

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՈՍԶ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ

LXV, № 3

1977

Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ա. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. թիկնա-
ծու (պատ. Բաբունյան), Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ,
ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ, Ա. Թ. ԲԱՐԱ-
ՑԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Հ. Խ. ԲՈՒՆ-
ՅԱԹՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա.
ԹԱԼԱԹՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ,
Վ. Մ. ԹԱԽԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-ան-
դամ, Վ. Հ. ՀԱՄՐԱՐՁՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս,
Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս
(պատ. խմբագրի տեղակալ), Հ. Գ. ՄԱՂԱՔ-
ՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ,
ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր),
Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ,
Օ. Մ. ՍԱԳՈՆՋՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-
անդամ, Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻԿԱՅԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ
ԳԱ թղթակից-անդամ, Վ. Բ. ՉԱՆԱՐՋՅԱՆ,
ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ

Редакционная коллегия

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Г. А.
АРЗУМАНИЯН, канд техн. наук (отв.
секретарь), Э. Г. АФРИКЯН, чл.-корр.
АН АрмССР, А. Т. БАБАЯН, академик
АН АрмССР, Г. Х. БУНЯТЯН, акаде-
мик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, ака-
демик АН АрмССР (зам. отв. редактора),
Н. Г. МАГАКЬЯН, академик АН Арм
ССР, А. Г. НАЗАРОВ, академик АН
АрмССР (отв. редактор), Г. С. СААКЯН,
чл.-корр. АН АрмССР, О. М. САПОН-
ДЖЯН, чл.-корр. АН АрмССР, А. А. ТА-
ЛАТЯН, чл. корр. АН АрмССР, В. М.
ТАРАЯН, чл.-корр. АН АрмССР, М. Л.
ТЕР-МИКАЕЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР,
В. В. ФАНАРДЖЯН, чл.-корр. АН
АрмССР.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՈՍԶ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՀՐԱՏԱՐԱԿԳՈՒԹՅՈՒՆ

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Հ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

- Ա. Գ. Մաբկոսյան, Ա. Ե. Մաբկոսյան—Օրգրաֆը օրանտառների վերլուծման ալ-
գորիթմ 129
- Գ. Ռ. Հովհաննիսյան—Որոշ խառը խնդիրների մասին թույլ հիպերբոլական հավա-
սարումների համար 132
- Ո. Դ. Գրիգորյան—Համիլտոնյան սիստեմների մի դասում տատանողական ուժիմե-
րի գոյության պայմանների մասին 136

ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Ռ. Գ. Մալախյան, Ո. Ռ. Մեսչյան—Գերնստոդ բնահոգների սողօր սահթի դեպքում . 143

ԿԻՈՖԻԶԻԿԱ

- Յու. Ո. Վարդանյան—Մերձերկրյա տիեզերական տարածության բազմաշերտ մոդել 151
- Ո. Յ. Հակոբյան—Մակերեսային ալիքների ֆազային և խմբային արագությունների
սահթի դինամիկ մոդուլի համար մտցվող ուղղումների մասին 157

ԻՐԿԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ա. Վ. Հաբուսյան—Ջրաներարկման յուրահատուկ ազդեցությունն երկայնական
ալիքների վրա Հայաստանի օֆիսիտային գոտիներից երկայնացված տարրեր ապար-
ներում 161

ՍՏՐԱՏԻԳՐԱՖԻԱ

- Ա. Հ. Գաբրիելյան, Ռ. Ա. Խոսենյան—Բազում-գանգեզուրյան տեկտոնական զոնայի
(Հայկական ՍՍՀ) տուբիտային վոլկանիտների հասակի ու շերտագրական դիրքի մասին 166

ՐԻՈՔԻՄԻԱ

- Ա. Ա. Խալոյան, Ռ. Յա. Գուրվից—Նեյրոհորմոն «Շ»-ի և ցիկլո-ԱՄՖ մրցակցու-
թյունը ցիկլո-ԱՄՖ կապող սպիտակուցների համար 173
- Մ. Ա. Ուլեյմանյան, Ո. Ն. Հայրապետյան—Աղենիլատցիկլազայի ազդման մեխա-
նիզմի մասին խիունցի նեյրոնների մեմբրանային պոտենցիալի վրա 181

ՐՈՒՅՍԵՐԻ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

- Վ. Ն. Խոյանիև, Մ. Ք. Մալախյան—Օրվա տեղողության ազդեցությունը կանեֆի և
սպանադի սեքսուալիզացիայի վրա 186

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
МАТЕМАТИКА	
<i>А. Г. Маркосян, С. Е. Маркосян</i> —Алгоритм разложения орграфа на орлеса .	129
<i>Г. Р. Оганесян</i> —О некоторых смешанных задачах для слабо гиперболических уравнений	132
<i>С. Д. Григорян</i> —Об условиях существования колебательных режимов в одном классе гамильтоновых систем	136
МЕХАНИКА ГРУНТОВ	
<i>Р. Л. Малакян, С. Р. Месчян</i> —Ползучесть присадочных грунтов при сдвиге .	143
ГЕОФИЗИКА	
<i>Ю. С. Вардамян</i> —Многослойная модель околоземного космического пространства	151
<i>С. Ц. Аколян</i> —О поправках за динамический модуль сдвига для фазовых и групповых скоростей поверхностных волн	157
ГЕОЛОГИЯ	
<i>А. В. Арутюнян</i> —Особенности влияния водонасыщенности на скорость продольных волн в различных горных породах офиолитовых поясов Армении .	161
СТРАТИГРАФИЯ	
<i>А. А. Габриелян, Р. А. Хоренян</i> —О возрасте и стратиграфическом положении толентовых вулканитов Базум-Зангезурской тектонической зоны (Армянская ССР)	166
БИОХИМИЯ	
<i>А. А. Галоян, Б. Я. Гурвиц</i> —Конкуренция между нестероидом «С» и 3',5'-циклической АМФ цикло-АМФ-связывающие белки	173
<i>М. А. Сулейманян, С. Н. Айрапетян</i> —О механизме действия аденилат-циклазы на мембранный потенциал нейронов улитки	181
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ	
<i>В. Н. Хрякин, М. Х. Чайлахян</i> —Влияние длины дня на сексуализацию конопля и шпината	186

CONTENTS

p.

MATHEMATICS

- A. G. Markosian, S. E. Markusian* — Algorithm for decomposition of directed graph into the directed forests. 129
- G. R. Hovhannisian* — On some mixed problems for weakly hyperbolic equations in two independent variables. 132
- S. D. Grigorian* — On conditions of existence of oscillating regimes in a class of Hamiltonian systems. 136

SOIL MECHANICS

- R. P. Malakian, S. R. Meschian* — Creep of collapsable soils during shear. 143

GEOPHYSICS

- Yu. S. Vardanian* — Multilayer model of near space. 151
- S. Ts. Hakopian* — On corrections of dynamic shear modulus for phase and group velocity surface waves. 157

GEOLOGY

- A. V. Harutunian* — The peculiarities of water saturated influence on the speed of longitudinal waves on various mountain rocks of the Armenian ophiolitic belt. 161

STRATIGRAPHY

- A. A. Gabriellian, R. A. Khorenian* — About the age and stratigraphic positions of the ophiolitic volcanoes of Bazum — Zangezurian tectonic zones (Armenian SSR). 166

BIOCHEMISTRY

- A. A. Galoyan, B. Y. Gurvitz* — Competing between the neurohormone $2C^+$ and $3', 5'$ — cAMP for cAMP binding proteins. 173
- M. A. Suleymanian, S. N. Ayrapietian* — On the mechanism of adenylate-cyclase action on the membrane potential of snail neuron. 181

PLANT PHYSIOLOGY

- V. N. Khryanin, M. Kh. Chailazhian* — Influence of the day-length on the sexualization of *Cannabis sativa* and *Spinacea oleracea*. 186

Технический редактор Л. А. АЗИЗБЕКЯН

В Д 07171

Изд. 4719

Заказ 685

Тираж 535

Сдано в набор 21/IX 1977 г. Подписано к печати 19/XII 1977 г.
Формат бумаги 70X108^{1/16}. Печ. л. 4. Усл. печ. л. 5,6. Уч. изд. листов 4,25.

Испрография Издательства АН Армянской ССР, Ереван, Барекзмутян 24.
Эчмиадзинская типография Изд. АН Армянской ССР

УДК 519.9

МАТЕМАТИКА

А. Г. Маркосян, С. Е. Маркосян

Алгоритм разложения орграфа на орлеса

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Александряном 20/VI 1977)

В настоящей статье для орграфов рассмотрена задача, аналогичная задаче определения наименьшего числа непересекающихся по ребрам остовных лесов, на которые можно разложить обыкновенный граф G (древесность) ⁽¹⁾, и описан алгоритм нахождения некоторого такого разложения. В дальнейшем везде будем предполагать, что граф $G=(X, U)$ является 1-орграфом (графом Бержа ⁽²⁾) без петель, это означает, что из одной вершины в другую, отличную от первой, может идти не более одной дуги (ориентированного ребра), т. е. двуугольники допускаются, но параллельных дуг нет. Вершина x_0 орграфа G называется его корнем, если все цепи, начинающиеся в x_0 , представляют собой пути. Из этого определения следует, что связный оргграф G с корнем x_0 представляет собой ордереву, у которого все дуги направлены от x_0 ; такие ордеревья называются растущими ⁽²⁾. Орлесом будем называть оргграф, у которого каждая компонента связности есть растущее ордереву.

Рассмотрена следующая задача: определить наименьшее число непересекающихся по ребрам остовных орлесов (ордревность), на которые можно разложить граф Бержа без петель, и найти некоторое такое разложение. Ордревность графа G обозначим через $d(G)$. Разложение $L_1, L_2, \dots, L_{d(G)}$ графа G на $d(G)$ орлесов назовем оптимальным. Пусть $\delta(G) = \max_{x \in G} s_G^-(x)$, где $s_G^-(x)$ — полустепень захода вершины x . Ниже опишем алгоритм получения некоторого разложения графа G на не более чем $\delta(G)+1$ орлесов, откуда будет следовать следующая оценка $\delta(G) \leq d(G) \leq \delta(G) + 1$. Понятия базы вершин, бикомпоненты, базовой бикомпоненты и др., встречающиеся в алгоритме, можно найти в ⁽³⁾.

Алгоритм разложения. Пусть задан $G=(X, U)$ — граф Бержа $G_1=G$.

1. Находим базовые бикомпоненты $B_1^*, B_2^*, \dots, B_k^*$ графа G_k (алгоритм нахождения базовых бикомпонент можно найти в ⁽³⁾).

2. Выбираем произвольные вершины $b_i^k \in B_i^k$, $i = 1, 2, \dots, e_k$, ясно, что множество вершин $B_k = \{b_1^k, b_2^k, \dots, b_{e_k}^k\}$ будет базой вершин для графа G_k .

3. Принимая вершины $b_1^k, b_2^k, \dots, b_{e_k}^k$ за корни растущих деревьев, строим остоновый орлес $L_k = \{T_1^k, T_2^k, \dots, T_{e_k}^k\}$ в графе G_k так, чтобы растущее ордеререво T_i^k , $i \leq e_k$, содержало все дуги (b_i^k, x) , для $x \in \Gamma b_i^k \cap B_i^k$. Очевидно, что L_k будет содержать $|G_k| - e_k$ дуг.

4. Строим $G_{k+1} = G_k \setminus L_k$. Если G_{k+1} — пустой граф (содержит только изолированные вершины), то работа алгоритма закончена, если нет то переходим к 1-му пункту, вместо k взяв $k+1$.

После окончания работы алгоритма получим разложение $\{L_1, L_2, \dots, L_r\}$.

Теорема. *Количество шагов r описанного алгоритма разложения не превосходит $\delta(G) + 1$.*

Для доказательства теоремы покажем, что если некоторая вершина b_m является корнем в разложении $\{L_1, L_2, \dots, L_r\}$ больше одного раза, т. е. если b_m является корнем в L_i и L_j , $i < j$, то полустепень захода вершины b_m в графе G_j , $s_{G_j}^-(b_m) = 0$. Действительно, после i -го шага алгоритма вершина b_m будет принадлежать некоторой базовой бикомпоненте в графе G_j тогда и только тогда, когда эта бикомпонента состоит только из вершины b_m , следовательно $s_{G_j}^-(b_m) = 0$.

Отсюда уже следует доказательство теоремы, так как если после $(\delta(G) + 1)$ -го шага алгоритма граф $G_{\delta(G)+2}$ будет содержать дуги, скажем (x, y) , то в силу $s_{G_{\delta(G)+2}}^-(y) \neq 0$, вершина y была корнем в разложении $\{L_1, L_2, \dots, L_{\delta(G)+1}\}$ не более одного раза, следовательно, на каждом шаге алгоритма $k = 1, 2, \dots$, (может быть кроме одного) полустепень захода вершины y уменьшилась на единицу, значит $s_{G_{\delta(G)+2}}^-(y) = 0$. Так как y — произвольная, то отсюда следует: $G_{\delta(G)+2}$ является пустым графом. Теорема доказана. Из этой теоремы следует оценка для ордревесности $d(G)$.

Следствие

$$\delta(G) \leq d(G) \leq \delta(G) + 1.$$

Порядок описанного алгоритма разложения равен $(\delta(G) + 1) \cdot n^2$, где n^2 — число вершин графа G .

Описанный алгоритм не всегда дает оптимальное разложение, однако, кажется можно получить оптимальное разложение, заменив только пункт 2 алгоритма на следующий пункт.

2'. Выберем вершины $b_i^k \in B_i^k$, $i = 1, 2, \dots, e_k$ таким образом, чтобы $\Gamma^{-1} b_i^k = \min_{x \in B_i^k} \Gamma_x^{-1}$.

Это утверждение пока не доказано.

Очевидно, что алгоритм разложения, в котором вместо пункта 2 взят 2', дает разложение, содержащее $\delta(G) + 1$ орлесов тогда и

только тогда, когда хотя бы одна вершина с полустепенью захода $\delta(G)$ будет выбрана корнем в каком-нибудь орлесе данного разложения. В остальных случаях алгоритм дает разложение на $\delta(G)$ орлесов. Вершина с полустепенью захода $\delta(G)$ в графе G на некотором шаге $k+1$ ($k=0, 1, \dots$) алгоритма будет выбрана корнем только тогда, когда после работы k -го шага алгоритма возникает базовая бикомпонента, полустепени захода всех вершин которой равны $\delta(G)-k \neq 0$. Весь вопрос в том, сколько орлесов содержит оптимальное разложение таких графов: $\delta(G)$ или $\delta(G)+1$, т. е. $d(G)=\delta(G)$ или $d(G)=\delta(G)+1$. Если удастся доказать, что для таких графов $d(G)=\delta(G)+1$, то алгоритм всегда дает оптимальное решение.

Вычислительный центр
Академии наук Армянской ССР
и Ереванского государственного университета

Ա. Գ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ս. Խ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ

Օրգրաֆի օրանտառների վերլուծման ալգորիթմ

Հոդվածում նկարագրված է ալգորիթմ տրված օրգրաֆը մինիմալ քանակով օրանտառների տրոհման համար: Ինչպես հայտնի է նման խնդիր սովորական գրաֆների համար լուծված է Նեշ-Վիլյամսի կողմից ⁽¹⁾: Օրանտառները կազմված են աճող ծառերից: Եթե $\delta(G)$ -ով նշանակենք մտնող աղեղների մաքսիմալ լոկալ կիսաստիճանը G -գրաֆում, ապա նկարագրված ալգորիթմից հետևում է, որ մինիմալ քանակով օրանտառների քանակը, որոնցով տրոհվում է օրգրաֆը, չի գերազանցում $\delta(G)+1$: Բերված ալգորիթմի ժամանակ կատարվող գործողությունների կարգը n^2 , որտեղ n -ը տրված G գրաֆի գագաթների քանակն է:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Փ. Харари, Теория графов, М., 1973. ² А. А. Зыков, Теория конечных графов, Новосибирск, 1969.

УДК 517.946

МАТЕМАТИКА

Г. Р. Оганесян

О некоторых смешанных задачах для слабо гиперболических уравнений

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Александряном 23/VI 1977)

Настоящая заметка посвящена исследованию достаточных условий корректности смешанных задач в полуполосе для одномерных слабо гиперболических уравнений высоких порядков с вырождением на начальной полупрямой.

Такого типа задачи для уравнений второго порядка изучались в работах многих авторов (¹⁻⁴) и др.), в то время как для уравнений высоких порядков, по видимому, лишь в работе Билса (⁵). Смешанные задачи для слабо гиперболических (не симметризуемых) систем рассмотрены в (⁶).

Рассмотрим одномерный дифференциальный оператор (временная переменная $-t$ и одна пространственная переменная $-x$):

$$P(D) \equiv \sum a_\alpha D^\alpha, \quad |\alpha| \leq m+1, \quad a_\alpha(t, x) \in C^\infty(\bar{\Omega}) \quad (1)$$

в области $\Omega = \{(t, x) \in R^2, 0 < t < T, 0 < x < \infty\}$
 с главным символом

$$P_0(\xi_0, \xi_1) = \sum_{|\alpha| \leq m+1} a_\alpha \xi^\alpha = \prod_{j=1}^{m+1} (\xi_0 - \lambda_j(t, x) \xi_1),$$

причем $Im \lambda_j = 0, j = 1, \dots, m+1$ в $\bar{\Omega}$ (слабая гиперболичность).

Пусть из каждой точки интервала $(0, T)$ временной оси в Ω входит l характеристик, т. е.

$$\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_s < \dots < \lambda_l < 0 < \lambda_{l+1} < \dots < \lambda_{m+1} \quad (2)$$

при $0 < t < T, x = 0$.

Мы допустим, что лишь одна группа характеристик касается при $t = 0$, а именно

$$\lambda_{s+1}, \lambda_{s+2}, \dots, \lambda_{s+r} \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad t \rightarrow 0; \quad 0 \leq s < m, \quad 0 < r \leq m+1$$

Обозначим через $\mathfrak{M}_r = \{\mu(t) = (\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_r(t))\}$ множество непрерывно дифференцируемых на $[0, T]$ вектор-функций, компоненты которых удовлетворяют следующим условиям:

$$\mu_i(+0)=0, \quad \mu_i(t)>0 \quad \text{при} \quad t>0; \quad \mu_i'(t)\geq 0, \quad i=1, \dots, r \quad (4)$$

$$\mu_{i+1}(t)\leq c\mu_i(t), \quad \frac{d}{dt} \ln \mu_i(t) \leq c \frac{d}{dt} \ln \mu_{i+1}, \quad i=1, \dots, r-1,$$

где через c здесь и дальше мы обозначаем некоторые постоянные. Введем вспомогательный оператор

$$R(D) = \sum a_\alpha D^\alpha, \quad |\alpha| \leq m+1, \quad a_0 \geq r+|\alpha|-m-1 \quad (5)$$

с характеристиками постоянной кратности r .

Обозначим через R^{-1} обратный оператор корректной задачи Коши (см. (6)):

$$R(D)u = f \quad \text{в} \quad \Omega, \quad D_t^k u|_{t=0} = 0, \quad k=0, \dots, m \quad (6)$$

Пусть, далее, K -класс слабо гиперболических операторов таких, что существует вектор-функция $\mu \in \mathcal{M}_r$ такая, что

$$|\lambda_{i+s}|, |D_x^s \lambda_{i+s}| \leq c \mu_i(t), \quad i=1, \dots, r \quad (7)$$

$$|D_t^s \lambda_{i+s}| \leq \left(c + \bar{c}_i \frac{\mu_i'}{\mu_i} \right) \mu_i(t), \quad i=1, \dots, r, \quad (8)$$

$$|\lambda_i - \lambda_j| \geq c \cdot \mu_{j-s}, \quad s < j < i < r+s, \quad (9)$$

$$|\lambda_i - \lambda_j| > 0, \quad s+r \leq j < i, \quad j \leq s < r+s < i \quad (10)$$

при $(t, x) \in \bar{\Omega}$.

Рассмотрим смешанную задачу

$$P(D)u = f, \quad (t, x) \in \Omega \quad (11)$$

$$D_t^k u|_{t=0} = 0, \quad k=0, \dots, m \quad (12)$$

$$B_j u|_{x=0} \equiv \sum_{s=0}^m b_{js}(t) D_t^{m-s} D_x^j u|_{x=0} = 0, \quad j=1, \dots, l, \quad (13)$$

где $P(D)$ принадлежит классу K ; граничные операторы B_j удовлетворяют условию типа Лопатинского

$$\left(\prod_{k=1}^{l-s} \mu_k^{s+2k-r-1} \right) \cdot \det \left\| \sum_{j=0}^m b_{ls} \lambda_j^{m-s} \right\|_{l,j-1} \neq 0 \quad (L)$$

при $0 \leq t \leq T$, $x=0$, а младшие коэффициенты оператора $P(D)$ удовлетворяют условию (G), а именно:

если $q = r - 1 - \alpha_0 + |\alpha| - m \geq 1$, то

$$|t^{m+1-|\alpha|} a_\alpha| \leq c_q (\mu_1 \mu_2 \dots \mu_q)'(t),$$

для остальных α , с $|\alpha| \leq m$

$$|a_\alpha| \leq c.$$

Обозначим через $H^{p,q}(\Omega)$, $H^m(\Omega_t)$ пространства Соболева с нормами $\|\cdot\|_{p,q}$ и $\|\cdot\|_m$ соответственно (см. (9)).

Здесь $\Omega_t = \{\tau, x | \tau = t\}$.

Если $f \in H^{0,N}(\Omega)$ и найдется функция $g \in H^{0,N}(\Omega)$ такая, что

$$\sum_{j=0}^m b_{j,j} D_t^{m-j} D_x^j (R^{-1}g)|_{x=0} = 0, \quad j=1, \dots, l \quad (14)$$

$$\sum_{k=0}^N |D_x^k (f-g)| \leq c \cdot \mu_t^M, \quad (t, x) \in \Omega, \quad (15)$$

то мы будем говорить, что $f \in W$; здесь M, N — достаточно большие постоянные, зависящие от оператора P (точнее от перенумерованных постоянных, фигурирующих в условиях (8), (G) и функции $\mu(t)$).

