/);
    'END';  SRX := SX / M;
30  SRY := SY / M;  A11 := ( SY * SX2 - SX * SXY) / ( M * SX2 - SX' / 2);
    A := EXP ( A11);
40  B := ( M * SXY - SX * SY) / ( M * SX2 - SX' / 2);  'IF' L1 = 1 'THEN'
    'GOTO' M4 'ELSE'
50  'IF' L1 = 2 'THEN' 'GOTO' M5 'ELSE' 'GOTO' M6;
60  M4: 'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'  S2 := S2 + ((
    Y (/ I2/) - A * EXP
70  ( B * X (/ I2/))) / 2) / ( M - 2);  VX := S2 / 0.5 * 100 / SRX;
80  STANDARD ( "2", I1, L1, A, B, S2, VX);  'GOTO' M11;
90  M5: 'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'  XSR := XSR +
    X (/ I2/);

```

PAGE 2

```

00  XSR := XSR / M;  'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
10  S2 := S2 + (( Y (/ I2/) - A * X (/ I2/)' / ( B))' / 2) / ( M - 2);
    VX := S2 / 0.5 * 100 / XSR;
20  STANDARD ( "2", I1, L1, A, B, S2, VX);  'GOTO' M11;  M6:
30  'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN'  G := G + (( X1
    (/ I2/) - SRX)' / 2);
40  SM1 := SM1 + ( X1 (/ I2/) - SRX) * Y1 (/ I2/);  'END';
    SM2 := 0;  G := G / M ;  B1 := SM1 / SM2;
50  'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN'

```

```

SM3 := SM3 + (X1 (/ I2/) - SRX) / 2 * Y1 (/ I2/);
60 SM4 := SM4 + (X1 (/ I2/) - SRX) / 4 ; 'END'; B2 := (SM3 -
    M * G * SR4) / (SM4 - M * (G / 2));
70 A := SR4 - B1 * SR4 + B2 * SRX / 2 - B2 * G; A1 := B1 - 2 * B2 * SRX;
    A2 := B2;
80 'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO' S2 := S2 + ( ( Y1 (/ I2/)
    - ( A + A1 * X1 (/ I2/)
90 + A2 * X (/ I2/) / 2)) / 2) / (M - 2); VX := S2 / 0.5 * 100 / SRX;
PAGE 3
00 STANDARD ( "2", I1, L1, A, A1, A2, S2, VX);
M11: 'END'; 'END'; 'END'

```

ными значениями ординат и соответствующими расчетными была минимальной и оценивать точность описания экспериментальной зависимости выбранной интерполяционной формулой. Выбор интерполяционной формулы может производиться как на основе теоретических предположений о виде изучаемой зависимости, так и по статистическим критериям. Исходной информацией для программы являются значения λ^* , принимающей значения, равные номеру выбранной аппроксимирующей кривой, m^* , вводимые в границах ввода; ряд из m значений x_i и такой же ряд y_i . Результаты выводятся на быстропечатающее устройство в зависимости от значения λ^* в следующем порядке. При $\lambda = 1$ печатаются n^* , λ^* , a , b , S_0^2 , σ_x ; $\lambda = 2$ - n^* , λ^* , a , b , S_0^2 , σ_x ; $\lambda = 3$ - n^* , λ , a_0 , a_1 , a_2 , S_0^2 , σ_x , где n - номер варианта. Пусковой адрес рабочей алгол-программы + II35.

4. Программа вычисления корреляционных соотношений.

Предназначена для исследования связи двух случайных величин методами статистики. Для ее использования необходимо, чтобы рассматриваемые величины x и y были распределены нормально [17]. Если точность их измерения различна, то в качестве независимой переменной x выбирается наиболее точно измеряемая величина. Связь между величинами оценивается на основе корреляционного анализа, для чего вычисляются следующие параметры.

Бесмещенная оценка стандартного отклонения

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Бесмещенная оценка стандартного отклонения

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

Смешанный начальный момент первого порядка

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$$

где n - число вариантов в выборке;

$\bar{x}$ и $\bar{y}$ - средние значения вариант.

Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\mu_1}{S_x S_y}$$

Доверительные границы коэффициента корреляции, вычисленные с заданным уровнем значимости

$$\gamma_{min} = \frac{e^{2Z_1} - 1}{e^{2Z_1} + 1};$$

$$\gamma_{max} = \frac{e^{2Z_2} - 1}{e^{2Z_2} + 1},$$

где Z_1 и Z_2 вычисляются по формулам

$$Z_1 = Z - t_{\alpha} \cdot S_Z;$$

$$Z_2 = Z + t_{\alpha} \cdot S_Z,$$

в которых

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma};$$

$$S_Z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}.$$

Здесь t_{α} — определяется из таблицы (табл. УШ приложений [19]) по выбранному уровню значимости α при числе степеней свободы $f = n - 2$.

Критерий линейной корреляции $\xi = 1 - r^2$,
его основная ошибка

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{\frac{\xi}{n}}.$$

Если $\frac{\sigma_{\xi}}{\xi} < 1$, то связь между величинами x и y может считаться линейной [19].

По данному критерию может быть выявлена только достаточная "сильная" линейная связь. Поэтому для некоторых практических случаев степень линейности корреляционной связи может быть определена другими методами [20]. Если окажется, что связь между изучаемыми величинами существенно не линейна, то вычисленный коэффициент корреляции является лишь мерой точности линейного по x приближения величины y [18]. В случае линейной корреляции, если $|r| > 0.6$ можно считать, что рассматриваемые величины достаточно связаны [21]. Если ошибка при измерении x значительно меньше, чем при измерении y , то по программе может быть рассчитан коэффициент

линейной регрессии β корреляционного уравнения вида

$$y = \bar{y} + \beta(x - \bar{x}).$$

где $\beta = r \frac{S_y}{S_x}$, и подсчитана его значимость по соответствующему критерию [19].

Для этого производится проверка гипотезы равенства генерального коэффициента регрессии величине β на основе того, что

$$t = \frac{\beta - \beta_0}{S\beta}$$

имеет распределение Стьюдента с $n-2$ степенями свободы. Здесь

$$S\beta = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2} \frac{\sum y y}{\sum x x}};$$

$$\sum x x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n};$$

$$\sum y y = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}.$$

После этого вычисленное t сравнивается с табличным t_α , введенным в запоминающее устройство ЭВМ с входными данными. Если $t > t_\alpha$, то различие признается значимым.

Так как вычисленное значение β является лишь оценкой соответствующего генерального коэффициента линейной регрессии, то по экспериментальным данным определяется доверительная зона, в которой оно может находиться с определенной степенью уверенности. Для этого для каждого x_i вычисляется S_α , которое, будучи отложено в обе стороны по вертикали от соответствующих точек, и определит доверительную зону регрессии

$$S_\alpha = t_\alpha \cdot S_{y/x} \cdot \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{S_x} + \frac{1}{n}};$$

где

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{(1-r^2) \sum y y}{n(n-2)}};$$

Алгол-программа вычисления корреляционных
соотношений

PAGE 0