Если при приближении к начальной полупрямой слипаются все характеристики (т. е. $r = m+1$), то в качестве W можно взять просто класс функций $f \in H^{0,N}(\Omega)$ таких, что

$$\sum_{k=0}^N |D_x^k f(t, 0)| \leq c \cdot \mu_{m+1}^M(t). \quad (16)$$

Имеет место следующая

Теорема. Пусть $P(D)$ -слабо гиперболический оператор класса K с гладкими коэффициентами, причем граничные операторы B_j удовлетворяют условию типа Лопатинского (L), а младшие коэффициенты оператора $P(D)$ удовлетворяют условиям (G).

Тогда смешанная задача (11)–(13) при $f \in W$ имеет единственное решение $u \in H^{m-1}(\Omega)$, причем имеет место оценка

$$\|u\|_m \leq c \int_0^t \left\{ \|Pu\|_{0,N} + \mu^{-N} \sup_{\substack{0 \leq \tau \leq t \\ 0 \leq k \leq N}} |D_x^k (f-g)| \right\} d\tau + c \sup_{\substack{0 \leq \tau \leq t \\ 0 \leq k \leq N}} |D_x^k (f-g)| \quad (17)$$

для всех $t \in (0, T]$, $u \in H^m(\Omega_t)$, удовлетворяющих условиям (12), (13).

Как показывают примеры, условие $f \in W$ является, вообще говоря, необходимым (см. (7)).

Приведем схему доказательства теоремы.

Используя принадлежность f к классу W задачу (11)–(13) можно свести к той же задаче с измененной правой частью ($\hat{f}$), удовлетворяющей условию

$$\hat{f}(t) = o(\mu_t^M(t)), \quad \text{при } t \rightarrow +0. \quad (18)$$

Вводя, далее, энергетическую матрицу A° по формуле

$$\eta A^\circ \eta^+ = \sum_{j=1}^{m+1} |P_j(D)u|^2, \quad (19)$$

где

$$\eta = (D_t^m u, D_t^{m-1} D_x u, \dots, D_x^m u), \quad P_j(\xi_0, \xi_1) = \prod_{k=j}^m (\xi_0 - \lambda_k \xi_1)$$

нетрудно, учитывая условие (L), доказать оценку

$$\sum_{j=1}^l |B_j u|^2 + \sum_{j=l+1}^{m+1} |P_j u|^2 \geq c \eta A^\circ \eta^+, \quad \text{при } x = 0. \quad (20)$$

Принтегрируем по Ω записанное в дивергентной форме произведение оператора $P(D)$ на разделяющий оператор. Оценивая полученное при этом интегральное равенство и используя условия на младшие коэффициенты оператора (G), получаем интегральное неравенство

$$\int_{\Omega_l} \eta A^\circ \eta^+ dx \leq \int_{x=0} \sum_{j=1}^l |B_j u|^2 dt + \int \left(c + c \frac{\mu_r'}{\mu_r} \right) \eta A^\circ \eta^+ d\Omega. \quad (21)$$

Обращая это интегральное неравенство с неинтегрируемым ядром при условии (18) (см. (1²)) получаем априорную оценку (17), из которой и вытекает теорема.

Институт математики
Академии наук Армянской ССР

Դ. Բ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՅԱՆ

Որոշ խառը խնդիրների մասին քույլ հիպերբոլական հավասարումների
համար

Դիցուք տրված է բարձր կարգի հիպերբոլական հավասարում երկու անկախ փոփոխականներից, որի մի խումբ խարակտերիստիկաներ ձգտում են դրոյի սկզբնական կիսաառանցքին մոտենալիս:

Հոդվածում ապացուցվում է, որ եթե եզրային պայմանները, հավասարման ցածր կարգի անդամները և աջ մասը բավարարում են որոշակի պայմանների, ապա այդ հավասարման համար խառը խնդիրը կիսաշեքտում ունի միակ կայուն լուծում:

Այդ բավարար պայմանները (կոպատինսկու տիպի և է. Նեվիի բնդհանրացրած պայմաններ) ունեն բնական բնույթ և որոշ դեպքերում հանդիսանում են նաև անհրաժեշտ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹М. Л. Краснов, Мат. сб. 49(91), 29—84 (1959). ²М. М. Смирнов, Вырождающиеся эллиптические и гиперболические уравнения, Наука, М., 1966. ³А. М. Нахушев, Диффер. уравнения, 7, № 1, 49—56 (1971). ⁴Р. Г. Айрапетян, «Известия АН Арм. ССР», т. 12 № 1, 32—45 (1977). ⁵R. Beals, Arch. Ration. Mech. and Anal. 18:2, 123—152 (1972). ⁶К. А. Ягджян, «Известия АН Арм. ССР», сер. матем. т. 11 № 5, 24—31 (1976). ⁷К. А. Ягджян, ДАН Арм. ССР, т. LXIV, № 2 (1977). ⁸J. Chazarain, Ann. Inst. Fourier, 24:1, 173—202 (1974). ⁹Л. Гординос, Задача Коши для гиперболических уравнений, ИЛ, М., 1961. ¹⁰G. Peyser, Journ. of Math. and Mech. 6:5, 641—653, (1957). ¹¹V. Thomée, Math. Scand. 5, 93—113, (1957). ¹²А. Б. Нерсисян, Известия АН Арм. ССР, сер. матем. т. 9, № 2 (1968).

УДК 517.91+513.83

МАТЕМАТИКА

С. Д. Григорян

Об условиях существования колебательных режимов в одном классе гамильтоновых систем

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Александрияном 12/VII 1977)

1. Данная работа посвящена нахождению класса гамильтоновых систем, которые обладают свойствами аналогичными свойствам, обнаруженным В. А. Белинским, Е. М. Лифшицем и Н. М. Халатниковым (Б.ИХ) ⁽¹⁾, у системы, описывающей однородную космологическую модель IX типа в общей теории относительности. Точнее, выделяется класс гамильтоновых систем, обладающих колебательными режимами типа "режима Б.ИХ".

Основным результатом работы является теорема 1, в которой приводятся достаточные условия для существования у гамильтоновой системы колебательного режима, допускающего сепаратрисную аппроксимацию. Доказательство теоремы основывается на том, что гамильтонова система, удовлетворяющая ее условиям, после надлежащего преобразования координат имеет множество неустойчивых особых точек Φ . Определяется отображение T множества Φ в себя: в случае, когда сепаратриса, выходящая из особой точки единственна, особая точка отображается в конечную точку этой сепаратрисы; в случае же, когда сепаратриса не единственна, особая точка отображается в точку, в которую входят почти все сепаратрисы. Итерации отображения T дают комбинаторную модель колебательных режимов, имеющих в динамической системе.

В теореме 2 рассмотрен альтернативный случай, когда у гамильтоновой системы нет колебательного режима, а есть устойчивая асимптотика решений.

2. Рассмотрим гамильтоновы системы

$$\frac{dp_l}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial q_l}, \quad \frac{dq_l}{d\tau} = \frac{\partial H}{\partial p_l}, \quad (l=1, 2, \dots, n),$$

$$H = \frac{1}{D(q_l)} (T(P_l) + V(q_l)), \quad (1)$$

где $P_l = p_l q_l$, $T(P_l)$ — однородный многочлен (функция) степени μ , $V(q_l)$ — однородный многочлен (функция) степени ν , $D(q_l) = q_1^{\alpha_1} q_2^{\alpha_2} \dots q_n^{\alpha_n}$, $\alpha_l > 0$.

Сделаем замену координат

$$\bar{P}_l = \frac{P_l}{\sqrt{\sum_{\alpha=1}^n P_\alpha^2}}, \quad \bar{q}_l = \frac{q_l}{\sqrt{\sum_{\alpha=1}^n q_\alpha^2}}, \quad G = \sum q_\alpha^2, \quad \omega = \frac{\left(\sqrt{\sum_{\alpha=1}^n q_\alpha^2}\right)^\lambda}{\left(\sqrt{\sum_{\alpha=1}^n P_\alpha^2}\right)^\lambda} \quad (2)$$

и замену времени $\frac{d\tau_1}{d\tau} = \frac{\left(\sqrt{\sum_{\alpha=1}^n P_\alpha^2}\right)^{\mu-1}}{D}$.

Система (1) в координатах (2) и времени τ_1 имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\bar{P}}_l &= \omega \left(-\frac{\partial V}{\partial \bar{q}_l} \bar{q}_l + \bar{P}_l \frac{\partial V}{\partial q_\alpha} \bar{q}_\alpha \bar{P}_\alpha \right) + \left(\alpha_l - \bar{P}_l \sum_{j=1}^n \alpha_j \bar{P}_j \right) H_1 \\ \dot{\bar{q}}_l &= \bar{q}_l \left(\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_l} - \frac{\partial T}{\partial P_\alpha} \bar{q}_\alpha^2 \right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dot{\omega} = \omega \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_l} \bar{q}_l^2 + \mu \omega \frac{\partial V}{\partial q_l} \bar{q}_l \bar{P}_l - \mu \alpha_l \bar{P}_l H_1 \right).$$

$$\dot{G} = 2G \left(\sum \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_l} \bar{q}_l^2 \right). \quad (3')$$

Здесь $H_1 = T(\bar{P}_l) + \omega V(\bar{q}_l)$.

Отметим, что система (3), (3') содержит замкнутую подсистему (3) в координатах $\bar{P}_l, \bar{q}_l$, ω — это следствие наличия группы масштабных преобразований у системы (1).

З а м е ч а н и е. Если использовать вместо координаты G (2) координату $\bar{G} = 1/G$, последнее уравнение (3') в системе (3), (3') заменится на

$$\dot{\bar{G}} = -2\bar{G} \left(\sum_{l=1}^n \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_l} \bar{q}_l^2 \right). \quad (3'')$$

Полное многообразие S , на котором рассматривается система (3), (3'), выделяется условиями:

$$\sum_{l=1}^n \bar{P}_l^2 = 1, \quad \sum_{l=1}^n \bar{q}_l^2 = 1, \quad \omega \geq 0, \quad G \geq 0.$$

* Здесь и ниже, применительно к теореме 2, координату G надо заменять на $\bar{G}$, а уравнение (3') заменять уравнением (3'').

Локальная карта с исходными координатами p_i, q_i на этом многообразии покрывает область $\omega > 0, G > 0$.

Таким образом, переход к координатам (2) означает компактификацию этой области границей Γ , имеющей две компоненты Γ_0 и Γ_1 , определенные условиями

$$\Gamma_0: \omega = 0, \quad \Gamma_1: G = 0.$$

Система (3), (3') на многообразии S имеет множество особых точек Φ , лежащее на пересечении Y компонент Γ_0 и Γ_1 , ($Y = \Gamma_0 \cap \Gamma_1$), и состоящее из n компонент Φ_i , выделяемых следующими условиями:

$$\bar{q}_i = 1, \quad \bar{q}_j = 0, \quad (j \neq i) \quad (4)$$

$$G = 0, \quad \omega = 0, \quad \sum a_k \frac{\partial T}{\partial P_k} < 0, \quad \sum \bar{P}_k^2 = 1.$$

Теорема 1. Если функции $T(P_i)$ и $V(q_i)$ удовлетворяют перечисленным ниже условиям 1), 2), 3), то у системы (3), (3') при $i > 0$ имеется множество неустойчивых особых точек Φ инвариантное относительно отображения T , вследствие чего система (1) имеет решения со сложным колебательным режимом изменения координат

Перечислим условия 1), 2), 3):

1) в точках $\bar{P}_i = (\bar{P}_j = \delta_{ij})$ выполнены условия $T(\bar{P}_i) \leq 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$);

в точках $\bar{Q}_i = (q_j = \delta_{ij})$, $V(\bar{Q}_i) \leq 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$);

2) если в некоторой точке P имеем $a_k \frac{\partial T(\bar{P}_i)}{\partial P_k} = 0$, то $T(\bar{P}_i) < 0$,

3) многообразие $T(\bar{P}_i) = 0$ имеет размерность $(n-1)$; почти всюду на многообразии $T(\bar{P}_i) = 0$, $a_k \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_k} < 0$, одна и только

одна из величин положительна.

Доказательство теоремы 1 мы проведем одновременно с доказательством теоремы 2 справедливой при более слабых ограничениях на функции $T(\bar{P}_i)$, $V(\bar{q}_i)$.

Теорема 2. Если функция $T(\bar{P}_i)$ такова, что в некоторой особой точке, $P \in \Phi_i$, системы (3), (3'')

$$\max_{k=1,2,\dots,n} \left\{ \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_k} \right\} = \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} > 0, \quad (5)$$

то при $i < 0$ существует устойчивая асимптотика решений системы, в которой $q_i \rightarrow \infty$, $q_j/q_i \rightarrow 0$, справедливая для целой области в пространстве решений системы (1).

Доказательство. Каждое из множеств Φ_i является открытой областью на многообразии $T(\bar{P}_i) = 0$ в сфере S^{n-1} и имеет размерность $(n-2)$. Собственные числа системы (3), (3') на $2n$ -мерном многообразии S в особых точках Φ_i следующие

$$\lambda_j = \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_j} - \frac{\partial I}{\partial \bar{P}_j} \quad (\text{переменная } \bar{q}_j, j \neq i) \quad (6)$$

$$\lambda_n = \lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} \quad (\text{переменная } w)$$

$$\lambda_{n+1} = \sum_{k=1}^n \alpha_k \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_k} \quad (\text{переменная } \bar{P}_e)$$

$$\lambda_{n+2} = \begin{cases} 2 \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} & (\text{переменная } G) \\ -2 \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} & (\text{переменная } \bar{G}) \end{cases}$$

Остальные $(n-2)$ собственных числа, отвечающие направлениям касательным к множеству Φ_i , равны нулю. Имея выражения собственных чисел (6) легко доказать теорему 2.

Действительно, если в особой точке $P \in \Phi_i$ выполнено условие (5), то при $\lambda < 0$ все собственные числа (6) системы (3), (3'') отрицательны. Поэтому особые точки $P \in \Phi_i$ и близкие к ним являются притягивающими. Из определения множества Φ_i следует, что вдоль траекторий входящих в эти особые точки $q_i/q_i \rightarrow 0$ так как $\bar{q}_i/\bar{q}_i \rightarrow 0$, а $q_i \rightarrow \infty$ так как $G \rightarrow \infty$ (это следует из того, что $\bar{G} \rightarrow 0$).

Теорема 2 таким образом доказана.

Переходя к доказательству теоремы 1, заметим, что из условия 3) следует, что для почти всех точек из Φ_i среди собственных чисел λ_i и λ_n при $\lambda > 0$ имеются числа противоположных знаков, поэтому в этом случае особые точки из Φ_i являются невырожденными и неустойчивыми. Проинтегрируем сепаратрисы выходящие из этих особых точек.

1. Предположим, что в особой точке $P^0 \in \Phi_i$ выполнено условие $\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} > 0$, тогда из условий 2), 3) и из (6) следует, что $\lambda_j < 0$, $\lambda_n > 0$, $\lambda_{n+1} < 0$. Поэтому из точки P^0 выходит одна единственная сепаратриса, вдоль которой $\bar{q}_j = \bar{q}_{ij}$ и изменяются координаты w , $\bar{P}_e$, причем $H_1 = 0$. Система (5) при условии $\bar{q}_i = \bar{q}_{ij}$ и после замены времени

$$\frac{d\tau_1}{dt} = w \frac{\partial V(Q_i)}{\partial q_i}$$

имеет вид

$$\bar{P}_i = 1 - \bar{P}_i^2,$$

$$\bar{P}_i = -\bar{P}_i \bar{P}_j, \quad (7)$$

$$\dot{w} = \lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} \left(\frac{\partial V(Q_i)}{\partial q_i} \right)^{-1} + 1 \cdot \bar{P}_i$$

Из первых двух уравнений находим

$$\bar{P}_i = \tanh t, \quad \bar{P}_j = \bar{P}_j^0 \frac{\operatorname{ch} t_0}{\operatorname{ch} t} \quad (8)$$

здесь $\bar{P}^0 = \bar{P}_i(t_0)$. Следовательно, сепаратриса выходящая (при $t = t_0$) из точки P^0 на $T(\bar{P}_i) = 0$ при $t \rightarrow +\infty$ в координатах $\bar{P}_k$ движется по кратчайшей дуге большого круга, на сфере S^{n-1} , проходящего через точки P_i и P^0 . Выражение координаты w вдоль этой сепаратрисы можно получить из условия $H_1 = 0$:

$$T(\bar{P}_i) + wV(Q_i) = 0 \quad (9)$$

Поскольку в силу условия 1) $V(Q_i) < 0$ из (8) следует, что вдоль сепаратрисы (8) $H_1 = 0$, $T(\bar{P}_i) > 0$. Однако по условию 1) $T(P_i) < 0$ следовательно сепаратриса (9) выходящая из точки P^0 , $T(P^0) = 0$, пересекает поверхность $T(P_i) = 0$ в некоторой другой точке P^1 , $T(P^1) = 0$, в этой точке согласно (9) $w = 0$ т. е. точка P^1 также принадлежит множеству Φ_i . Таким образом в рассматриваемом случае отображение T определено $T(P^0) = P^1$. Отметим, что в точке P^1 , как и на всей сепаратрисе (7), справедливо неравенство $\alpha_k \frac{\partial T}{\partial P_k} < 0$, это

следствие условия 2) и условия $T(P^1) = 0$. Очевидно, в конечной точке P^1 имеем $\frac{\partial T}{\partial P_i} < 0$. Действительно, вдоль сепаратрисы (8)

координата $\bar{P}_i$ монотонно растет, $T(\bar{P}_k) > 0$ и в конечных точках $T(P^0) = T(P^1) = 0$, следовательно, знаки в конечных точках сепаратрисы противоположны.

II. Предположим, что в особой точке $P^0 \in \Phi_i$ имеем $\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} < 0$. Со-

гласно условиям 2) и 3) из (6) получаем $\lambda_n < 0$, $\lambda_{n+2} < 0$.

Из этой особой точки выходит целый пучок сепаратрис; размерность этого пучка равна числу тех j , для которых

$$\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_j} - \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} > 0 \quad (10)$$

Обозначим множество этих j через J . Вдоль этих сепаратрис изменяются координаты $\bar{q}_j$, $j \in J$ остальные $\bar{q}_k = 0$, координаты $w = 0$, $\bar{P}_k = P^0$ постоянны.

Проинтегрировав эти сепаратрисы получим

$$q_j = \frac{c_j \exp\left(\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_j} \tau_1\right)}{\left(\sum_{k \in J} c_k^2 \exp\left(2 \frac{\partial T}{\partial \bar{P}_k} \tau_1\right)\right)^{1/2}}, \quad c_j = \text{const}, \quad j \in J \quad (11)$$

Из (11) следует, что почти при всех значениях c_j при $\tau_j \rightarrow -\infty$, $\bar{q}_j \rightarrow 0$, ($j \neq i$), $\bar{q}_i \rightarrow 1$, а при $\tau_j \rightarrow +\infty$, $\bar{q}_i \rightarrow 0$, $\bar{q}_j \rightarrow 1$. (j_0 — это индекс соответствующий максимальному собственному значению λ_j , $j \in J$). Таким образом почти все сепаратрисы, выходящие из точки $P^0 \in \Phi_i$ идут в точку $(\bar{P}_k = P_k^0, \bar{q}_k = \delta_{kj_0}, k = 1, \dots, n)$, что и определяет в данном случае отображение T .

Отметим, что из того, что условие 3) выполнено почти всюду на многообразии $T(\bar{P}_i) = 0$, следует, что отображение определено почти всюду. Это отображение не определено в вырожденных особых точках, в которых собственные числа (6) меняют знак, то есть $\frac{\partial T}{\partial \bar{P}_i} = 0$. Очевидно, почти всюду на Φ_i для любого i определено отображение T . Полученный результат означает, что существуют сколь угодно длинные последовательности сепаратрис, движущихся между Φ_i . Очевидно, траектория, начавшаяся достаточно близко к одной из сепаратрис, будет двигаться вдоль всей этой последовательности. В частности, траектория будет последовательно оказываться в окрестности множеств Φ_i , где $\bar{q}_i = \delta_{ij}$, следовательно изменение координат q_i вдоль этой траектории имеет пульсирующий характер — что и означает наличие колебательного режима (см. (2, 3)).

Это заканчивает доказательство теорем 1 и 2.

В заключение отметим, что первые примеры гамильтоновых систем вида (1), удовлетворяющих условиям теоремы 1, были указаны в работах (2), (3). Если условия 1), 2), теоремы 1, выполнены для некоторой системы вида (1), то они также справедливы и для всех близких к ней систем этого вида. Наиболее ограничительным является условие 3). Из этого условия следует, что $\frac{\partial T}{\partial P_k}$ обращается в нуль парами. Если $T(P_i)$ — квадратичная трехмерная форма, а $x_i = \frac{\partial T}{\partial P_i}$, то $T(P_i) = c_1 x_1 x_2 + c_2 x_1 x_3 + c_3 x_2 x_3$ — наиболее общий вид такой функции.

Автор выражает глубокую благодарность член-корреспонденту АН СССР С. П. Новикову за внимание к работе.

• Институт математики
Академии наук Армянской ССР

II. Գ. ՓԵՐՓՈՐԱՆ

Համիլտոնյան սիստեմների մի դասում տատանողական ռեժիմների
գոյության պայմանների մասին

Աշխատանքում առաջարկված է համիլտոնյան սիստեմների լուծումների
ՔՀԽ-ի տիպի (տես Վ. Ա. Բելինսկու, Ե. Մ. Լիֆշիցի և Ի. Մ. Խալատնիկովի⁽¹⁾)

աշխատութիւնը) տատանողական ուժի մի գոյութեան համար բաժարար պայ-
մաններ:

Հետազոտման հիմնական մեթոդը՝ դա սեպարատրիսային ապրոկսիմա-
ցիայի մեթոդն է, որը թույլ է տալիս կառուցել տատանողական ուժի մի
կոմքինատոր մոդելը (թեորեմ 1):

Դիտարկված է նաև այն դեպքը, երբ համիլտոնյան սիստեմի լուծումնե-
րն ունեն կայուն ասիմպտոտիկա և, հետևաբար, այդ սիստեմը շունի տատա-
նողական ուժի մ (թեորեմ 2):

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников, УФН, 102, № 3 (1970).
² О. И. Богоявленский, С. П. Новиков, Труды семинара им. И. Г. Петровского, вып. 1,
(1975). ³ О. И. Богоявленский, С. П. Новиков, УМН, 31, № 5 (1976).

УДК 624.131 : 539.376

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Р. П. Малакян, С. Р. Месчян

Ползучесть просадочных грунтов при сдвиге

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И. Тер-Степаняном 30/VI 1977)

Для расчета оснований зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах, а также определения скоростей смещения и проверки устойчивости естественных склонов, сложенных из указанных грунтов, представляет большой интерес исследование их прочности (сопротивления сдвигу) и закономерностей сдвиговой ползучести. Несмотря на важность проблемы сопротивление просадочных грунтов сдвигу с учетом фактора влажности исследовано далеко недостаточно. Существующие исследования (^{1,2}) выполнены при небольшом интервале изменения нормальных напряжений и поэтому не дают полного представления о поведении сопротивления сдвигу просадочных грунтов при изменении их влажности. Что же касается ползучести этих грунтов при сдвиге, то она вообще никем не рассмотрена.

Нами исследована прочность (сопротивление сдвигу) и сдвиговая ползучесть просадочных грунтов № 12—76 ($\gamma = 1,70 \text{ г/см}^3$, $\gamma_s = 2,72 \text{ г/см}^3$, $w_0 = 11,58\%$, $e = 0,78$) и № 49—77 ($\gamma = 1,44 \text{ г/см}^3$, $\gamma_s = 2,72 \text{ г/см}^3$, $w_0 = 11,80\%$, $e = 1$) естественного сложения в двух состояниях плотности—влажности: при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии. Для этого на приборах М-5 (³) испытаны на кручение сплошные образцы диаметром $d = 101 \text{ мм}$, высотой $h = 24 \text{ мм}$.

1. Для определения диапазона изменения нормальных напряжений при определении сопротивления грунта № 12—76 сдвигу, а также установления зависимости относительной просадочности $\delta_{пр}$ от указанных напряжений на компрессионных приборах М-2 (³) предварительно определена относительная просадочность пяти пар образцов-близнецов ($d = 70 \text{ мм}$, $h = 20 \text{ мм}$) при естественной влажности под действием $\sigma_1 = 0,1, 0,2, 0,4, 0,6$ и $0,8 \text{ МПа}$.

После стабилизации деформации уплотнения образцов-близнецов под действием различных σ_1 было осуществлено их непрерывное

(в течение пяти дней) замачивание и определена относительная просадочность. Опытами установлено (табл. 1), что зависимость относительной просадочности $\delta_{пр}$ от внешней уплотняющей нагрузки σ_1 имеет экстремальный характер и $\delta_{пр}$ достигает своего наибольшего значения при $\sigma_1 = 0,4$ МПа.

Полученная из эксперимента закономерность изменчивости относительной просадочности в зависимости от σ_1 , как будет показано ниже, непосредственно связана с видом диаграммы сопротивления водонасыщенных образцов сдвигу.

Таблица 1

σ_1 , МПа	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
Относительная просадочность, $\delta_{пр}$	0.008	0.010	0.032	0.031	0.026

Определено сопротивление сдвигу образцов-близнецов в условиях кручения методом затухающих деформаций (по ГОСТ 12248—66) при начальной (естественной) влажности w_0 и полного водонасыщения w_s , сейчас же после приложения уплотняющего давления σ_z . В первом случае образцы испытаны под действием $\sigma_z = 0,2; 0,4$ и $0,6$ МПа, а во втором: $\sigma_z = 0,1; 0,2; 0,4; 0,6$ и $0,8$ МПа. Длительность замачивания (водонасыщения) образцов до испытания на сдвиг (срез) — 7 дней. Повторность опытов двухкратная.

Разумсется представляло бы интерес определение стандартного сопротивления сдвигу грунта при более широком диапазоне изменения нормальных напряжений, скажем до 2,0 МПа, но, к сожалению, нам этого не удалось осуществить из-за недостаточного количества образцов грунта.

Результаты испытания образцов просадочного грунта по определению его стандартного сопротивления сдвигу в двух состояниях влажности приведены в табл. 2, а также показаны на рис. 1.

Таблица 2

σ_z , МПа	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
Стандартное сопротивление сдвигу $\tau_{ст}$, МПа	—	0.074	0.139	0.200	—
$w = w_0$	—	0.052	0.108	0.178	—
$w = w_s$	0.031	—	—	—	0.266

Зависимость $\tau_{ст} = f(\sigma_z)$ образцов при естественной влажности грунта аппроксимирована выражением закона Кулона.

$$\tau_{ст.в.} = \sigma_z \operatorname{tg} \varphi + c = \sigma_z \cdot 0,315 + 0,012, \text{ МПа} \quad (1)$$

Диаграмма сопротивления сдвигу образцов, замоченных после приложения σ_z , представлена ломанной линией. Точка перелома этой диаграммы соответствует нормальному напряжению $\sigma_z = 0,4$ МПа, при

котором относительная просадочность достигает своего наибольшего значения $\tau_{пр} = 0,032$ (табл. 1).

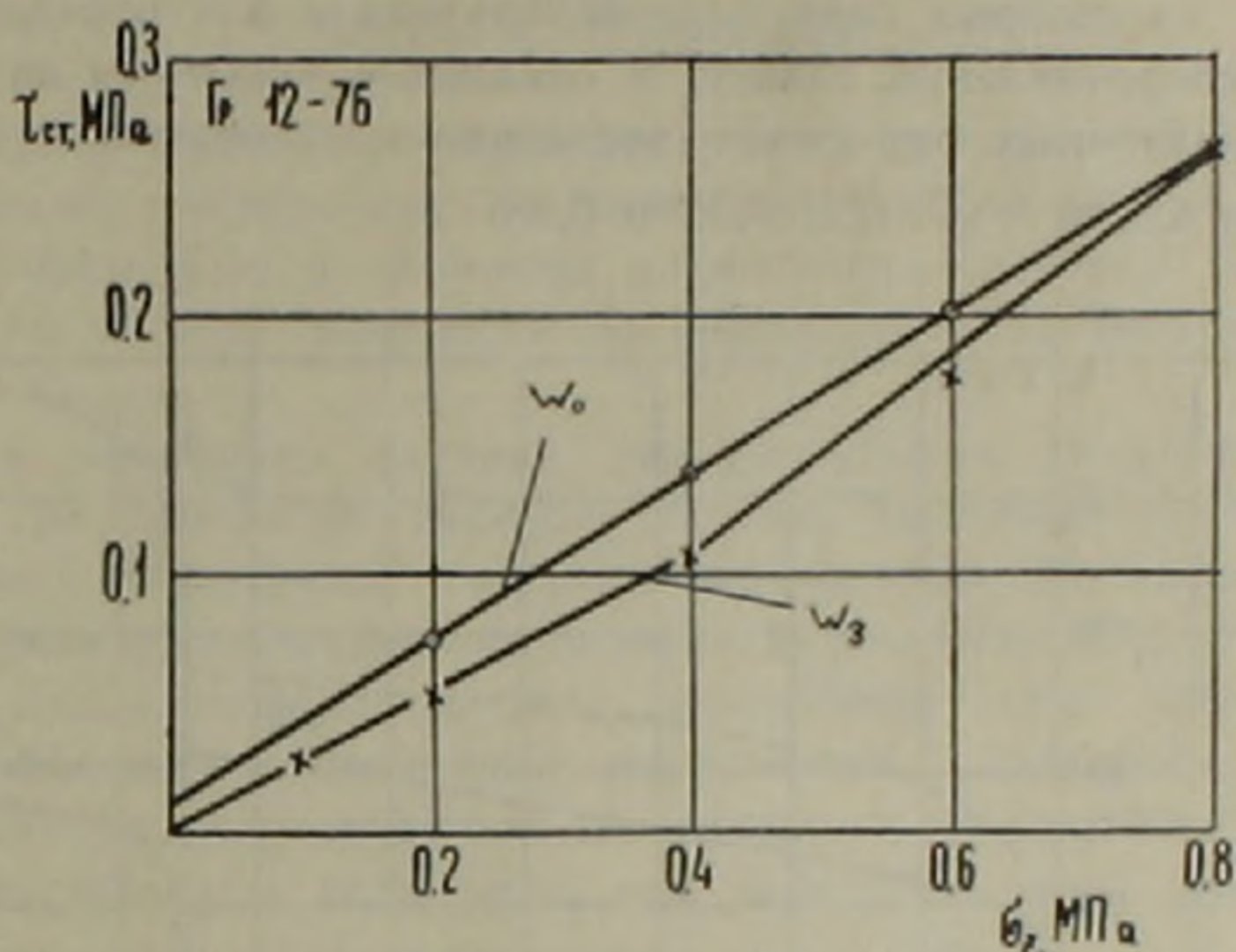


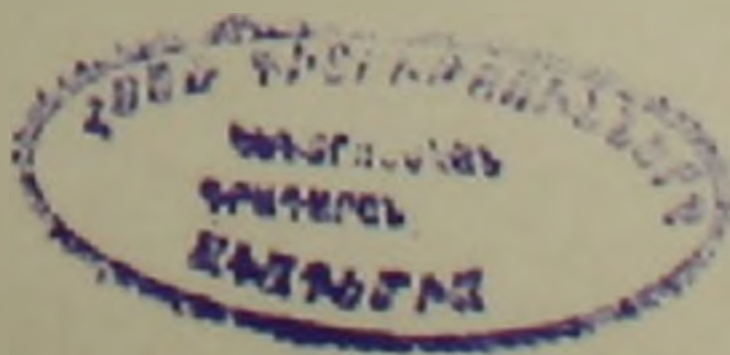
Рис. 1. Графики стандартного сопротивления сдвигу грунта 12—76 при естественной влажности w_0 и полном водонасыщении w_3 .

Изложенное выше можно объяснить следующим образом. Связность (сцепление) просадочных грунтов в основном обусловлена цементационными связями—сцеплением упрочнения по Н. Я. Денисову ⁽⁴⁾. При замачивании просадочных грунтов после приложения нормально-го напряжения сцепление упрочнения практически снижается до нуля и, несмотря на то, что при этом первичное сцепление возрастает, общая величина сцепления остается очень низкой ⁽⁵⁾. Следовательно, уменьшение сцепления и угла внутреннего трения грунта при $\sigma_z \leq 0,4$ МПа обусловлено его дополнительным увлажнением и уплотнением.

После определенного значения уплотняющего напряжения плотность замоченного грунта существенно возрастает, возрастает число контактов между частицами, повышается его прочность и уменьшается просадочность (см. табл. 1). Повышение прочности водонасыщенного грунта обусловлено как увеличением угла внутреннего трения, так и первичного сцепления.

Показанная на рис. 1 диаграмма сопротивления сдвигу замоченных образцов испытанного грунта аппроксимирована линейными функциями вида (1):

$$\tau_{ст, w_3} = \begin{cases} \sigma_z \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1 = \sigma_z \cdot 0,26 + 0,003, \text{ МПа для } \sigma_z \leq 0,4 \text{ МПа} \\ \sigma_z \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + c_2 = \sigma_z \cdot 0,397 - 0,0518, \text{ МПа для } \sigma_z > 0,4 \text{ МПа} \end{cases} \quad (2)$$



II. Исследована ползучесть просадочного грунта № 12—76 естественного сложения при сдвиге под действием $\sigma_z = 0,4$ МПа в условиях сохранения естественной влажности. Испытаны четыре пары образцов близнецов, из которых одна пара использована для определения стандартного сопротивления сдвигу, а остальные испытаны на ползучесть при тех различных значениях постоянного относительного касательного напряжения $\tau/\tau_{cr} = 0,4; 0,72$ и $0,98$.

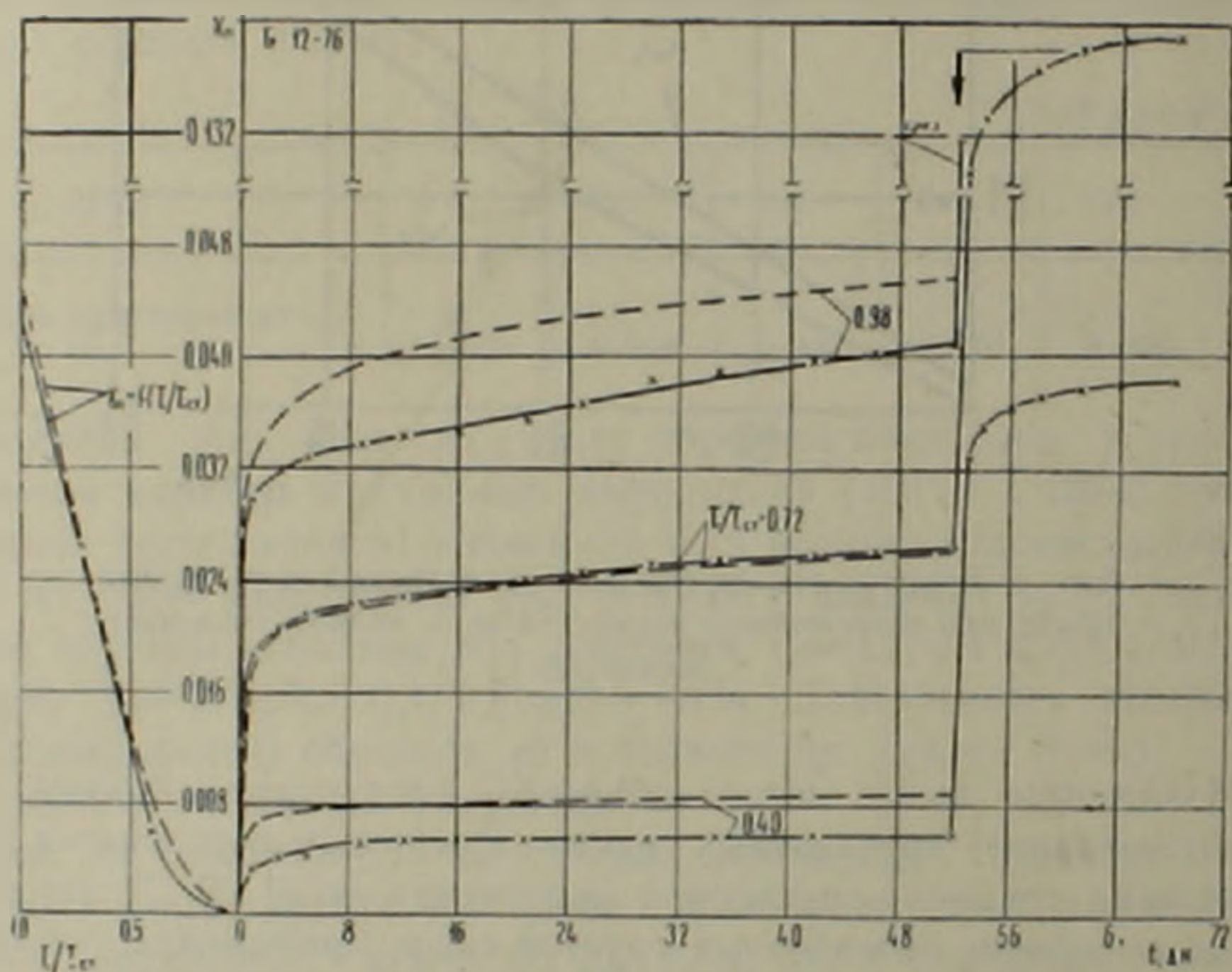


Рис. 2. Экспериментальные кривые ползучести и зависимости $\gamma_0 = f(\tau/\tau_{cr})$ (сплошные линии грунта) 12—76 при естественной влажности $\sigma_z = 0,4$ МПа и их проксимации (штриховые линии) выражениями (5) и (3) соответственно. Стрелкой показан момент замачивания

Экспериментальные кривые ползучести на правой части рис. 2 показаны сплошными линиями, а на левой его части сплошной линией представлена зависимость $\gamma_0 = f(\tau/\tau_{cr})$. Эта зависимость для $t = 52$ дн. аппроксимирована (штриховая линия) степенной функцией вида (°).

$$\gamma_0 = B(\tau/\tau_{cr})^n = 0,0463 (\tau/\tau_{cr})^{1,8} \quad (3)$$

и определена функция относительного касательного напряжения $f(\tau/\tau_{cr})$:

$$f(\tau/\tau_{cr}) = (\tau/\tau_{cr})^n = (\tau/\tau_{cr})^{1,8}. \quad (4)$$

Для определения деформации сдвиговой ползучести при некотором заданном постоянном относительном касательном напряжении использовано следующее выражение

$$\gamma_n(t) = \omega(t) \cdot f(\tau/\tau_{cr}), \quad (5)$$

где $\omega(t)$ — мера ползучести вида

$$\omega(t) = A \cdot t^m = 0,0338 \cdot t^{0,088}, \quad (6)$$

характеризующая фиктивную ползучесть при $\tau/\tau_{cr} = 1$ (*).

Кривые, построенные по выражению (5) с учетом (4) и (6) на правой части рис. 2 показаны штриховыми линиями. Аппроксимация семейства кривых ползучести по выражению (5) вполне удовлетворительная.

Для выяснения влияния дополнительного увлажнения (замачивания) на поведение образцов грунта, находящихся под действием различных постоянных относительных касательных напряжений, после завершения их испытания на ползучесть они были полностью насыщены водой. Как следовало ожидать замачивание стало причиной резкого, скачкообразного возрастания деформации сдвиговой ползучести в несколько раз и разрушения тех образцов, которые до замачивания были подвергнуты испытанию под действием очень высокого относительного касательного напряжения $\tau/\tau_{cr} = 0,98$.

III. Одним из основных вопросов исследования ползучести просадочных грунтов вообще, сдвиговой ползучести в частности, является, как об этом уже было сказано выше, определение влияния замачивания на закономерности его деформирования. Не маловажным является и вопрос разработки методики определения характеристик сдвиговой ползучести просадочных грунтов. С этой точки зрения представляет особый интерес проверка возможности применения полученных ранее (6) закономерностей сдвиговой ползучести обычных глинистых грунтов, испытанных при различных состояниях плотности—под действием различных постоянных нормальных напряжений. В этих опытах было установлено, что при одинаковых значениях относительного касательного напряжения τ/τ_{cr} деформации сдвиговой ползучести не зависят от состояния грунта. Если аналогичную закономерность мы получим при испытании просадочных грунтов на сдвигающую ползучесть при различных значениях влажности, то появится возможность существенного упрощения как методики определения характеристик ползучести, так и выражения сдвиговой ползучести. Для решения этих вопросов следует, при всех равных условиях, испытывать на ползучесть образцы просадочного грунта при различных состояниях начальной влажности.

С изложенной выше целью исследована сдвиговая ползучесть переуплотненных образцов грунта № 49—77 в условиях сохранения естественной влажности и замачивания после приложения нормального напряжения. Первоначально все образцы были уплотнены под действием $\sigma_z = 0,4$ МПа, а затем разгружены до $\sigma_z = 0,3$ МПа и испытаны на сдвиговую ползучесть под действием возрастающих степенями $\tau/\tau_{cr} = 0,4; 0,65$ и $0,91$ относительных касательных напряжений (рис. 3).

Для испытания образцов на ползучесть определены показатели сопротивления сдвигу грунта в указанных выше двух состояниях влажности по методу А. А. Ничипоровича (⁷), то есть по ветви разгрузки (набухания) компрессионной кривой.