```

00  'BEGIN' 'INTEGER' I1, I2, L1, L3, N;
10  'FOR' I1:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 50 'DO' 'BEGIN' 'REAL' SX,
    T05, B, SY, SRX,
20  SRH, SX2, SY2, SM1, SOX, SOY, SYMX2, SYMY2, R, SZ, Z, Z1,
    Z2, RMAX, RMIN, OZ, B1, ZY, ZX, SB, T, SYX, SA;
30  STANDARD ("1", N, L1, T05, B); 'BEGIN' 'REAL' 'ARRAY'
40  X, Y, SA1, RASN (/ 1:N/); STANDARD ("1", X, Y);
    SX:=SY:=SX2:=SY2:=0;
50  'BEGIN' 'FOR' I2:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'BEGIN'
60  SX:=SX+X (/ I2/); SX2:=SX2+X (/ I2/)2;
70  SY2:=SY2+Y (/ I2/)2; SY:=SY+Y (/ I2/); 'END';
80  SRX:=SX/N; SRH:=SY/N; SYMX2:=SYMY2:=SM1:=0;
90  'FOR' I2:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'BEGIN' SYMX2:=
    SYMX2+(X (/ I2/)-SRX)2;

```

PAGE 1

```

00  SYMY2:=SYMY2+(Y (/ I2/)-SRH)2;
10  SM1:=SM1+(X (/ I2/)-SRX)*(Y (/ I2/)-SRH); 'END';
    SOX:=(SYMX2/(N-1))1/2;
20  SOY:=(SYMY2/(N-1))1/2; R:=SM1/((N-1)*SOX*
    SOY); SZ:=1/((N-3))1/2;
30  Z:=0.5*LN((1+R)/(1-R)); Z1:=Z-T05*SZ; Z2:=Z+
    T05*SZ; RMIN:=(EXP(2*Z1)-1)/

```