Диаграммы сопротивления сдвигу грунта аппроксимированы выражениями вида (1):

$$\tau_{ст} = \begin{cases} \sigma_z \operatorname{tg} 18^\circ 10' + 0,0153, \text{ МПа} & \text{для } w = w_0 \\ \sigma_z \operatorname{tg} 16^\circ 42' + 0,0087, \text{ МПа} & \text{для } w = w_s \end{cases} \quad (7)$$

Из рис. 3 видно, что кривые ползучести, определенные испытанием образцов естественной влажности (сплошные линии с кружочками) и в водонасыщенном состоянии (сплошные линии с квадратиками) под действием равных относительных касательных напряжений очень близки. Если учесть, что разброс ($\sim 13\%$) опытных данных соизмерим

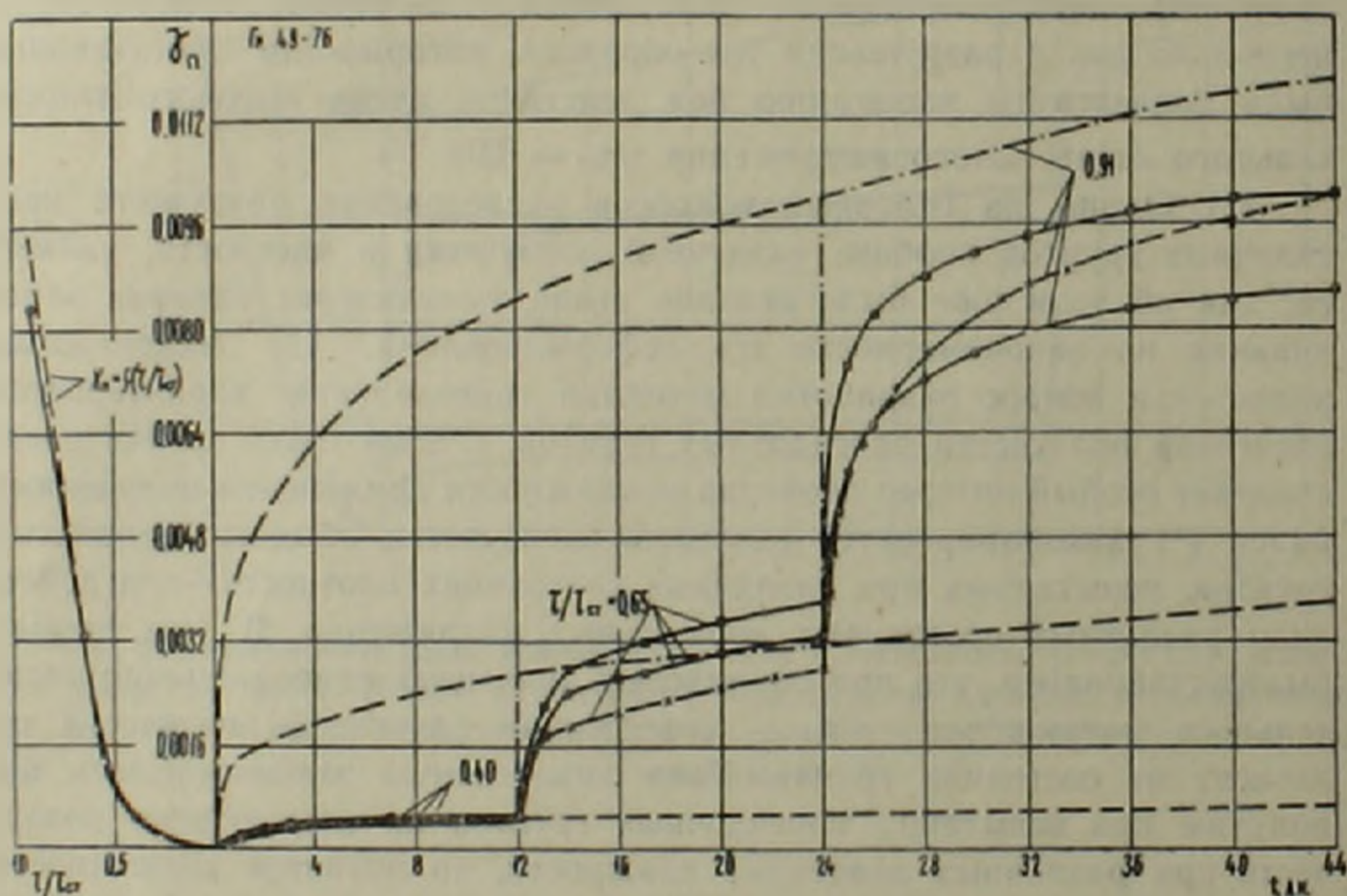


Рис. 3. Экспериментальные кривые ползучести при возрастающих одинаковых ступенях относительных касательных напряжений и зависимости $\gamma_n = f(t/\tau_{ст})$ (сплошные линии) грунта 49—76 ($\sigma_z = 0,3$ МПа) для естественной влажности w_0 (отмечены кружочками) и полного водонасыщения w_s (отмечены квадратиками). Штриховыми линиями показаны их аппроксимация выражениями (8) и (3) соответственно, штрихпунктирной линией — описание процесса ползучести при ступенчато—возрастающей нагрузке по теории старения, а штрих-крестиками — по теории наследственной ползучести

с разницей деформации ползучести, определенных при $w = w_0$ и $w = w_s$, то можно считать их практически равными. Следовательно и в этом случае для определения параметров сдвиговой ползучести можно воспользоваться методикой, изложенной в (⁶).

На самом деле, если закон деформирования просадочного грунта при сдвиге представить выражением (5), то имея меру ползучести $\omega(t)$ и функцию относительного касательного напряжения $f(\tau/\tau_{ct})$ для одной заданной влажности и сопротивления сдвигу для различных состояний влажности грунта, мы сможем, с достаточной для практики точностью, построить кривые ползучести для других состояний влажности. Очевидно, что если располагать данными сопротивления грунта сдвигу для различных его состояний влажности можно будет по выражению (5) определить кривые ползучести не только для других состояний влажности, но и для других значений нормального напряжения σ_z (°).

Для определения параметров сдвиговой ползучести грунта по приближенному методу (°) на левой части рис. 3 построена кривая $\gamma_n = f(\tau/\tau_{ct})$ для $w=w_0$, она аппроксимирована (штриховая линия) выражением вида (3), где $B=0,0138$ и $n=3,52$ и получено выражение функции относительного касательного напряжения вида (4). Затем, воспользуясь результатом описания экспериментальной кривой ползучести (определенной при $\tau/\tau_{ct}=0,4$) степенной функцией, получены выражения меры ползучести вида (6), где $A=0,0064$, $m=0,26$ и деформации ползучести вида (5):

$$\gamma_n(t) = 0,0064 \cdot t^{0,26} (\tau/\tau_{ct})^{3,52}. \quad (8)$$

По выражению (8) построены кривые ползучести для $\tau/\tau_{ct} = 0,4, 0,65$ и $0,91$ (на правой части рис. 3 показаны штриховыми линиями) и, на их основании, осуществлена (графическим методом) (°) аппроксимация экспериментальной кривой определенной при естественной влажности грунта в условиях ступенчатого возрастания относительного касательного напряжения теорией старения (штрихпунктир) и наследственной ползучести (штрикрестик).

Из рис. 3 во-первых следует, что процессы сдвиговой ползучести при ступенчатом возрастании относительного касательного напряжения в обоих состояниях влажности грунта достаточно хорошо аппроксимируются теорией наследственной ползучести и несколько хуже теорией старения. Во-вторых, процессы сдвиговой ползучести можно описать одними и теми же выражениями, которые в различных состояниях влажности грунта будут отличаться друг от друга только величиной стандартного сопротивления сдвигу τ_{ct} .

В заключении считаем необходимым отметить, что для окончательного решения вопроса о справедливости изложенного выше следует испытать на ползучесть различные просадочные грунты по изложенной методике.

Գերհատուղ բնահողերի սողեր սահմանի դեպքում

Հողվածում բերված են բնական խոնավության և ջրահագեցված գերհատուղ բնահողի սահմանի դիմադրության դիագրամները և ցույց է տրված, որ առաջին դեպքում այդ դիագրամը պատկերվում է ուղիղ գծով, իսկ երկրորդ դեպքում բեկյալով: Վերջինիս գագաթին համապատասխանող նորմալ լարումը հավասար է այն լարմանը, որի ազդեցության դեպքում գերհատուղիության գործակիցը ստանում է իր առավելագույն արժեքը:

Հետազոտված է բնական խոնավության գերհատուղ բնահողի սողեր սահմանի դեպքում: Կատարված է սողերի կորերի բնտանիքի գրանցումը: Ողջի փորձարկումներից հետո նմուշների ջրահագեցման միջոցով պարզարանված է դրանց չափազանց մեծ ազդեցությունը գերհատուղ բնահողերի սողերի վրա:

Փորձարկված են բնական խոնավության և ջրահագեցված գերհատուղ բնահողի նմուշները աստիճաններով աճող միևնույն հարարերական շոշափող լարումների ազդեցության ներքո: Ցույց է տրված, որ միևնույն հարարերական շոշափող լարմանը համապատասխանող սահմանի ձևափոխությունները գործնականորեն հավասար են իրար: Օգտագործելով այդ օրինաչափությունը բնահողի խոնավության տարրեր վիճակնհերում որոշված սողերի կորերը դրանցվել են սողերի ծերացման և ժառանգականության տեսությունների միևնույն առնչություններով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Б. И. Циунчик, «Известия вузов», Строительство и архитектура, № 6, с. 40—46, 1961. ² А. А. Мустафеев, С. К. Алиев, Вопросы прочности и несущей способности просадочных грунтов, Стройиздат, М., 1969. ³ С. Р. Месчян, Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения, «Недра», М., 1974. ⁴ И. Я. Денисов, О природе прочности глинистых пород, Изд. Минречфлота СССР, М., 1961. ⁵ В. И. Крутой, Расчет фундаментов на просадочных грунтах, Стройиздат, М. ⁶ С. Р. Месчян, «Известия вузов», Строительство и архитектура, № 2, с. 172—176, 1976. ⁷ А. А. Ничипорович, Сопротивление связных грунтов сдвигу при расчете гидротехнических сооружений на устойчивость, Стройиздат, М., 1948. ⁸ С. Р. Месчян, ДАН АрмССР, т. 53, № 3 (1971). ⁹ Ю. И. Работнов, Ползучесть элементов конструкций, «Наука», М., 1976.

УДК 550.388.2

ГЕОФИЗИКА

Ю. С. Варданян

Многослойная модель околоземного космического пространства

(Представлено чл.-корр АН Армянской ССР Г. С. Саакяном 8/VI 1977)

В настоящей работе предложена многослойная модель околоземного космического пространства, в которой атмосфера, слои E и F ионосферы и магнитосфера представляются соответственно слоями нейтрального газа, нейтрального газа с примесью заряженных частиц и идеально проводящей плазмы. В рамках этой модели во всем пространстве рассчитаны токи, электромагнитное поле и возмущение плотности заряженных частиц в E и F -слое, обусловленное мелкомасштабным движением нейтрального газа в E -слое ионосферы (¹).

Малость характерного размера изучаемого явления по сравнению с радиусом Земли позволяет сформулировать плоскую задачу для следующей многослойной системы, симметричной относительно оси $z=0$ (рис. 1); слой бесконечно проводящей плазмы (магнитосфе-

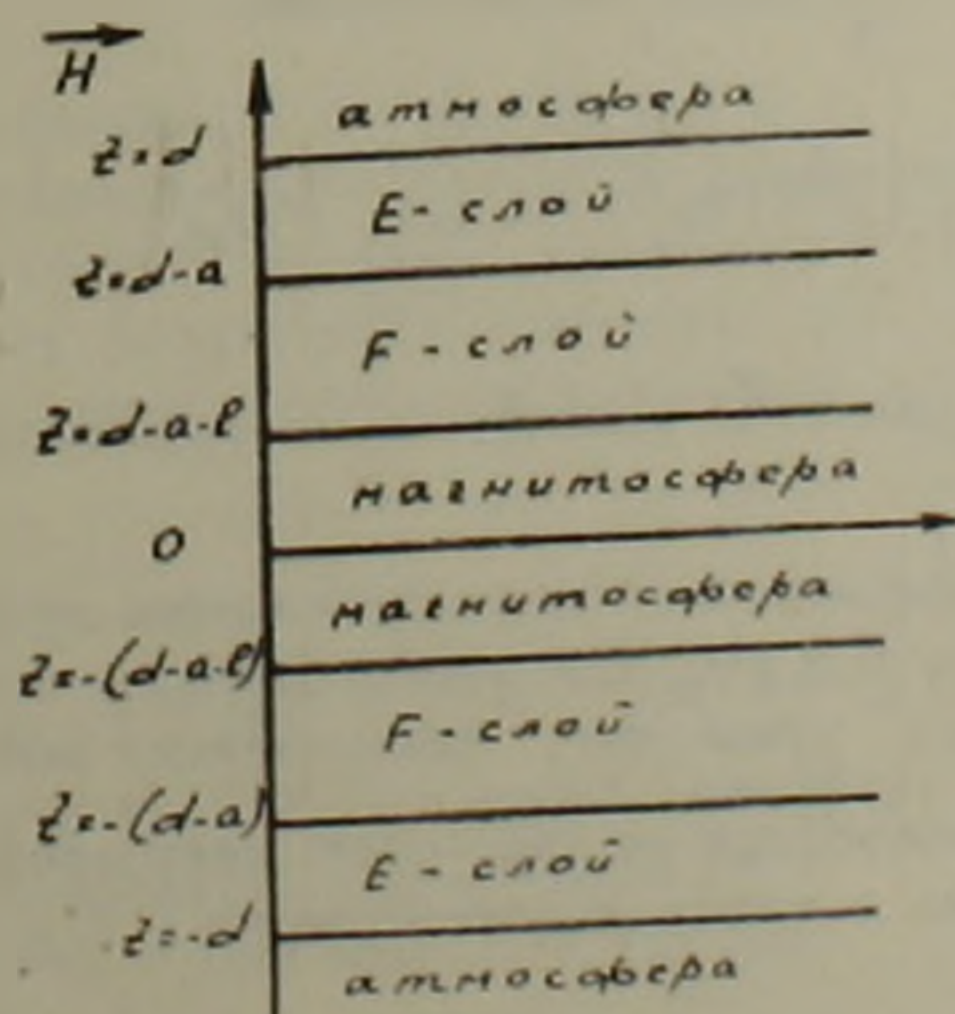


Рис. 1

ра) расположен между поверхностями $z = \pm(d-a-l)$ и соприкасается со слабоионизированным газом, заполняющим промежуток $d-a-l \leq |z| \leq d$.

Плоскости $z = \pm d$ представляют собой границу между слабоионизированным и нейтральным, непроводящим газом, окружающим систему. E и F ионосферные слои отделяются плоскостями $z = \pm(d-a)$.

Если имеется магнитное поле $\vec{H}$, перпендикулярное границам раздела, то горизонтальные движения нейтрального газа в слое E , благодаря явлению динамо, приведут к появлению электрических полей и токов, текущих по электропроводным слоям системы. При этом учитывается сила тяжести заряженных компонент, изменение концентраций нейтральных и заряженных частиц с высотой во всем ионосферном слое.

Рассмотрим медленное горизонтальное движение нейтрального газа в слое E со скоростью $\vec{W}$. Такое движение может быть вызвано неравномерным нагревом атмосферы, при котором возникают образования типа бенаровских ячеек (^{2,3}). Тогда линеаризованные уравнения стационарного движения ионов и электронов для E и F -слоев, где определяющим фактором является взаимодействие с нейтрами, будут иметь вид:

$$\begin{aligned} e \left\{ -\nabla \psi_1 + \frac{1}{c} [\vec{V}_I \vec{H}] \right\} &= \gamma_{in}(\vec{v}_I - \vec{W}) + m_i g, \\ -e \left\{ -\nabla \psi_1 + \frac{1}{c} [\vec{v}_e \vec{H}] \right\} &= \gamma_{en}(\vec{v}_e - \vec{W}) + m_e g; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} e \left\{ -\nabla \psi_2 + \frac{1}{c} [\vec{v}_I \vec{H}] \right\} &= \gamma_{in} \vec{v}_I + m_i g, \\ -e \left\{ -\nabla \psi_2 + \frac{1}{c} [\vec{v}_e \vec{H}] \right\} &= \gamma_{en} \vec{v}_e + m_e g. \end{aligned} \quad (2)$$

Скорость нейтралов $\vec{W}$ удовлетворяет уравнению непрерывности $\text{div } \vec{W} = 0$.

Поскольку ниже использована та же схема задачи и те же граничные условия, что и в (¹), нет необходимости останавливаться на получении основных уравнений, связывающих потенциал электрического поля ψ в ионосфере со скоростью нейтралов $\vec{W}$.

Для потенциала ψ имеем соответственно в E и F -слое следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \psi_{1xx}^+ + \psi_{1yy}^+ + \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(1+\lambda_i\lambda_e)} \psi_{1xz}^+ - \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(1+\lambda_i\lambda_e)} (\text{sgnz}/H_n - N_z/N) \psi_{1z}^+ = \\ = \Lambda \frac{H}{c} \text{rot } \vec{W} - g \frac{H}{c} (1/H_n - \text{sgnz} N_z/N) \left(\frac{1}{\gamma_{in}} - \frac{1}{\gamma_{en}} \right) \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(\lambda_i + \lambda_e)(1+\lambda_i\lambda_e)}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \psi_{2xx}^+ + \psi_{2yy}^+ + \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(1+\lambda_i\lambda_e)} \psi_{2xz}^+ - \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(1+\lambda_i\lambda_e)} (\text{sgnz}/H_n - N_z/N) \psi_{2z}^+ = \\ = -g \frac{H}{c} (1/H_n - \text{sgnz} N_z/N) \left(\frac{1}{\gamma_{in}} - \frac{1}{\gamma_{en}} \right) \frac{(1+\lambda_i^2)(1+\lambda_e^2)}{(\lambda_i + \lambda_e)(1+\lambda_i\lambda_e)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\lambda_{i,e} = \frac{eH_z}{m_{i,e}c} \frac{1}{\gamma_{i,e,n}}$ — разные в (3) и (4) из-за неоднородности ионосферы, $\gamma_{i,e,n} = \gamma_{i,e,0} e^{-1/H_n(d-|z|)}$ — коэффициент трения для электронов (ионов), $H_n = kT/m_n g$; α — коэффициент рекомбинации положительных ионов с электронами в E -слое, $r = \alpha_r N N_n$, $q = q_0 e^{-1/H_n(d-|z|)}$ — соответственно коэффициент прилипания электронов к нейтральным молекулам и чепменовское распределение скорости ионизации в F -слое, $N_n = N_0 e^{-1/H_n(d-|z|)}$ — плотность нейтральных молекул. Множитель $\Lambda = 1$ при ковращении и $\Lambda = -\text{sgn } z$ при антивращении.

Случай антивращения. Когда движение нейтрального газа в торцах ячейки (соответствующее движению нейтралов в E -слое северного и южного полушарий) противоположно, для потенциала электрического поля ψ_2 имеем следующие граничные условия:

$$\psi_2 = 0 \quad \text{при} \quad z = \pm(d-a-l)$$

на границе F -слоя ионосферы и магнитосферы, и $\psi_1 = \psi_2$, $j_z^E = j_z^F$ при $z = \pm(d-a)$ на границе между E и F ионосферными слоями,

$$j_z^F = 0 \quad \text{при} \quad z = \pm d$$

на границе ионосферы и атмосферы (¹).

Случай ковращения. Когда движение нейтрального газа в торцах ячейки (соответствующее движению нейтралов в E -слое северного и южного полушарий) одинаково, для потенциала электрического поля ψ имеем следующие граничные условия:

$$j_z^F = 0 \quad \text{при} \quad z = \pm(d-a-l)$$

на границе F -слоя ионосферы и магнитосферы;

$$\psi_1 = \psi_2 \quad \text{и} \quad j_z^E = j_z^F \quad \text{при} \quad z = \pm(d-a)$$

на границе между E и F -слоями ионосферы и $j_z^E = 0$ при $z = \pm d$

на границе ионосферы и атмосферы (¹).

Решениями уравнений (1) и (2) для

$$\vec{W}_n = \{\Lambda W_0/k_1 \sin k_1 x \cdot \sin k_2 y, \Lambda W_0/k_2 \cos k_1 x \cdot \cos k_2 y\}$$

—Фурье-разложения W_x и W_y по координатам x и y , удовлетворяющие уравнению $\text{div } \vec{W}_n = 0$ при $N = N_0 e^{(1/H_n)(d-|z|)}$ — концентрациях заряженных частиц и $1 \ll \lambda_l \ll \lambda_e$ будут соответственно,

$$\psi_1 = \Lambda \left[A_1 \exp(u_1 \Phi(t)) + A_2 \exp(-u_1 \Phi(t)) + \frac{H_z}{c} \frac{W_0}{k_1 k_2} \right] \cdot F + \bar{\psi}_1,$$

$$\psi_2 = [B_1 \exp(u_1 \Phi(t)) + B_2 \exp(-u_1 \Phi(t))] \cdot F + \bar{\psi}_2$$

здесь использованы обозначения

$$\Phi(t) = e^{-at}, \quad u = \left(\frac{1}{H_n} + \frac{1}{H_n^0} \right),$$

$$F = \sin k_1 x \cdot \cos k_2 y, \quad t = d - |z|,$$

$$u_1 = \frac{H_n H_n^0}{(H_n + H_n^0)} \cdot \frac{k}{\sqrt{z_1 \gamma}},$$

где

$$z_1 = \frac{eH}{m_l c} \cdot \frac{1}{\gamma_{l0}}, \quad \gamma = \frac{eH}{m_e c} \cdot \frac{1}{\gamma_{e0}}.$$

$\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2$ — потенциалы фона, возникающие вследствие силы тяжести,

$$\bar{\psi}_1(z) = A_3(B_3) e^{u|z|} + A_4(B_4) + g \frac{Hz}{c} \left(\frac{1}{\gamma_{l0}} - \frac{1}{\gamma_{e0}} \right) \frac{|z|}{(z_1 + \gamma)};$$

необходимо отметить, что параметры

$$1/H_n, 1/H_n^0, z_1 = \frac{eH}{m_l c} \cdot \frac{1}{\gamma_{l0}}, \quad \gamma = \frac{eH}{m_e c} \cdot \frac{1}{\gamma_{e0}},$$

имея одинаковые обозначения, различные в E и F — слое.

Постоянные A_i и B_i определяются из соответствующих граничных условий, а коэффициенты потенциала — фона (поля, соответствующего $\vec{W}_n = 0$) из условий непрерывности потенциала и нормального тока на границах раздела.

Компоненты тока $\vec{j} = eN(\vec{v}_l - \vec{v}_e)$ выраженные через потенциалы ψ_1 и ψ_2 имеют следующий вид;

$$j_x^E \cdot \frac{H_z}{eNc} = (\lambda_l + \lambda_e) \left[-(\lambda_l \lambda_e)^{-1} \psi'_{1x} + (\lambda_e - \lambda_l)(\lambda_l \lambda_e)^{-2} \psi'_{1y} + \right. \\ \left. + \Lambda \frac{H_z}{c} \cdot \frac{(\lambda_e - \lambda_l)}{(1 + \lambda_l^2)(1 + \lambda_e^2)} W_x + \Lambda \frac{H_z}{c} \cdot \frac{(1 + \lambda_l \lambda_e)}{(1 + \lambda_l^2)(1 + \lambda_e^2)} W_y \right],$$

$$j_y^E \cdot \frac{H_z}{eNc} = (\lambda_l + \lambda_e) \left[(\lambda_l - \lambda_e)(\lambda_l \lambda_e)^{-2} \psi'_{1x} - (\lambda_l \lambda_e)^{-1} \psi'_{1y} + \right. \\ \left. + \Lambda \frac{H_z}{c} \cdot \frac{(\lambda_e - \lambda_l)}{(1 + \lambda_l^2)(1 + \lambda_e^2)} W_y - \Lambda \frac{H_z}{c} \frac{(1 + \lambda_l \lambda_e)}{(1 + \lambda_l^2)(1 + \lambda_e^2)} W_x \right],$$

$$j_z^E \cdot \frac{H_z}{eNc} = -(\lambda_i + \lambda_e) \psi_{1z}' + \operatorname{sgn} z g/e(m_i \mu_i - m_e \mu_e),$$

$$j_x^F \cdot \frac{H_z}{eNc} = (\lambda_i + \lambda_e) [-(\lambda_i \lambda_e)^{-1} \psi_{2x}' + (\lambda_e - \lambda_i)(\lambda_i \lambda_e)^{-2} \psi_{2y}'],$$

$$j_y^F \cdot \frac{H_z}{eNc} = (\lambda_i + \lambda_e) [(\lambda_i - \lambda_e)(\lambda_i \lambda_e)^{-2} \psi_{2x}' - (\lambda_i \lambda_e)^{-1} \psi_{2y}'],$$

$$j_z^F \cdot \frac{H_z}{eNc} = -(\lambda_i + \lambda_e) \psi_{2z}' + \operatorname{sgn} z g/e(m_i \mu_i - m_e \mu_e);$$

вертикальный ток в магнитосфере при антивращении $j_z^M = j_z' \big|_{z=-z(d-a-l)}$ и создаваемые ими магнитные поля определяются из уравнения $\operatorname{rot} \vec{H} = 4\pi/c \vec{j}$.

Плотности возмущений концентраций заряженных частиц n_i и n_e в E и F -слое ищем соответственно из уравнений

$$\operatorname{div} \vec{N} \vec{v}_i = -\alpha(n_i + n_e), \quad -\Delta \psi_1 = 4\pi e(n_i - n_e)$$

и

$$\operatorname{div} \vec{N} \vec{v}_e = q - r, \quad -\Delta \psi_2 = 4\pi e(n_i - n_e),$$

где $N = q/a_r N_n$. Электроны как бы прилипают к нейтральным атомам с коэффициентом прилипания, линейно зависящим от концентраций нейтральных частиц (в действительности реакция прилипания в слое F отсутствует).

Проведенные расчеты мелкомасштабного динамо позволяют представить целостную картину распределения электрических полей и токов как в ионосфере, так и в магнитосфере. При этом эл. поля, вследствие высокой проводимости вдоль геомагнитных силовых линий, распространяются из одной высоты на другую и сильно воздействуют на ионосферу.

Существенное отличие рассмотренной модели от реальной газовой оболочки Земли связано с использованием однородного магнитного поля и резких границ между разными областями. Поэтому можно ожидать соответствия только с точностью до порядка физических величин и только на тех широтах, где горизонтальная составляющая поля мала по сравнению с вертикальной, но в то же время силовые линии остаются замкнутыми.

Численные значения физических величин при реальных параметрах ионосферы. Пусть $d = 4 \cdot 10^4$ км, размер ячейки $l_1 = 200$ км, амплитуда скорости ветра $W_0/k = 200$ м/сек, толщина E -слоя $a = 20$ км, F -слоя $l = 400$ км. Ионная и нейтральная компоненты в E и F -слое состоят соответственно из O_2^+ , O_2 и O^+ , O . Температура нейтралов T_n принимается 300°K в E -слое и 1000°K в F -слое, $q_0 = 10^3$ см $^{-3}$ /сек, $a_r = 10^{-13}$ см 3 /сек, $\alpha = 10^{-7}$ см 3 /сек. Аппроксимируя эксперименталь-

ную кривую для концентраций заряженных частиц, взятую из (6) формулой $N = N_0 e^{m(x-1.5)}$ (для более точных результатов следует ионосферу делить на несколько слоев с различными показателями экспоненты и решить решения), рассчитаем поля, токи, возмущения плотности заряженных частиц.

При этих условиях получим $E_x^E = 10^{-7}$, $E_y^E = 10^{-8}$, $E_z^E = 10^{-8}$ в/см, $j_x^E = 10^{-10}$, $j_y^E = 10^{-10}$, $j_z^E = 10^{-11}$ а/см², $E_x^F = 10^{-8}$, $E_y^F = 10^{-9}$, $E_z^F = 10^{-10}$ в/см, $j_x^F = 10^{-11}$, $j_y^F = 10^{-11}$, $j_z^F = 10^{-11}$ а/см², $h_x^E = 0.4$, $h_y^E = 0.2$, $h_z^E = 0.17$, $n_{i,e}^E = 10^2$, $n_{i,e}^F = 10$, при тех же параметрах в условиях ковращения возникают поля, токи и возмущения концентраций, намного меньшие приведенных значений для антивращения.

Таким образом, если условия в сопряженных точках северного и южного полушарий неодинаковы, определенная часть тока замыкается через магнитосферу и перестраивает верхние слои ионосферы. Причем магнитосферные токи малы по сравнению с ионосферными. Заметим, что эл. поля с высотой затухают в зависимости от горизонтальных размеров поля. Поля достаточно большой протяженности передаются на большие высоты без затухания.

Автор признателен Б. А. Тверскому за обсуждение результатов.

Институт радиопизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

ՅՈՒ. II. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Արձանագրության տիեզերական տարածության բազմաշերտ մոդել

Աշխատանքում առաջարկված է մերձերկրյա տիեզերական տարածությունը բազմաշերտ մոդել, որտեղ մթնոլորտը, իոնոլորտի E և F շերտերը ու մագնիսոլորտը դիտարկվում են համապատասխանաբար որպես շերտեր զաղ, շերտեր զաղի ու լիցքավորված մասնիկների խտնությունը և իզնալական հազորդիչ պլազմայի շերտեր: Հաշվված են հոսանքները և էլեկտրամագնիսական դաշտերը: Հաշվված են նաև իոնոլորտի E շերտի շերտի զաղի փոքր մասշտաբի շարժումներով պայմանավորված լիցքավորված մասնիկների խտությունների գրգռումները:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱՇԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Л. М. Алексеева, Ю. С. Варданян, Б. А. Тверской. Геомагнетизм и аэрономия, 3, 437, 1969.
- ² S. Chandrasekhar. Proc. Roy. Soc., 217A, 306 1953.
- ³ Б. А. Тверской. Геомагнетизм и аэрономия, 1, 639, 1961.
- ⁴ L. P. Block, C. - G. Fälthammar. J. Geophys. Res., 73, August 1.
- ⁵ Ю. С. Варданян. Геомагнетизм и аэрономия, 3, 518, 1973.
- ⁶ Околоземное космическое пространство, Справочные данные, "Мир", 1966.

УДК 550 : 311

ГЕОФИЗИКА

С. Ц. Акопян

О поправках за динамический модуль сдвига для фазовых и групповых скоростей поверхностных волн

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 12/VII 1977г)

1. В работах (^{1,2}) при построении моделей Земли привлекаются как данные по объемным волнам, так и по собственным колебаниям и поверхностным волнам.

В (^{3,4}) обращено внимание на то, что модели неупругой Земли зависят от частоты. Из-за диссипации статический модуль сдвига земных недр становится динамическим $\mu_d(\omega)$, который будет разным для объемных волн (периоды ~ 1 сек), поверхностных волн и собственных колебаний (периоды от десятков секунд до 54 мин). Отличие динамического модуля от его статического значения для слоев Земли с пониженными значениями диссипативной функции Q , достигает нескольких процентов. Без учета поправки за динамический модуль нельзя сравнивать модели Земли, построенные по данным объемных волн, с моделями, построенными по поверхностным волнам и собственным колебаниям.

Эта поправка для спектра собственных частот рассчитана в (⁴) (за основу расчета были взяты модели пробных распределений Q с глубиной (⁵)), целью настоящей работы является введение этой поправки в фазовые и групповые скорости поверхностных волн Лява и Релея.

2. Введем динамический модуль сдвига с помощью логарифмической функции Ломнитца (⁶), дающую слабую зависимость Q от частоты, тогда поправка за динамический модуль сдвига в слое Земли с заданным Q_{il} (l — номер слоя) в рассматриваемом интервале частот может быть вычислена с помощью формулы (¹)

$$\Delta\mu_d(\omega) = - \frac{2\mu_0 l}{\pi Q_{il}} \ln \frac{\omega_0}{\omega}, \quad (1)$$

где $\omega_0 = 2\pi$ — частота объемных волн, соответствующая периоду $T = 1$ сек. За исходную принимается модель Земли, построенная по объемным

полнам ($T \sim 1$ сек), а динамический модуль $\mu_1(\omega)$ для длиннопериодных колебаний отсчитывается от этой высокочастотной модели.

Изменение частоты за динамический модуль сдвига находится с помощью теории возмущений по малому параметру $\Delta\mu_1(\omega)/\mu_0$ и для крутильных колебаний запишется в виде

$$\Delta\omega_{(s)} = -\frac{\bar{c}_{(s)}}{a} \frac{2}{\pi} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(s)}} \sum_i K_{pi}^{(s)} Q_{pi}^{-1}, \quad \bar{c}_{(s)} = (\bar{\mu}/\bar{\rho})^{1/2}, \quad (2)$$

а для сферондальных —

$$\Delta\omega_{(s)} = -\frac{\bar{c}_{(s)}}{a} \frac{2}{\pi} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(s)}} \sum_i K_{pi}^{(s)}. \quad (3)$$

В (2), (3) номер колебания n и номер обертона j опущены, a — радиус Земли, $\bar{\rho}$, $\bar{\mu}$, $\bar{K}$ — некоторые нормирующие значения плотности, модуля сдвига и модуля сжатия, $K_{pi}^{(s)}$ — укрупненные значения $k_{pi}^{(s)}$ (⁷).

Формулы (2), (3) удобно записать в виде:

$$\Delta\omega_{(t,s)} = -\frac{\omega_{(t,s)}}{\pi Q_{(t,s)}} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(t,s)}}, \quad (4)$$

где $Q_{(t,s)}$ — диссипативная функция крутильного и сферондального колебания

$$Q_{(t,s)}^{-1} = \frac{\bar{c}_{(t,s)}}{a} \frac{2}{\omega_{(t,s)}} \sum_i K_{pi}^{(t,s)} Q_{pi}^{-1}. \quad (5)$$

Соответствующее изменение периодов легко определить по формуле

$$\Delta T_{(t,s)} = \frac{T_{(t,s)}}{\pi Q_{(t,s)}} \ln T_{(t,s)}. \quad (6)$$

Используя формулы, связывающие частоты собственных колебаний с фазовой скоростью волн Лява (c_L) и Релея (c_R) (⁷), легко получаем

$$\Delta c_{(L,R)} = -\frac{c_{(L,R)}}{\pi Q_{(t,s)}} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(t,s)}}, \quad c_{(L,R)} = \frac{a}{n+1/2} \omega_{(t,s)}. \quad (7)$$

Поправки групповых скоростей поверхностных волн за динамический модуль сдвига найдем с помощью теории возмущений (⁸)

$$\Delta U_{(L,R)} = \bar{c}_{(t,s)} \sum_i k_{pi}^{(t,s)} \Delta\mu_1 = -\frac{2\bar{c}_{(t,s)}}{\pi} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(t,s)}} \sum_i \mu_0 k_{pi}^{(t,s)} Q_{pi}^{-1}. \quad (8)$$

Подставляя выражения для $k_{pi}^{(t,s)}$ (⁸) и используя (5), формулу (8) записываем в виде

$$\Delta U_{(L,R)} = \left(\frac{U_{(L,R)}}{Q_{(L,R)}} + \bar{c}_{(L,R)} A_{(L,R)} \right) \frac{1}{\pi} \ln \frac{\omega_0}{\omega_{(L,R)}}, \quad (9)$$

где

$$A_{(L)} = \frac{2}{x_{0l}} \sum_k (x_{0l}^2 - x_{0k}^2) a_n^{lk} \sum_i \mu_{0l} a_{\mu l}^{lk} Q_{\mu l}^{-1} - \frac{2n_0 + 1}{x_{0l} I_l} \sum_i \mu_{0l} Q_{\mu l}^{-1} \int_{x_{l-1}}^{x_l} z_{1l}^2 dx, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} A_{(R)} = & \frac{2}{x_{0l}} \sum_k (x_{0l}^2 - x_{0k}^2) a_n^{lk} \sum_i \mu_{0l} a_{\mu l}^{lk} Q_{\mu l}^{-1} - \frac{2x_{0l}}{Q_{(s)}} a_n^{ll} + \\ & + \frac{2n_0 + 1}{x_{0l} I_l} \sum_k (x_{0l}^2 - x_{0k}^2) \int_0^1 \rho_0 z_{3l} z_{3k} x^2 dx \sum_i \mu_{0l} a_{\mu l}^{lk} Q_{\mu l}^{-1} + \\ & + \frac{2}{x_{0l} I_l} \sum_i \frac{1}{M_{0l}} \mu_{0l} Q_{\mu l}^{-1} \int_{x_{l-1}}^{x_l} dx \left\{ - \frac{x^2 M_0}{2\mu_0^2 N_1} z_{4l}^2 - N_0 x z_{2l} z_{3l} + \right. \\ & \left. + 2N_1 K_0 z_{1l} z_{3l} - N_1 [2\bar{N}_0 (K_0 - N_0 \mu_0) - 1] z_{3l}^2 \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

(l, k — номера обертонов, x — безразмерная частота).

Из полученных соотношений видно, что поправки в фазовые и групповые скорости волн Лява и Релея такого же порядка, как и в частоты крутильных и сферондальных колебаний и при построении моделей Земли с использованием данных как объемных, так и поверхностных волн нужно вводить эти поправки по формулам (7) — (11).

3. В заключении отметим, что все формулы остаются в силе и при эмпирической теории Футермана ⁽⁹⁾, не имеющей физического механизма затухания.

Действительно, из этой теории следует, что

$$\frac{\mu_d(\omega)}{\mu} = \left(\frac{v_p}{c} \right)^2 \simeq 1 + \frac{\gamma}{\pi Q_0} \ln \frac{\gamma \omega}{\omega_{gr}}, \quad \omega \gg \omega_{gr} \quad (12)$$

где $\ln \gamma = 0,577$, ω_{gr} — некоторая граничная частота.

Отсчитывая поправку за динамический модуль для i — го слоя от значения $\mu_d(\omega)$ при $T = 1$ сек, приходим к формуле (1).

Մակերևսային ալիքների ֆազային և խմբային արագությունների
սահմանի դինամիկ մոդուլի համար մտցվող ուղղումների մասին

Դիսիպացիայի հետևանքով իրերի ընդերքի սահմանի մոդուլը դառնում է դինամիկ $\mu_d(\omega)$, որը կլինի տարբեր ծավալային ալիքների համար (պարբերությունները $\sim 1/\nu$), մակերևսային ալիքների սեփական տատանումների (պարբերությունները տասնյակ վայրկյաններից մինչև 54 րոպե) համար:

Սահմանի դինամիկ մոդուլի համար սեփական տատանումների հաճախականությունների սպեկտրում մտցվող ուղղումները հաշված են նախորդ աշխատանքներում: Տվյալ աշխատանքում դուրս են բերված բանաձևեր, որոնք ներառվորություն են տալիս մտցնել այդ ուղղումները մակերևսային ալիքների ֆազային և խմբային արագությունների մեջ: Այդ ուղղումները պետք է հաշվի առնվեն ծրկրի ընդերքի մոդուլները կառուցելիս, երբ օգտագործվում են ինչպես ծավալային ալիքների, այնպես էլ մակերևսային ալիքների և սեփական տատանումների տվյալները:

Ցույց է տրված, որ ստացված բանաձևերը ուժի մեջ են մնում Ֆուտերմանի էմպիրիկ տեսության համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ A. M. Dziewonski, A. U. Hales, E. R. Lapwood. Phys. Earth. Planet. Inter. 10, 1, 12—48, 1975. ² Don L. Anderson, R. S. Hart, Jour. Geophys. Res. 81, 8, 1461 — 1475, 1976. ³ С. Ц. Акопян, В. Н. Жарков, В. М. Любимов. ДАН АН СССР, т. 223, № 1 (1975).
- ⁴ С. Ц. Акопян, В. Н. Жарков, В. М. Любимов. «Известия АН СССР», Физика Земли, № 10, 1976. ⁵ В. Н. Жарков, Л. И. Дорофеева, В. М. Дорофеев, В. М. Любимов, «Известия АН СССР», Физика Земли, № 12, 1974. ⁶ С. Lomnitz, Jour. Appl. Phys., 28, 2, 201—205 (1957). ⁷ В. Н. Жарков, В. Л. Пиньков, А. А. Калачников, А. И. Оснач, Введение в физику Луны. изд. «Наука», М., 1969. ⁸ С. Ц. Акопян, В. Н. Жарков, В. М. Любимов, «Известия АН СССР», Физика Земли, № 3, 1977. ⁹ W. I. Futterman, Jour. Geophys. Res. 67, 5279 — 5291 (1962).

УДК 551.1.14

ГЕОЛОГИЯ

А. В. Арутюнян

**Особенности влияния водонасыщенности на скорость
продольных волн в различных горных породах
офиолитовых поясов Армении**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. Т. Асляняном 22/VI 1977)

В естественных условиях горные породы, как правило, подвергаются воздействию флюидов, особенно в геосинклинальных областях. В ряде работ (¹⁻⁴ и др.) рассматривается влияние водонасыщенности на скорость упругих волн, главным образом в осадочных, а также магматических горных породах. Измерение скоростей упругих волн производилось методикой, разработанной ранее авторами работы (⁵).

Представляло интерес выяснить влияние водонасыщенности на упругие свойства различных типов горных пород из офиолитовых поясов Армении. Особенно это имеет важное значение для пористых и трещиноватых, а также карбонатных пород. Водонасыщение проводилось способом вакуумирования многократно до постоянного веса. Оно составляло от общей пористости до 10—12% для изверженных и до 20—40% — для карбонатных пород.

Водонасыщение оказывало различное влияние на скорость прохождения продольных волн. При водонасыщении скорость для всех образцов существенно возрастала в условиях атмосферного давления, что объясняется улучшением акустического контакта между зернами и блоками породы. Повышение давления вызывало различное влияние в зависимости от состава и структуры породы на скорость прохождения упругих волн. Для некоторых образцов пород водонасыщение значительно повышало скорость прохождения продольных волн (рис. 1). С ростом давления эффект водонасыщения постепенно падал. Так, повышение скорости в водонасыщенном образце базальта 22—11 (пористость равна 4,06%) по сравнению с естественно сухим, при нормальных условиях, составляет 14%, а при 10 кб—13,1%. Для образца серпентинита АС—1 (пористость равна 2,63%) увеличение скорости прохождения продольных волн за счет водонасыщенности составляет: при нормальных условиях 7,7%, при 5 кб—5,6%, при 15 кб—2,8%. Не-

сколько иные результаты получены для кальцитсодержащего метаморфизованного диабазы—29-3, в котором различие скорости v_p в сухих и водонасыщенных образцах значительно изменяется с ростом давления (рис. 1). При давлении 14—16 кб в сухом и водонасыщенном образцах наблюдается падение скорости, которое, как было указано ранее в ряде работ (Г. и др.), связано с перестройкой структуры кальцита. Разница в значениях скоростей прохождения продольных волн при нормальных условиях составляет 2,7%, при 5 кб—5,5%, при

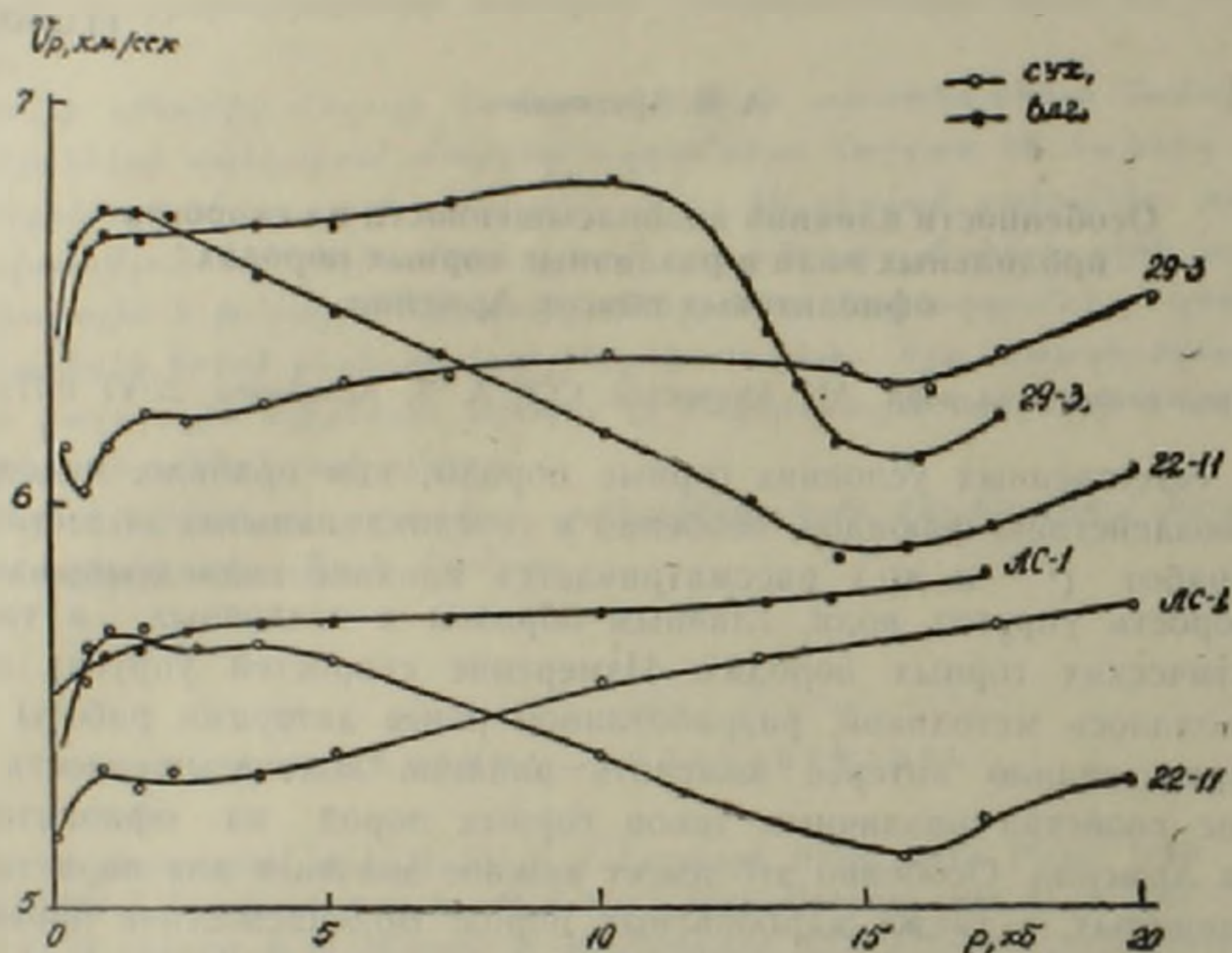


Рис. 1. Зависимость скорости продольных волн от давления в водонасыщенных образцах: (метаморфизованного диабазы)—29—3, (серпентинита)—АС—1, (анальцимового базальта)—22—11

10 кб—7,1%, далее, с повышением давления различие в значениях скоростей в сухих и водонасыщенных образцах сокращается и при давлении 14—16 кб v_p в водонасыщенном образце становится даже на 2% меньше, чем в сухом. Анализ полученных данных позволяет установить, что с повышением давления уменьшается разность скоростей в сухих и водонасыщенных образцах. Это хорошо наблюдается, например, на образце серпентинита АС-1. Этот эффект связан с тем, что насыщением образца водой, не все поры, существующие в породе, заполняются водой. В этом случае при высоких давлениях за счет изменения объема незаполненных пор произойдет уменьшение разности в скоростях в насыщенных и сухих образцах одной и той же породы.