```

40  (EXP(2 * Z1) + 1); RMAX := (EXP(2 * Z2) - 1) / (EXP(2 * Z2) + 1);
    OZ := ((1 - R * 1/2) / N) * 0.5;
50  'IF' L1 = 1 'THEN' 'GOTO' M 'ELSE'
60  'B1 := R * SY / SOX; ZY := SY2 - (SY * 1/2) / N; ZX := SX2 -
70  (SX * 1/2) / N; SB := (((1 - R * 1/2) / (N - 2)) * ZY / ZX) * 0.5;
    T := (B1 - B) / SB;
80  'IF' T > T05 'THEN' L3 := 1 'ELSE' L3 := 0; SUX := ((1 - R)
90  * ZY / (N * (N - 2))) * 0.5; 'FOR' I2 := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N * 10
    'BEGIN' SA1(I / I2) := T05 + SUX * (((I / I2)

```

PAGE 2

```

00  - SRX) * 1/2) / SOX + 1 / N) * 0.5; RASN(I / I2) := Y(I / I2 -
10  (SRU + B1 * (X(I / I2) - SRX)); 'END'; M:
20  STANDARD("18", "50", "+) ВАРИАНТ -)", "60",
    "2", I1);
30  STANDARD("18", "20", "+) КОЭФ. - КОРРЕЛЯЦИИ -)",
    "38", "4", R, "46", "+) MAX = -)", "52", "4",
40  RMAX, "60", "+) MIN = -)", "66", "4", RMIN);
    OZ := ((1 - R * 1/2) * N) * 0.5;
50  'IF' OZ < 1 'THEN' 'GOTO' M1 'ELSE' STANDARD("18",
    "45", "+) КОРРЕЛЯЦИОННАЯ - ЗАВИСИМОСТЬ - НЕ
    - ЛИНЕЙНА -)"); 'GOTO' M2;
60  M1: STANDARD("18", "45", "+) КОРРЕЛЯЦИОННАЯ -
    ЗАВИСИМОСТЬ - ЛИНЕЙНА -)"); M2:

```