На рис. 2 приведены результаты исследований v_p для образцов, в которых водонасыщение существенно не влияет на скорость про-

хождения продольных волн, что в основном связывается с видом пористости. В породах, в которых нет щелевой пористости, влияние водонасыщения на скорость прохождения продольных волн очень мало. Такого типа поры не были в исследованных образцах этой группы.

В породах третьей группы скорости прохождения продольных волн в водонасыщенных образцах с возрастанием давления снижаются (рис. 3). Для образца лиственита 1336 во всем интервале давлений общее снижение величины v_p составляет около 1200 м/сек (15%).

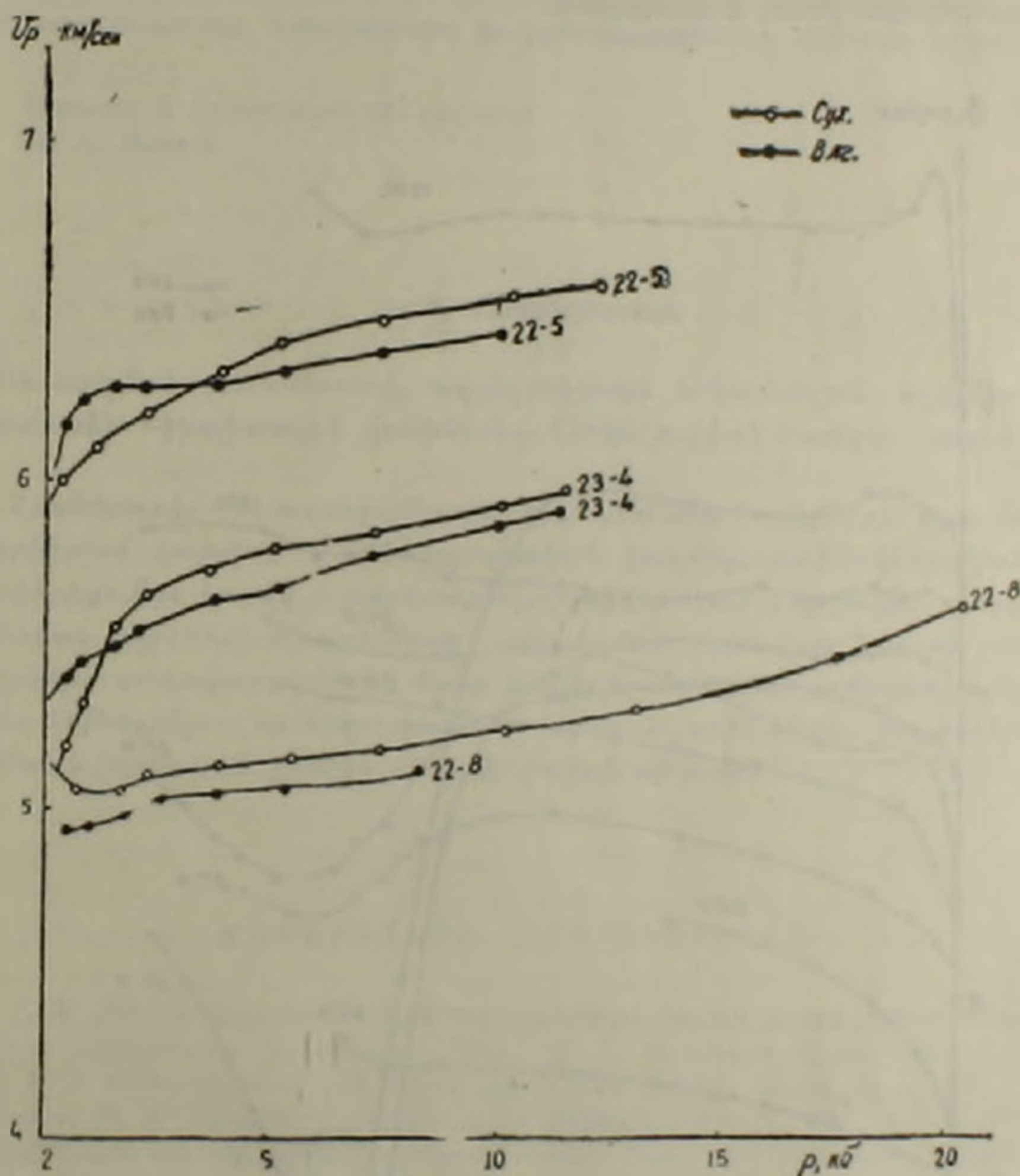


Рис. 2. Изменение скорости продольных волн от давления в водонасыщенных образцах: (анальцитовых базальтов) 22-5 и 22-8. (метаморфизованного габбро) --23-4

Для образца туфопесчаника 27-8 общее падение скорости составляет около 3-5%. Для карбонатных пород 27-4 и 21-4 различие в скоростях v_p при давлениях до 13-14 кб достаточно высокое и достигает 10-11% и 6-7% соответственно. При давлении 14-16 кб, где наблюдается переход: кальцит-I-кальцит-II, для кварцкарбонатной

породы 27—4, различие скоростей небольшое, а для известняка 21—4 скорость v_p в водонасыщенном образце ниже, чем в сухом на 350 м/сек (8%). Снижение скорости v_p для этой группы пород при водонасыщении обусловлено наличием глинистого продукта или цементирующего агрегата, с которыми вода вступает во взаимодействие. При насыщении водой цемент разбухает, ухудшаются акустические контакты между зернами минералов, что приводит к нарушению консолидации и падению скорости. При водонасыщении таких образцов упругие свойства породы резко понижаются.

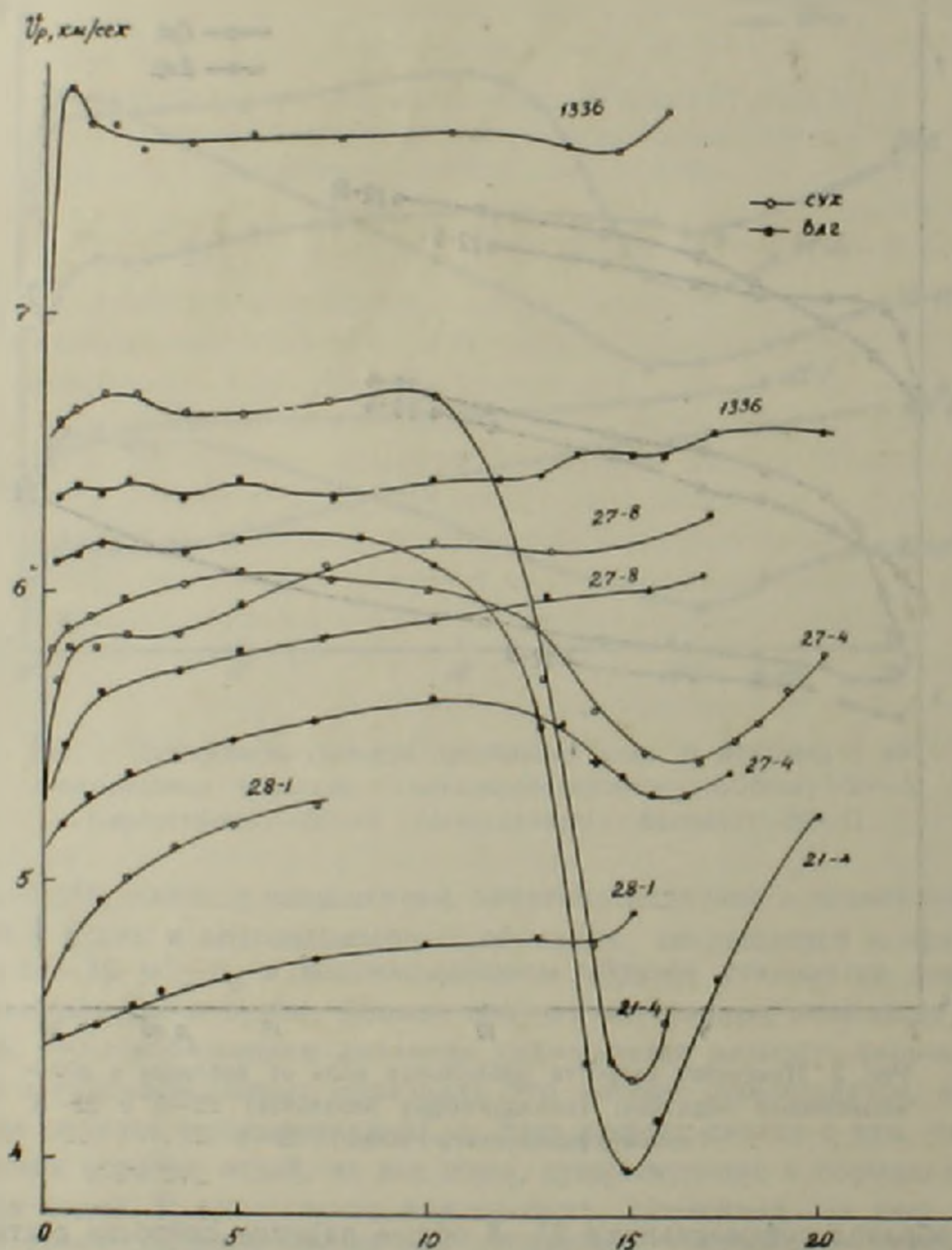


Рис 3 Зависимость скоростей продольных волн от давления в водонасыщенных образцах: (лиственита)—1336, (туфопесчаника)—27—8, (кварцево-карбонатной породы)—27—4, (известковистого песчаника)—28—1, (мраморизованного известняка)—21—4

При увеличении давления процесс разбухания может усиливаться, так как вода при этом проникает в более глубокие поры. Чем больше глинистого продукта, тем более значительные различия наблюдаются в скоростях для сухих и водонасыщенных образцов.

В естественных условиях в глубоких горизонтах земной коры водный режим может меняться, что должно оказывать заметное влияние на скорости прохождения упругих волн. Следовательно, можно предполагать, что некоторые сейсмические границы в земной коре могут быть обусловлены изменением водонасыщенности горных пород.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Ա. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Ջրաներարկման յուրահատուկ ազդեցությունն երկայնական ալիքների վրա
Հայաստանի օֆիոլիտային զոտիներից ներկայացված տարրեր ապարներում

Ջրաներարկման ազդեցությունն երկայնական ալիքների վրա տարրեր ապարներում կախված է միներալոգիական կազմից, ծակոտկենությունից և չափերից: Այն կարող է բարձրացնել, իջեցնել, կամ բոլորովին չազդել երկայնական ալիքների արագության տարածման վրա: Հստ նշվածի լեռնային ապարները դասակարգված են երեք խմբերի: Ստացված տվյալները թույլ են տալիս ենթադրելու, որ երկրակեղևում որոշ սեյսմիկական հարթություններ պայմանավորված են ջրային ուժի մի փոփոխությամբ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Г. М. Авчян, Физические свойства осадочных горных пород при высоких давлениях и температурах, М., «Недра», 1972 ² М. П. Волярович, Е. И. Баюк, Т. М. Сидехли, В. А. Павлиградский, «Известия АН СССР», Физика Земли, № 3, 1965. ³ М. П. Волярович, III А. Балакишев, «Коллоидный журнал», № 4, 33, 1971 ⁴ Т. С. Лебедев, Д. В. Корниец, Сб. «Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах», Киев, «Наукова думка», 1974 ⁵ М. П. Волярович, А. И. Левыкин, И. Е. Галдин, ДАН СССР, № 6, 157 (1964). ⁶ Е. И. Баюк, М. П. Волярович, Г. А. Ефимова, «Известия АН СССР», Физика Земли, № 8, 1974 ⁷ А. И. Левыкин, А. В. Арутюнян, ДАН Арм. ССР, т. 59, № 2 (1974)

УДК 551.76

СТРАТИГРАФИЯ

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. А. Габриелян
Р. А. Хоренян

О возрасте и стратиграфическом положении толентовых вулканитов Базум-Зангезурской тектонической зоны (Армянская ССР)

(Представлено 26/V 1977)

В разрезах мезозойского комплекса вулканогенно-осадочных образований Базумского, Цахкуняцкого и Зангезурского блок-антиклинорных поднятий (Базум-Зангезурская тектоническая зона) значительное место занимают различного состава вулканиты толентового типа, известные в литературе под названиями апаранской (агверанской), базумской и гехинской (Зангезур) свит. Исследование вулканитов отмеченных тектонических блоков, проведенное Р. А. Хоренян, указывает на значительное сходство их вещественного состава, в целом однотипность поствулканических преобразований и принадлежность к известково-щелочной (тихоокеанской по классификации А. Ритмана) серии пород с пониженной, натриевой щелочностью (^{1,2}).

Это темно-серые, темно-зеленые, плотные, массивные, зеленокаменноизмененные породы (пропилитовая фация метаморфизма), представленные диабазовыми, базальтовыми, андезито-базальтовыми, андезитовыми порфиритами при преобладающей роли андезито-базальтовых порфиритов. Отмеченные породы встречаются преимущественно в эффузивной и субвулканической фациях. Эксплозивные разности встречаются реже и характеризуются средне-кислым составом. Обломочные разности представлены туфами агломератовой, псефитовой, алевроитовой, псамитовой и пелитовой размерностей. В зонах разломов указанные магматические образования сильно раздроблены, милонитизированы, брекчированы и окрашены в оранжевый и коричневый цвета.

В Зангезуре (бассейн р. Гехи район сел. Шишкерт) пирокласты преобладают в нижней части разреза, а в Цахкуняцком массиве они залегают как в основании свиты, так и в ее верхах. Свита вулканитов, мощность которой в Зангезуре свыше 1 км, на Цахкуняцком блоке свыше 2 км, а на Базумском поднятии около 300 м, в целом пронизана многочисленными дайками и пластовыми интрузиями основного, сред-

него и кислого составов. Рассматриваемые вулканогенные образования подвержены пропилитовой стадии метаморфизма. Выделяются высоко-температурная пропилитизация, характеризующаяся следующей ассоциацией минералов—альбит, серицит, эпидот, актинолит, уралит, и средненизкотемпературная—халцедон, кварц, хлорит, эпидот, карбонат.

Общая петрографическая характеристика вулканитов Цахкуняцкого и Зангезурского блоков приведена в таблице.

Описываемые вулканические образования разными исследователями были отнесены к палеозою, юре, позднему мелу, эоцену (³). Однако за последние годы получены новые геологические и палеонтологические данные, которые позволяют более точно определить их возраст и стратиграфическое положение.

Данные эти следующие:

1. На Цахкуняцком блоке образования рассматриваемой вулканогенной свиты резко несогласно перекрывают различные горизонты пород рифейского метаморфического комплекса и трансгрессивно покрываются базальными слоями коньякского яруса позднего мела. Это свидетельствует об их пострифейском и доконьякском возрасте. Для более точного решения вопроса имеются петрографические и радио-логические данные. Установлено единство геологической позиции, отчетливые черты преемственности в вещественном составе, а так же и степень их метаморфизма, что позволяет рассматривать апаранскую вулканогенную свиту и Гехаротский интрузив как эффузивную и интрузивную фацию единого самостоятельного вулcano-плутонического комплекса (^{1,2}).

Указанный тоналитовый интрузивный массив прорывает апаранскую вулканогенную свиту и по радио-логическим данным (127 ± 5 млн. лет) датируется как раннемеловой.

2. В Зангезуре вулканиты (гехинская свита) согласно подстилаются свитой известняков (зейвинская, хуступская свита), неокомский возраст которой (поздний валанжин—баррем) устанавливается руководящей фауной аммонитов и рудистов (аналоги ургонской фации Западной Европы). В ущелье р. Гехи вулканиты трансгрессивно с базальными конгломератами в основании перекрываются поздне-меловыми (коньяк-сантонскими) известняками.

В районе с. Шишкерт в составе Гехинской вулканогенной свиты имеются мощные пачки туфопесчаников и полимиктовых конгломератов, в гальках которых участвуют окатанные обломки пермских, девонских, юрских и неокомских пород. По своему петрографическому составу и стратиграфическому положению она, несомненно, соответствует фаунистически охарактеризованным аптским образованиям басс. р. Воротан (⁴).

Здесь на юго-западном крыле Кафанского антиклинория, по данным В. Т. Акопяна ранний апт представлен свитой вулканогенно-осадочных образований с аммонитовой фауной, а поздний апт лежит несогласно на раннем и выражен вулканогенной фацией—окузаратская свита порфиритов и их пирокластов (⁴).

Краткая петрографическая характеристика вулканогенных образований гехинской свиты

Порода		Долеритовые, диабазовые порфириты (Шахуняцкий блок)	Андезито-базальтовые порфириты (Шахуняцкий блок)	Андезито-базальтовые порфириты (Зангезурский блок)	Долеритовые, диабазовые порфириты (Базумский блок)	Андезито-базальтовые порфириты (Базумский блок)
Главные минералы	вкрапленники	Плагноклаз—22 %, № 88—66; ангит—16 %, CNg—44°, 2V=60° (ядро), 2V=54° (край), Ng = 1,706, Nr = 1,680	Плагноклаз — 21 %, № 60 — 43,0,25; ангит—10 %, CNg=48°, 2V=57°, Ng = 1,707, Nr=1,682	Плагноклаз — 25 %, № 73—43,0,50; цветной минерал (реликты) — 12 %	Плагноклаз—17 %, № 75—60; ангит—10 %, CNg=43°, 2V=56°; магнетит—3 %	Плагноклаз — 17 %, № 50 — 40,0,75 цветной минерал (реликты)—10 %, магнетит — 2 %
	основная масса	Плагноклаз, ангит, магнетит.	Плагноклаз, ангит, магнетит, кварц.	Плагноклаз, раскристаллизованное стекло, магнетит.	Плагноклаз, ангит, магнетит.	Плагноклаз, раскристаллизованное стекло, магнетит.
Текстура и структура		Массивная, миндалекаменная, порфировая; основная масса долеритовая; призматически зернистая.	Массивная, порфировая; основная масса интерсертальная, апогналлопидовая, флюидальная.	Массивная, миндалекаменная, порфировая, основная масса апогналлопидовая, интерсертальная.	Массивная, миндалекаменная, порфировая; основная масса долеритовая, апогналлопидовая.	Массивная, миндалекаменная, порфировая; основная масса апогналлопидовая
Вторичные минералы		Хлорит, карбонат, кварц, актинолит, альбит.	Серицит, эпидот, актинолит, кварц, уралит.	Хлорит, карбонат, серицит, кварц.	Хлорит, карбонат, эпидот, серицит, альбит.	Хлорит, эпидот, карбонат, халцедон.

3. Достаточно определенное стратиграфическое положение занимает описываемая вулканогенная свита в разрезе меловых отложений Базумского блока. Здесь согласно данным В. Т. Акопяна и исследованиям А. А. Габриеляна, вулканиты мощностью около 200 м залегают на мощной карбонатной свите (Катнахбюрская свита) рассланцованных известняков и перекрываются, так называемой, спитакской свитой также рассланцованных, тонкоплитчатых известняков с прослоями туффитов.

Указанные три свиты (катнахбюрская свита вулканитов и спитакская) постепенными переходами связаны друг с другом и совершенно согласно перекрываются вышележащей чахчахской свитой туфогенно-терригенно-карбонатных пород, охарактеризованных альбской аммонитовой фауной. Отсюда следует, что можно говорить об апт-неокомском возрасте указанных трех свит.

Сопоставляя этот разрез с разрезами Зангезура, можно прийти к заключению, что катнахбюрская и спитакская свиты карбонатных пород Базумского хребта по возрасту и стратиграфическому положению соответствуют зейвинской (хустунской) свите неокома Зангезура, а свита вулканитов Базумского хребта—Гехинской вулканогенной свите Зангезура.

Приведенные данные не оставляют сомнения в раннемеловом (аптском) возрасте описываемых вулканитов.

Показательно, что вулканиты эти приурочены исключительно к указанным трем тектоническим блокам (Базумскому, Цахкуняцкому, Зангезурскому) и совершенно отсутствуют в разрезах других структурно-формационных зон Антикавказа.

В плане региональной тектонической структуры Армении эти блоки занимают сходное положение— краевые приразломные массивы, и расположены на границах трех крупных структурно-формационных зон (тектонических комплексов) Армении—Сомхето-Кафанской, Центрально-армянской и Приараксинской.

В среднеальпийском тектоническом этапе (поздний мел-эоцен) они характеризовались устойчивым геоантиклинальным режимом, чем обусловлены сокращенные мощности отложений и частые перерывы в разрезах.

Разрез верхнемеловых отложений во всех указанных блоках начинается с коньякского яруса при полном отсутствии пород турона и сеномана, которые широко развиты в соседних геосинклинальных прогибах (Севано-Ширакском, Еревано-Ордубадском) ⁽⁵⁾. Суммарная средняя мощность отложений верхнего мела (коньяк-маастрихт, местами и датский ярус) составляет на Базумском блоке около 1 км, на Цахкуняцком—700 м, а на Зангезурском—около 1 км. Для сравнения отметим, что мощность верхнемеловых разрезов в соседних геосинклинальных прогибах составляет 2000—2500 м. Такая же картина наблюдается и при сравнении мощности палеогена указанных блоков и сопряженных с ними прогибов.

Наблюдаются отчетливо выраженные перерывы и несогласия в

разрезах перед коньякским ярусом, верхним коньякским подъярусом, маастрихтом—нижним эоценом, верхним эоценом.

Устойчивым геоантиклинальным режимом характеризовались описанные блоки и в начале раннесальпийского этапа тектонического развития Антикавказа (юра).

Приведенные новые данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Учитывая, что описанные вулканы Базумского, Цахкуняцкого и Зангезурского блоков имеют сходный петро-геохимический состав, занимают одинаковое стратиграфическое положение в разрезах меловых отложений и являются синхронными образованиями, целесообразно объединить их в единую региональную стратиграфическую единицу и назвать гехинской свитой. В бассейне р. Гехи (Зангезур) свита занимает более определенное стратиграфическое положение и возраст ее определяется как раннемеловой (аптский).

2. Установление возраста гехинской свиты позволяет уточнить и возраст развитых в Цахкуняцком блоке тоналитовых интрузивных массивов (Гехаротского, Такарлинского и др.). Сходство петрохимического состава вулканитов гехинской свиты и указанных массивов, а также тесная пространственная приуроченность их к одним и тем же магмо-контролирующим тектоническим структурам (Анкавано-Зангезурская зона глубинных разломов) и степень метаморфизма (пропилитовая фация) дает основание объединить их в единый вулcano-плутонический комплекс.

В таком случае указанные интрузии следует рассматривать как продукт конечной стадии единого магматического процесса и также отнести по возрасту к раннему мелу. На участке спитакского перенала кварцевые диориты-тоналиты Гехаротского массива прорывают вулканы гехинской свиты и, как уже отмечалось, радиологически датируются как неокомские.

3. Широкое развитие в центральной диагональной части территории Армянской ССР вулканических образований апта, близких по составу к вулканитам толентового состава океанических бассейнов, свидетельствует о новых растяжениях и расколах земной коры и знаменует начало среднеальпийского этапа геосинклинального развития Антикавказа (3^{го}).

4. Вулканы гехинской свиты пространственно приурочены к древним блок-антиклинальным структурам (Базумской, Цахкуняцкой, Зангезурской), которые в среднесальпийском этапе геосинклинального развития Антикавказа представляли устойчивые краевые (шовные) массивы, контролирующие фации и мощности позднемеловых и палеогеновых отложений.

5. Выявление значительного сходства геологического строения и истории геотектонического развития указанных тектонических структур и особенно Базумского и Зангезурского блоков, имеет важное практическое значение, и это необходимо учесть при структурно-металлогеническом районировании и составлении прогнозно-металлогенических карт.

Հայկական ՍՍՀ ԴԱՐՄԱՆՆԵՐԻ ԿՈՄԻՏԵ
Ա. Հ. ԴԱՐՄԱՆՆԵՐԻ, Ռ. Ա. ԿՈՐԵՆՅԱՆ

Ռազում-զանգեզուրյան տեկտոնական զոնայի (Հայկական ՍՍՀ) տոլեիտային
վուլկանիտների հասակի ու շերտագրական դիրքի մասին

Քաղումի, Ծաղկունյաց ու Զանգեզուրի տեկտոնական բլոկները կազմող
մեզոզյան կոմպլեքսի երկրաբանական կտրվածքում զգալի տեղ են գրավում
տոլեիտային բնույթի տարրեր կազմի հրաբխածին գոյացումները, որոնք ըստ
իրենց նյութական կազմի ու պետրոքիմիական առանձնահատկությունների,
զգալի չափով միմյանց նման են ու պատկանում են ապարների կրա-ալկա-
լային խմբին: Դրանք զլխավորապես մուգ-մոխրավուն, մուգ-կանաչավուն,
ամուր, զգալի չափով փոփոխված (մետամորֆիզացված) դիաբազային, ան-
դեղիտաքաղախային և անդեղիտային կազմի ապարներ են, որոնք արտա-
հայտված են մեծ մասամբ էֆուզիվ և սուբհրաբխային ֆացիալ տարրերակ-
ներով: Խախտման դոնաներում (Զանգեզուր, Քաղումի լեռնաշղթա) այդ
ապարները սովորաբար խիստ ճմլված, չարդրտված, կոտրատված, միլոնի-
տիզացված ու բրեկչիացված են:

Զանգեզուրի հետազոտողների կողմից այդ վուլկանիտները վերագրվել են
տարբեր հասակի՝ պալեոզոյին, յուրային, էոցենին:

Վերջին տարիներում կատարված հետազոտությունների հիման վրա
հեղինակները այդ ապարների հասակի, շերտագրական դիրքի ու տարածման
օրինաչափությունների վերաբերյալ հանդել են հետևյալ եզրակացությունների.

1. Նշված տեկտոնական բլոկներում վուլկանիտները տեղադրված են նեո-
կոմի հասակի ապարների վրա և ծածկված են ֆաունայով բնութագրված
ալբով: Այս փաստերը հաստատում են այդ հրաբխածին գոյացումների
վաղ կալմային (ապտ հարկի) հասակը:
2. Հաշվի առնելով այդ վուլկանիտների ընդհանուր պետրո-գեոքիմիական
ու շերտագրական դիրքի նմանությունն ու նույն հասակին պատկանելիու-
թյունը, նպատակահարմար է նշված տեկտոնական բլոկներում տարած-
ված բոլոր վուլկանիտները միավորել մեկ ընդհանուր շերտախմբի մեջ և
այն անվանել գեխի շերտսխումը, քանի որ Գեխի գետի ավազանում
(Զանգեզուր) նրանց շերտագրական դիրքն ու հասակը ավելի որոշակի է:
3. Քաղումի, Ծաղկունյաց ու Զանգեզուրի բլոկ-անտիկլինորիումները ալպյան
տեկտոնական էտապում եղրային դանգվածներին հատուկ ուժիմ են
ունեցել, դրանով էլ պայմանավորված է նրանցում տարածված մեզո-
կայնոզոյան կոմպլեքսի ապարների փոքր հզորությունն ու հաճախակի
նկատվող ընդմիջումները:
4. Տոլեիտային վուլկանիտների լայն տարածումը Քաղում-Զանգեզուրյան
տեկտոնական զոնայում վկայում է հրկրակենդանի նոր լարման, մասնատ-
ման ու քեկորադատման մասին, որով նշանավորվում է ալպյան տեկտո-
նական էտապի սկիզբը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԴԱՐԱՆ

¹ Р. А. Хоренян, Автореферат канд. диссертации, Ер. гос. ун-т, 1975. ² Р. А. Хоренян, «Известия АН Арм. ССР», Науки о Земле, т. XXVIII, № 3 (1975). ³ В. Г. Барсегян, А. А. Габриелян, О. А. Сиркисян, Г. П. Симонян, Р. А. Торосян, «Известия АН Арм. ССР», Науки о Земле, т. XXV, № 4 (1972). ⁴ В. Т. Акопян, «Известия АН Арм. ССР», серия геол. и геогр. наук, т. XI, № 1 (1958). ⁵ В. Т. Акопян, Автореферат докторской диссертации, ВСЕГЕИ, Л., 1973. ⁶ А. А. Белов, С. Д. Соколов, «Советская геология» № 8, 1973.

УДК 577.17

БИОХИМИЯ

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. А. Галоян
 Б. Я. Гурвич

Конкуренция между нейрогормоном «С» и 3',5'-циклической АМФ
 за цикло-АМФ-связывающие белки

(Представлено 18/VI 1977)

Многочисленные исследования показали способность цАМФ специфически связываться с цАМФ-зависимыми протеникиназами (ПК) (1-4), а также с так называемыми связывающими белками (СБ) цитоплазматических и микросомальных фракций коры надпочечника крупного рогатого скота (5), скелетной мышцы (6) и других тканей.

Было высказано предположение (3,7-9) об идентичности связывающего цАМФ начала с ПК, вернее с их регуляторными субъединицами. Г. Н. Гилл и Л. Д. Гаррен (5) в результате выделения ПК из коры надпочечника крупного рогатого скота и ее 50-кратной очистки, а также 200-кратной очистки СБ из той же ткани, показали аналогичную специфичность их связывания с нуклеотидами. Кроме того, А. Г. Гилманом (6) было проведено сравнительное исследование активности ПК и связывающей активности фракций, выделенных из скелетной мышцы быка на различных стадиях очистки. Полученные им данные свидетельствуют о соответствии величины связывания и активности ПК.

Однако факт полной идентичности ПК и СБ окончательно не установлен. Более того, получены доказательства гетерогенности связывающих центров на одном или нескольких СБ. Сродство высокоочищенных ПК к цАМФ часто оказывается более низким по сравнению с СБ (10).

Какова биологическая функция этих белков? Ограничивается ли роль цАМФ в регуляции активности ПК действием в качестве аллостерического эффектора или связывание цАМФ с сопутствующими ПК белками имеет какое-либо особое значение? Участвуют ли данные белки в системе передачи гормонального импульса?

Исследования влияния коронароактивных нейрогормонов К, С, Г, выделенных из гипоталамуса крупного рогатого скота (11) на активность цАМФ-зависимой ПК показали значительное ингибирование каталитической активности ПК в их присутствии.

Мы попытались выяснить, действует ли нейрогормон «С», один из вновь открытых нейрогормонов, на связывание цАМФ с различными СБ, предполагая способность нейрогормона «С» конкурировать с цАМФ за центры связывания.

Нами были использованы различные связывающие белки: высокоочищенные стандартные препараты, выделенные из скелетной мышцы (AMP assay kit фирмы Amersham, Англия) и коры надпочечника крупного рогатого скота (фирмы ВДН, Англия), а также аналогичный препарат, выделенный нами из той же ткани по методу Brawn-a (¹²) следующим образом. Надпочечники крупного рогатого скота быстро собирали на мясокомбинате в сосуд со льдом. Корковый слой отделяли от мозгового при 4°C, измельчали и гомогенизировали в микроизмельчителе тканей в 1,5 объемах раствора (+4), содержащего 0,25 М сахарозу, 50 mM трис-HCl буфер (pH 7,4), 2,5 mM KCl и 50 mM MgCl₂. Гомогенат центрифугировали при 2000 xg в течение 5 минут и супернатант подвергали вторичному центрифугированию при 5000 xg в течение 15 минут. Супернатант хранили в малых порциях по 0,5—1 мл при -20°C. (незначительная потеря активности ПК наблюдалась лишь по истечении 3-х месяцев хранения). Полученные порции разводили непосредственно перед опытом в 50 mM трис-HCl буфере (pH 7,5), содержащем 3 М теофиллин и 6 mM 2-меркаптоэтанол.

Препарат из коры надпочечника фирмы ВДН представлял собой более очищенную фракцию по сравнению с полученной нами, что отразилось на его связывающей активности и лучшей воспроизводимости результатов.

Суть этого метода заключается в том, что определяется связывание меченого 8-³H цАМФ с СБ в процессе инкубации при 0°C. Отделение связанного 8-³H цАМФ от свободного нуклеотида осуществляли с помощью адсорбции последнего на активированном угле с последующим центрифугированием и счетом радиоактивности на жидкостных сцинтилляционных спектрометрах (фирмы «Interlechnik») типа SL-40 (Франция).

Инкубационная смесь (0,2 мл) содержала 0,05 мл ³H цАМФ (1 пМ, 0,025 мккюри), 0,05 мл нейрогормона «С» в различных концентрациях или 0,05 мл бидистиллята и 0,1 мл связывающего белка. Нейрогормон «С» присутствовал в инкубационных пробах в указанном объеме в следующих концентрациях 0,28, 0,14 и 0,09 единицах*.

По истечении 1,5 часов инкубации, устанавливалось устойчивое равновесие, при котором около 20—25% содержащегося в пробе количества ³H-цАМФ оказывалось в связанном состоянии. Равновесие частично сдвигается лишь через 5 часов инкубации.

* Ранее нами было показано значительное ингибирование нейрогормоном «С» фосфодиэстеразы сердца и мозга крыс «in vitro» (¹³). Способность нейрогормона ингибировать фосфодиэстеразу была положена в основу определения активности нейрогормона «С». За единицу активности нейрогормона «С» принята активность препарата, ингибирующего 1 мед. фосфодиэстеразы мозга крыс в минуту при 30°C и pH 7,5.

Реакцию останавливали внесением в каждую пробу 0,1 мл суспензии 10 мг активированного угля (Norit, Extra, Glasgow, Англия) в 50 mM трис-HCl буфере, содержащем 2% бычьего альбумина. Суспензию постоянно перемешивали с помощью магнитной мешалки. Пробы встряхивали в течении 2-х минут, центрифугировали при 2000 xg (15 мин, 4°C) и 0,1 мл супернатанта быстро помещали в сцинтилляционные кюветы с 5 мл диоксанового сцинтиллятора для счета радиоактивности связанного ^3H -цАМФ. В качестве контроля связывания использовали пробы, не содержащие связывающего белка. Для определения первоначального уровня радиоактивности на счет отбирали 0,05 мл контрольных проб, содержащих 0,3 мл буфера и 0,05 мл ^3H -цАМФ.

Кроме указанных применяли следующие препараты: меченый и немеченый цАМФ из «сАМФ assay kit», фирмы Amersham (Англия), теofilлин и бычий альбумин, фракция V, фирмы Sigma (США) и др.

На рис. 1 показано, что в присутствии нейrogормона «С» наблюдается значительное снижение счета радиоактивности ^3H -цАМФ, связанного с различными связывающими белками. Эффект уменьшается при снижении концентраций нейrogормона «С» в инкубационной смеси

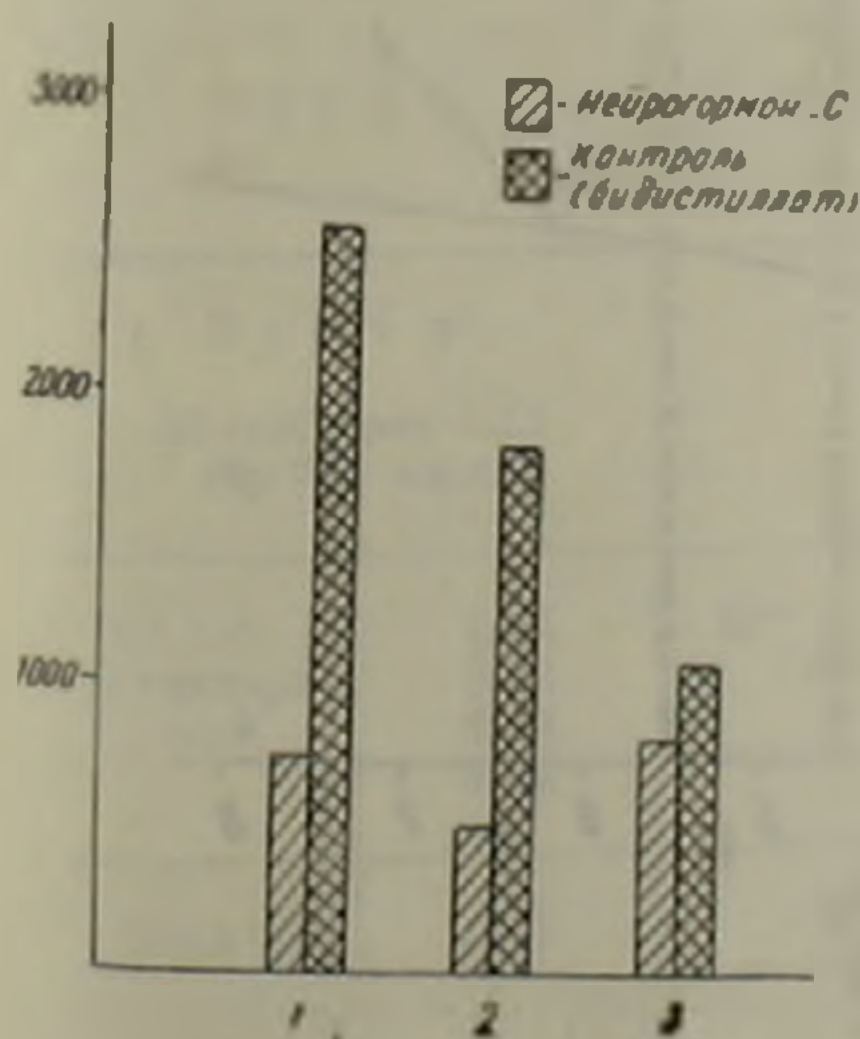


Рис. 1. Влияние нейrogормона «С» на связывание ^3H -цАМФ связывающими белками:

1—связывающий белок из коры надпочечника быка (фирмы ВДН); 2—связывающий белок скелетной мышцы быка (фирмы Amersham); 3—связывающий белок из коры надпочечника быка, выделенный в данном эксперименте. Содержание нейrogормона «С» в опытах с 1 и 2—0,28 ед. в опытах с 3—0,09 ед. На оси ординат— ^3H -цАМФ, связанный, имп./мин

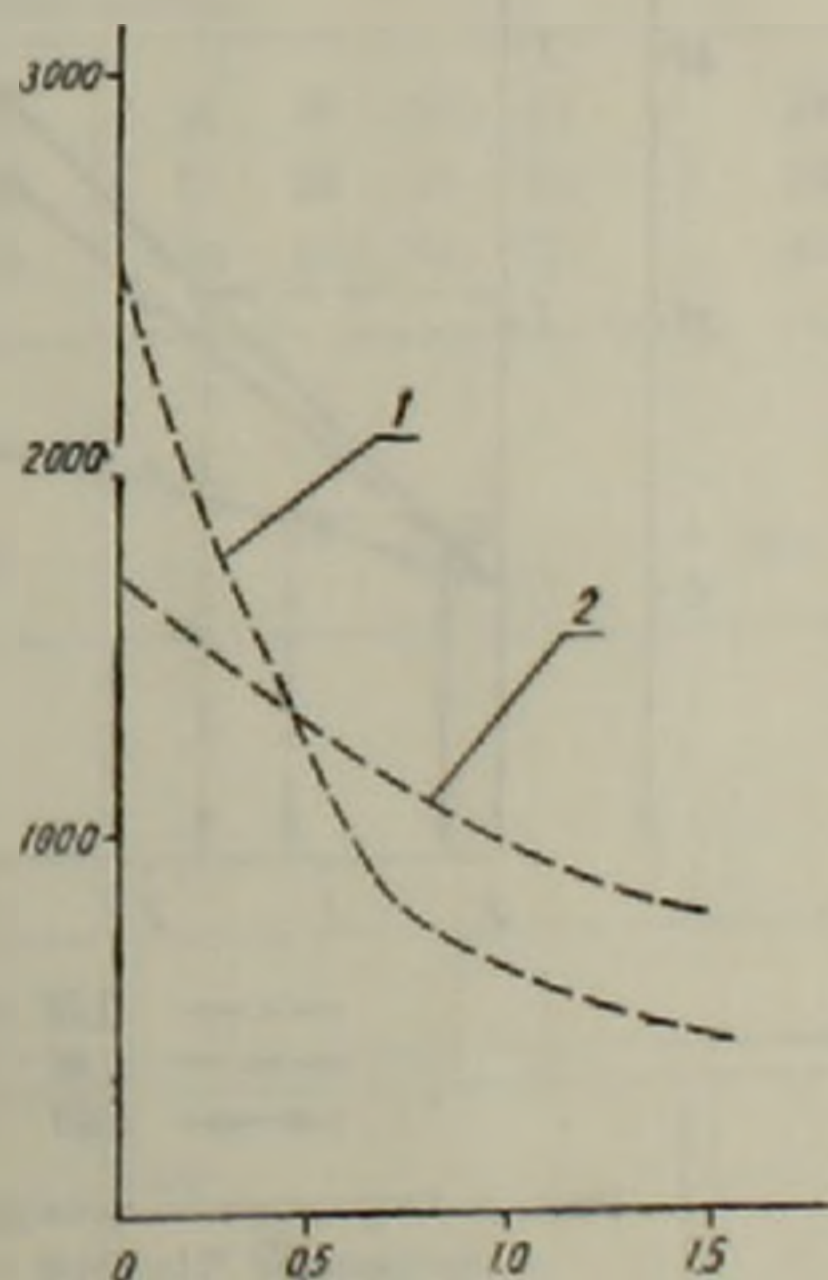


Рис. 2. Зависимость конкурентного действия нейrogормона «С» от его содержания в инкубационной смеси:

1—связывающий белок из коры надпочечника быка (фирмы ВДН); 2—связывающий белок из скелетной мышцы быка (фирмы Amersham); На оси абсцисс—содержание нейrogормона «С» в инкубационной смеси, ед. На оси ординат— ^3H -цАМФ, связанный, имп./мин

(рис. 2). Возможно также определить количественное содержание этих функциональных групп в исходном препарате нейrogормона «С» путем введения в инкубационную смесь немеченого цАМФ различных концентраций, который конкурируя с ^3H цАМФ, способствует снижению количества ^3H цАМФ, связанного со связывающим белком. Количество конкурентоспособных функциональных групп нейrogормонов «С» можно определить в соответствии с концентрацией немеченого цАМФ, вызывающего аналогичное ингибирование связывания ^3H цАМФ.