```

70  'IF' L1=1 'THEN' 'GOTO' M3 'ELSE'
80  STANDARD ( "18", "30", " +) СРЕДНЕЕ -X=-) ", "42",
    "4", SRX, "50", " +) СРЕДНЕЕ -Y=-) ", "62", "4",
    SRU, "75", " +) КОЭФФ. -ЛИН. -РЕГРЕССИИ -B=-) ",
90  "102", "4", B1); 'IF' L3=1 'THEN' 'GOTO' M4 'ELSE'
PAGE 3
00  STANDARD ( "18", "40", " +) ОТЛИЧИЕ -B-ОТ- БЕТТА -=-) ",
10  "62", "2", B, "70", " +) ЗНАЧИМО -) "); 'GOTO' M5;
20  M4: STANDARD ( "18", "40", " +) ОТЛИЧИЕ -B-ОТ- БЕТТА -
    =-) ", "62", "2", B, "70", " +) НЕ -ЗНАЧИМО -) "); M5:
30  STANDARD ( "18", "40", " +) РЯД -ДЛЯ -ПОСТРОЕНИЯ -ДОВЕ
    РИТЕЛЬНЫХ -ГРАНИЦ -) ", "12", "6", SA1);
40  STANDARD ( "18", "40", " +) РЯД -ОТКЛОНЕНИЙ -ОРИНАТ
    -ОТ -ПРЯМОЙ -) ", "12", "6", RASN);
50  M3: 'END'; 'END'; 'END'

```

t_{α} - определяется по $f=n-2$ степеням свободы. Так как построение доверительной зоны правомерно, если отклонения $y_i - [\bar{y} - \hat{\theta}(x_i - \bar{x})]$ взаимно независимы и нормально распределены, то в программе предусмотрен вывод этих отклонений для их последующего анализа. Вычислительная программа, выраженная символами АЛГОЛ-60, показана на табл. X. Она может использоваться в двух режимах. В первом режиме производится только расчет корреляционных соотношений. Исходной информацией для нее служат: а) вводимый в границах ввода специальный массив $n^*, 1^*, t_{\alpha}, 0$; б) ряд значений x_i ; в) ряд значений y_i . В результате расчета выдается на АЦПУ номер вериянта, χ , $\chi_{\max}$, $\chi_{\min}$ и заключение о линейности связи между

изучаемыми величинами. Во втором режиме производится также регрессионный анализ. Обращение к нему задается специальным массивом $\alpha^*, 0, t_\alpha, \beta$. При этом по программе вычисляются и выдаются на широкую печать все параметры, рассчитываемые в первом режиме, а также значения $\bar{x}, \bar{y}, \bar{v}$, заключение о значимости, ряд значений S_α для построения доверительных границ и ряд отклонений наблюдаемых значений от соответствующих, рассчитанных по уравнению линейной регрессии. Обозначения переменных и массивов выдаются в алфавитно-цифровом коде. Вычисления по программе могут производиться при $n \geq 3$. Количество рассчитываемых вариантов при каждом обращении может быть не менее пятидесяти. Пусковой адрес рабочей алгол-программы + II33.

Л и т е р а т у р а

1. Колесников А.Г., Беляев В.И., Скурихин В.И. О некоторых проблемах автоматизации сбора, передачи, обработки и хранения информации о физическом состоянии океана. - В кн.: Проблемы получения и обработки информации о физическом состоянии океана и атмосферы над ним. Киев, "Наукова думка", 1966.
2. Колесников А.Г. Автоматизация системы сбора, передачи и обработки информации о физических полях океана. Симп. 1967 г. - В кн.: Автоматизация научных исследований морей и океанов. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1968.
3. Колесников А.Г. Краткие итоги работ по автоматизации гидрофизических исследований. Симп. 1969 г. - В кн.: Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. I. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1970.
4. Колесников А.Г., Беляев В.И. Некоторые итоги автоматизации гидрофизических исследований. Симп. 1968 г. - В кн.: Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. I. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1969.
5. Беляев В.И. Итоги развития автоматизации обработки наблюдений в МГИ АН УССР. - В кн.: Исследования в области физики океана. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1969.
6. Добров Г.М., Клименко В.Н., Одрин В.М., Савельев А.А. Организация науки. Киев, "Наукова думка", 1970.
7. Поликарпов Г.Г., Бгоров В.Н. Автоматизация биоокеанографических исследований. - В кн.: Морские гидрофизические исследования. Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1971.

8. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. Використання обчислювальної техніки в експедиційних гідробіологічних дослідженнях. - "Вісник АН УРСР", 1971, № 5.
9. Поликарпов Г.Г., Иванов В.Н., Егоров В.Н., Токарева А.В., Филиппов Н.А. Радиоэкология морского зоопланктона. - В кн.: 50-летие Новороссийской биостанции. Материалы научной конференции. Новороссийск, 1971.
10. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Иванов В.Н., Токарева А.В., Филиппов Н.А. Нефтяные пятна в океане - экологическая ниша. - "Природа", 1971, № II.
11. Алгоритмический язык АЛГОЛ-60. Пересмотренное сообщение перевода с английского под редакцией Ершова А.П., Лаврова С.С., Шура-Бура М.С. М., "Мир", 1965.
12. Демидович Н.В., Шинкевич Г.С., Шкут Н.В. Трансляторы ТАМ-2 и ТАМ-22 руководство по эксплуатации. Минск, "Наука и техника", 1967.
13. Trenter D.J., Smith P.E. Filtration performance. In: "Zooplankton Sampling". Monographs on oceanographic methodology, ser.2, UNESCO, 1968.
14. Петипа Т.С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря. - "Труды Севастопольской биологич. станции", IX, 1957.
15. Шмелева А.А. Весовые характеристики массовых форм зоопланктона Адриатического моря сообщение I. - "Труды Севастопольской биологич. станции", XV, 1964.
16. Шмелева А.А. Весовые характеристики массовых форм зоопланктона Адриатического моря сообщение 2. - "Труды Севастопольской биологической станции", XVI, 1963.
17. Ван Дер Варден Б.Л. Математическая статистика с техническими приложениями. М., изд-во "Иностр.лит.", 1960.
18. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. М., Физматгиз, 1960.
19. Нарчевская Д.С. Статистика для радиоэкологов. Киев, "Наукова думка", 1969.
20. Урбах В.Ю. Биометрические методы. М., "Наука", 1964.
21. ЩигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений. М., "Наука", 1969.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Обоснование и перспективность применения ЭВМ в эксспедиционных биологических исследованиях	4
Программа обработки плейстоценно-нейстоценовых и плейс- тоценовых сборов	9
Программа обработки радиобинологических эксперимен- тов, поставленных на изотопных смесях	24
Программа статистического анализа наблюдений	30

Виктор Николаевич Игорев,
Геннадий Григорьевич Поликарпов

ЭВМ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ

Печатается по постановлению ученого совета
Института биологии южных морей им.А.О.Коваленко
АН УССР

Редактор В.А.Будкина
Технический редактор Р.Э.Хазирова

Бб 01522. Зап. № 592. Изд. № 1561. Формат бумаги 60х84 1/16.
Тираж 700. Печ. фм. листов 3,25. Уч. изд. листов 2,38. Подписа-
но к печати 9.УИ 1972г. Цена 15 коп.

Издательство "Наукова думка". Киев, Решина, 3.
Киевская книжная типография № 5 Комитета по печати при Совете
Министров УССР. Киев, Решина, 4.