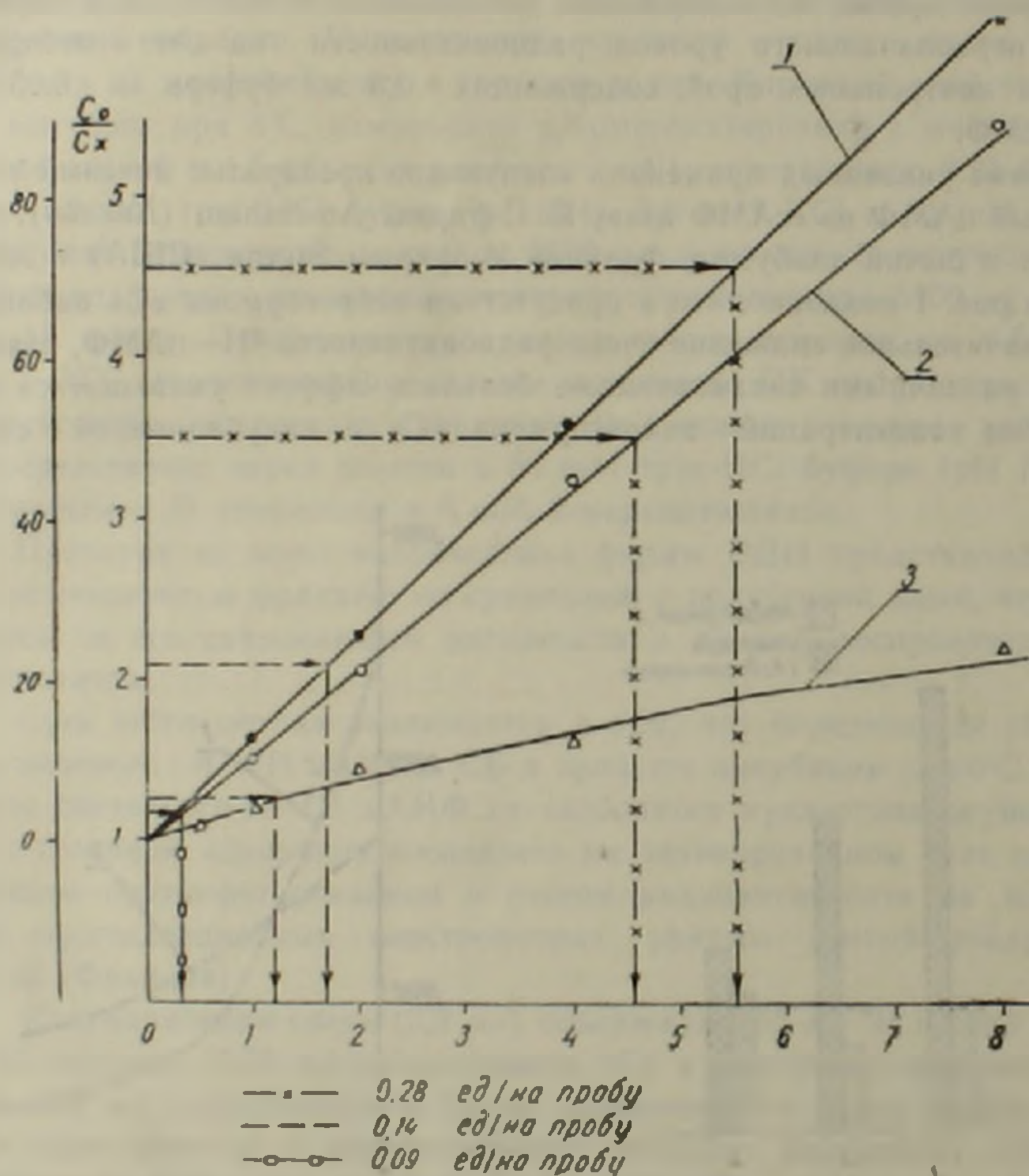


Рис. 3. Определение конкурентного действия нейrogормона «С» на связывание ^3H цАМФ с помощью калибровочных кривых:

1—связывающий белок из коры надпочечника быка (фирмы ВН);
 2—связывающий белок из скелетной мышцы быка (фирмы Amersham);
 3—связывающий белок из коры надпочечника быка, выделенный в данном эксперименте.

C_0 —средний счет радиоактивности связанного ^3H цАМФ (имп./мин) в отсутствии немеченого цАМФ, C_x —средний счет радиоактивности связанного ^3H цАМФ (имп./мин) в присутствии конкурирующих агентов (цАМФ или нейrogормон «С»). На оси абсцисс—количество стандартного цАМФ в инкубационной смеси, пМ. На оси ординат—цАМФ, вытесненный из связывающих белков, %

Для проведения данного исследования в инкубационную смесь вводили немеченый цАМФ в различных концентрациях в соответствии со схемой, изображенной в табл. 1. По данным этой таблицы построено семейство калибровочных кривых зависимости количества связанного с различными связывающими белками ^3H -цАМФ от концентрации немеченого цАМФ (рис. 3). Результат представлен в виде C_0/C_x , где C_0 —средний счет радиоактивности связанного ^3H -цАМФ (имп./мин) в отсутствии немеченого цАМФ, а C_x —средний счет радиоактивности связанного ^3H -цАМФ (имп./мин) в присутствии конкурирующих агентов, а именно, цАМФ в различных концентрациях, а также нейrogормона «С». Эффект нейrogормона «С» показан на рис. 3 стрелками.

Пользуясь калибровочными кривыми, можно определить то количество немеченого цАМФ, которое вызывает конкурирующее действие, аналогичное соответствующему эффекту нейrogормона «С». Возможно, однако, что нейrogормон «С» осуществляет свое влияние через активные центры, отличные от центров связывания цАМФ. Этот вопрос подлежит дальнейшему исследованию.

Таблица 1

Схема эксперимента по определению калибровочной кривой связывания цАМФ и действия нейrogормона «С» (состав инкубационной смеси)

Пр о б ы		1	4	7	10	13	16	19	22	25	28
		2	5	8	11	14	17	20	23	26	29
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Б у ф е р 50 mM трис-HCl pH 7,5; мл.		50									150
цАМФ стандарт- ный	1nM 2nM 4nM 8nM	50*	50	50	50						
³ HцАМФ	1nM	50									
Нейрогормон „С“	1,5 ед. 0,75 ед. 0,5 ед.						50	50	50		
Бидистиллат							50				
Связывающий белок		100									

* Количества представлены в микролитрах.

На основании наших данных можно заключить, что нейрогормон «С» в количестве 0,28 ед. на пробу, оказывает такое же действие на процесс связывания, какое характерно для 4—6 нМ цАМФ, эффект 0,14 ед. на пробу нейрогормона «С» подобен эффекту 1+1,75 нМ цАМФ, а 0,09 ед. на пробу нейрогормона «С» можно сравнить с действием цАМФ в количестве, меньшем 1 нМ. Для различных связывающих белков результаты оказались аналогичными, что позволяет предположить одинаковый механизм действия на них нейрогормона «С».

В исследуемой нами системе конкурентное влияние на специфическое связывание цАМФ со связывающими белками наблюдается со стороны циклических нуклеотидов. Наибольший эффект проявляет циклический 3',5'-инозинмонофосфат в концентрации, сопоставимой с концентрацией цАМФ. Конкуренция других циклических 3',5'-нуклеотидов проявляется при значительно больших концентрациях. С другой стороны, циклические 2', 3'-АМФ, 5'-АМФ, АТФ и АДФ в количестве 1 мкМ не влияют на связывание цАМФ (^{16,15}). Можно предположить, что специфичность связывания заключена именно в 3',5'-кольце циклических нуклеотидов. Вопрос о том, содержит ли нейрогормон «С» циклические или другие конкурентоспособные группы, можно ответить лишь после расшифровки первичной структуры нейрогормона.

Наши опыты показывают (неопубликованные данные), что нейрогормон «С» конкурирует с цАМФ за цАМФ-зависимую протеникиназу ПК (за регуляторную единицу). Этот гормон ингибирует активность ПК. Имеются различные факторы, подавляющие активность ПК (^{16,17}). Обнаруженный Wolff-ом гомогенный кислый белок из мозга свиньи, связывающий ионы Ca^{++} , является мощным ингибитором связывания цАМФ с ПК (¹⁸). NaCl , KCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Mg АТФ ионы Fe^{+++} в определенных условиях снижают сродство ПК к цАМФ (¹⁹).

С другой стороны, эффект диссоциации ПК на субъединицы усиливается под действием низких концентраций гистона (^{19,20}) и протамина (²¹). Было показано, что термостабильный белок, ингибитор цАМФ-зависимой ПК, выделенной из скелетной мышцы быка (⁶), бычий альбумин (²²) и многие другие белки способствуют активации связывания цАМФ.

Следует отметить, что в основе физиологического влияния нейрогормона «С» лежит интенсификация гликолитических процессов, особенно, в сердечной мышце, увеличение фосфоорилазной активности, расщепления гликогена, накопление лактата и т. д. (^{23,24}). Обнаруженное нами ингибирование фосфодиэстеразы под действием нейрогормона «С» (¹³) позволяет предположить, что данные процессы осуществляются при участии цАМФ.

Как видно из наших данных, нейрогормон «С» активирует гликогенолиз путем активирования фосфорилазы сердца. С другой стороны, это вещество ингибирует цАМФ-зависимую протеникиназу мозга. Если учесть, что фосфорилаза также активируется киназами, то как-будто имеется парадоксальное явление. Однако можно полагать, что цАМФ-

зависящая киназа киназы фосфорилазы б и цАМФ-зависящие протени-киназы мозга являются различными ферментами. С другой стороны, надо учесть, что в изучаемой реакции субстратом фосфорилирования нами использован гистон или протамин. В дальнейших наших исследованиях предстоит выяснить эффект прямого действия нейрого르몬а «С» на различные протеникиназы и на киназы фосфорилазы. Можно предположить, что ингибирование нейрого르몬ом «С» связывания цАМФ со связывающими белками или с холоферментом ПК приводит к стабилизации ПК, выраженной в блокировании диссоциации фермента на субъединицы, а следовательно, и в блокировании его каталитической активности.

По-видимому, при чрезмерном возрастании уровня цАМФ под влиянием нейрого르몬а «С» срабатывает механизм обратной связи—путем ингибирования активности ПК.

Не исключена возможность неспецифического связывания нейрого르몬а «С» с СБ, подобно тому, как нейрого르몬 «С» связывается с белками-носителями гипоталамуса (26).

Институт биохимии

Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ քղրակից-անդամ
Ա. Ա. ԳԱԼՈՅԱՆ, Ռ. Յա. ԳՈՒՐՎԻՑ

Նեյրոհորմոն «С»-ի և ցիկլո-ԱՄՖ մրցակցությունը ցիկլո-ԱՄՖ կապող սպիտակուցների համար

Սույն հետազոտությամբ մեր առջև խնդիր է դրված եղել պարզելու՝ գոյություն ունի արդյոք նեյրոհորմոն «С»-ի և ցիկլո-ԱՄՖ-ի միջև մրցակցություն ցիկլո-ԱՄՖ կապող սպիտակուցների համար: Հետազոտությունները պարզեցին, որ նեյրոհորմոն «С»-ի ներկայությամբ ցիկլո-ԱՄՖ-ի քանակը պրոտեին կինազայի կանոնավորող միավորի, ինչպես նաև կապող սպիտակուցի վրա խիստ պակասում է: Նշված մրցակցությունը գնում է հավանորեն մոլմոլ հարաբերությամբ: Միաժամանակ պարզվել է, որ «С» նյութը ճնշում է ցիկլո-ԱՄՖ կախյալ հիստոն կինազայի ակտիվությունը: Ընթացիկում է, որ «С» նյութը բջի ներսում կանոնավորում է ցիկլո-ԱՄՖ-ի ազդեցության ուղղությունը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ D. A. Valsh, J. P. Perkins et al., J. Biol. Chem., 243, 3763 (1968). ² T. A. Langan, Science, 162, 579 (1968). ³ E. Miyamoto, J. F. Kuo et al., J. Biol. Chem., 244, 6395 (1969). ⁴ J. F. Kuo, P. Greengard, Proc. Nat. Acad. Sci., 64, 1349 (1969). ⁵ G. N. Gill, L. D. Garren, Biochem. Biophys. Res. Comm., 39, 335 (1970). ⁶ A. G. Gillman, Proc. Nat. Acad. Sci., 67, 305 (1970). ⁷ C. O. Brostrom, E. M. Reimann et al.,

Advances in Enzyme Regul., 8, 191 (1970). ⁸ E. M. Reimann, C. O. Brostrom et al., Biochem. Biophys. Res. Comm., 42, 187 (1971). ⁹ J. Ehrlichmann, A. H. Hirsch et al., Proc. Nat. Acad. Sci., 68, 731 (1971). ¹⁰ C. O. Brostrom, C. Kon, Annal. Biochem., 58, 459 (1964). ¹¹ А. А. Галоян, Некоторые проблемы биохимии гипоталамической регуляции. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1965. ¹² B. L. Brown, J. D. H. Albano et al., Biochem. J., 121, 561 (1971). ¹³ А. А. Галоян, Б. Я. Гураиц и др., Вопросы биохимии мозга, 11, 86 (1967). ¹⁴ H. V. Fisch, V. Pliska et al., Eur. J. Biochem., 30, 1 (1972). ¹⁵ G. N. Gill, L. D. Garren, Proc. Nat. Acad. Sci., 63, 512 (1969). ¹⁶ C. D. Ashby, D. A. Walsh, J. Biol. Chem., 247, 6637 (1972). ¹⁷ G. G. Majumler, Biochem. Biophys. Res. Comm., 58, 756 (1974). ¹⁸ D. J. Wolff, F. L. Siegel, J. Biol. Chem., 247, 4180 (1972). ¹⁹ E. Miyamoto, G. L. Petzold et al., Biochem. Biophys. Res. Comm., 44, 2 (1971). ²⁰ E. M. Reimann, D. A. Walsh et al., J. Biol. Chem., 246, 1986 (1971). ²¹ E. Miyamoto, G. L. Petzold, Biochem. Biophys. Res. Comm., 44, 305 (1971). ²² A. G. Gilman, Advances in Cyclic Nucl. Res., 2, 9 (1972). ²³ А. А. Галоян, С. С. Алексанян, и др. ДАН Арм. ССР, т. 60, 2, 117 (1975). ²⁴ С. С. Алексанян, А. А. Галоян, ДАН Арм. ССР, т. 60, 5, 293 (1975). ²⁵ А. А. Галоян, ДАН Арм. ССР, т. 38, 305 (1964).

УДК 577.352.5 : 612.822

БИОХИМИЯ

М. А. Сулейманян, С. Н. Айрапетян

О механизме действия аденилатциклазы на мембранный потенциал нейронов улитки

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. Х. Бунятыном 28/VI 1977)

Было показано, что в симпатических ганглиях млекопитающих под действием катехоламинов происходит активация аденилатциклазы, которая в свою очередь приводит к гиперполяризации нейрональной мембраны (¹). Очевидно, что гиперполяризация, вызванная активацией аденилатциклазы, обусловлена либо активацией Na-K-АТФ-азы мембран, обуславливающей метаболически-зависимую часть мембранного потенциала (МП) клетки, либо увеличением проводимости мембраны для ионов калия и хлора, равновесный потенциал которых выше МП. Конкретные механизмы действия аденилатциклазы на МП нейронов в настоящее время остаются неизвестными.

Известно, что ионы фтора являются мощными активаторами аденилатциклазы мембран. Детальное изучение механизма действия ионов фтора на АТФ-азозависимый компонент МП позволит выяснить характер взаимосвязи аденилатциклазной и АТФ-азной активностей мембран, а также механизм действия аденилатциклазы на МП клетки. Изучению данного вопроса и посвящена настоящая работа.

Опыты проводили на изолированной нервной системе виноградной улитки в зимние месяцы, когда животные находились в анабиозе. Методика отведения трансмембранной разности потенциалов и измерения проводимости мембран описана ранее (^{2,3}). Исходный физиологический раствор имел следующий состав в миллимолях: Na⁺—90, K⁺—4, Ca⁺⁺—7, Mg⁺⁺—4, трис-HCl (pH-7,5)—10, глюкоза-10. В некоторых опытах ионы хлора были заменены ионами ацетата. Фторсодержащие (5—10 ммоль) растворы готовили путем замены эквивалентного количества NaCl или NaAc на NaF в исходном растворе.

Нейрон RPa-1 (по классификации Сахарова и Шаланки) имеет вспышкообразную пейсмекерную активность, где за каждой пачкой импульсов следуют периоды гиперполяризации мембраны (⁴).

На рис. 1, А, где показано действие ионов фтора на ритмическую активность нейрона RPa-1, видно двухфазное действие фтора на час-

тоту и амплитуду пейсмекерного колебания МП: сперва резко увеличиваются амплитуда и частота медленных колебаний МП, а затем постепенно происходит стабилизация МП на более деполяризованном уровне. Аналогичная картина сохраняется и после предварительного повышения внутриклеточного содержания ионов натрия путем 10-минутной инкубации нейронов в бескальевом рингеровском растворе, только в последнем случае высокоамплитудным колебаниям предшествует гиперполяризация мембраны и относительно быстрое наступление стабилизации МП (рис. 1,Б).

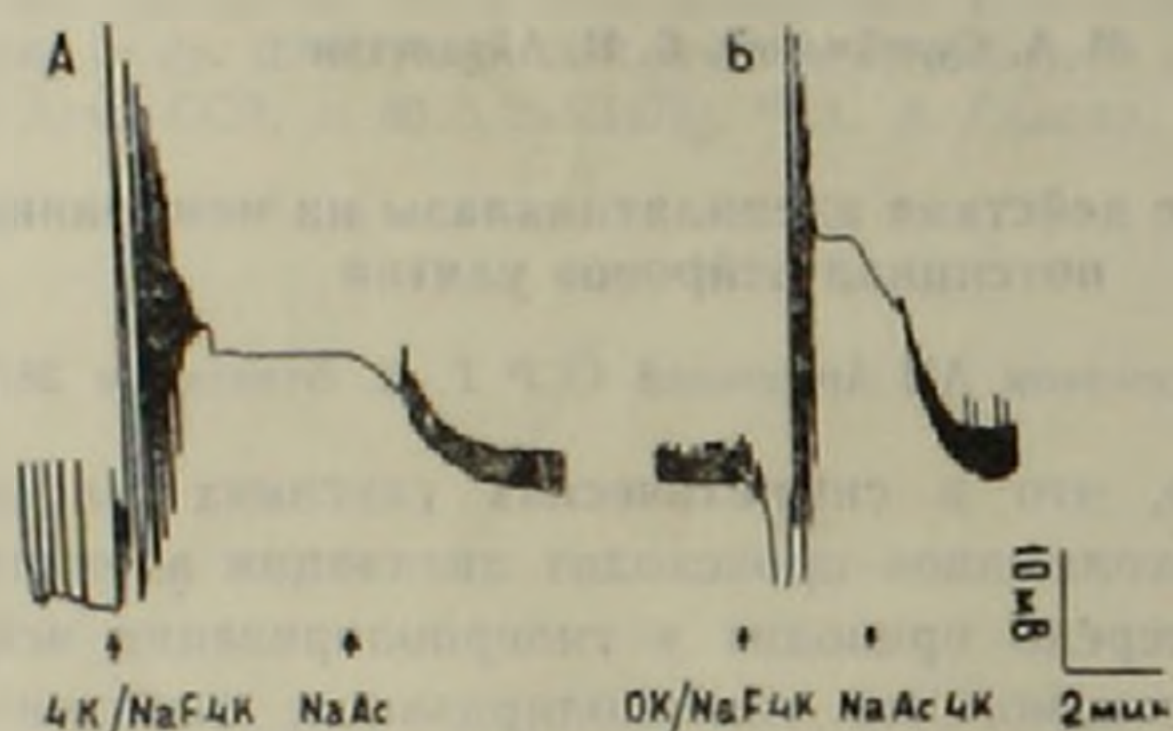


Рис 1 Действие 10 ммол NaF на вспышкообразную активность нейрона RPa-1. Стрелки указывают моменты смены раствора. А—действие NaF в обычном рингеровском растворе; Б—действие NaF после предварительного 10-минутного обогащения нейрона ионами Na

В предыдущих наших работах было показано, что после предварительной инкубации нейронов в бескальевом растворе Рингера гиперполяризация мембраны вызванной повышением ионов калия в среде обусловлена активацией натриевого насоса клетки (2). Для того, чтобы выяснить характер действия ионов фтора на работу электрогенного натриевого насоса, мы изучали его действие на амплитуду и длительность К-вызванной гиперполяризации мембраны (рис. 2).

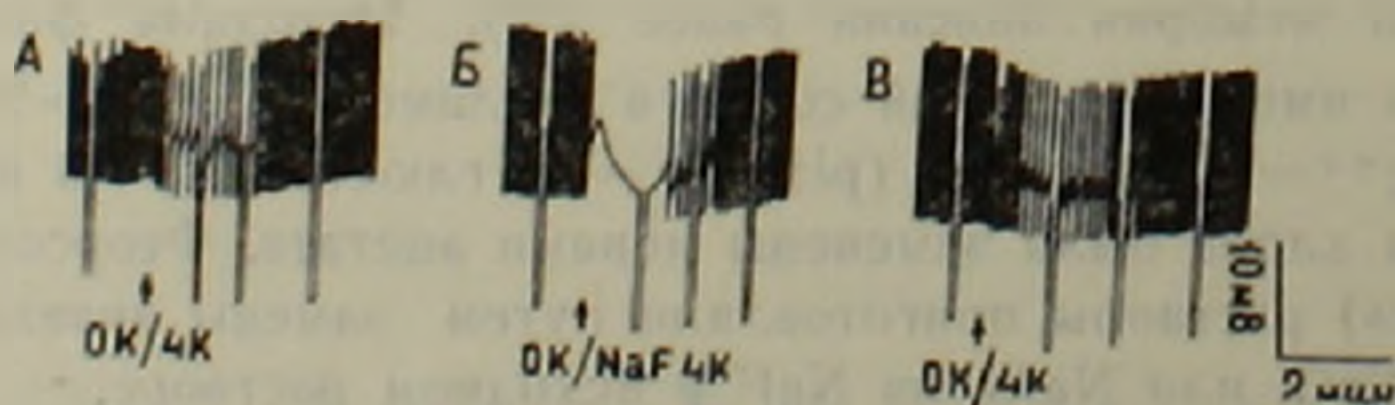


Рис 2 Действие 10 ммол NaF на спонтанно активный нейрон после предварительного 10-минутного обогащения ионами Na. А, В—контроль, насосная гиперполяризация в нормальном рингеровском растворе; Б—насосная гиперполяризация при действии NaF

Как видно из рис. 2, B ионы фтора значительно увеличивали амплитуду и скорость нарастания K -вызванной гиперполяризации мембраны. Для оценки проводимости мембраны через второй микроэлектрод подавали прямоугольные импульсы входящего тока. Амплитуды электротонических ответов обычно уменьшаются в период насосной гиперполяризации мембраны (рис. 2, B). Интересно отметить, что добавление ионов фтора в наружную среду у необогащенных натрием нейронов вызывает деполяризацию мембраны на 2—5 мВ, которая сопровождается уменьшением амплитуды электротонических ответов.

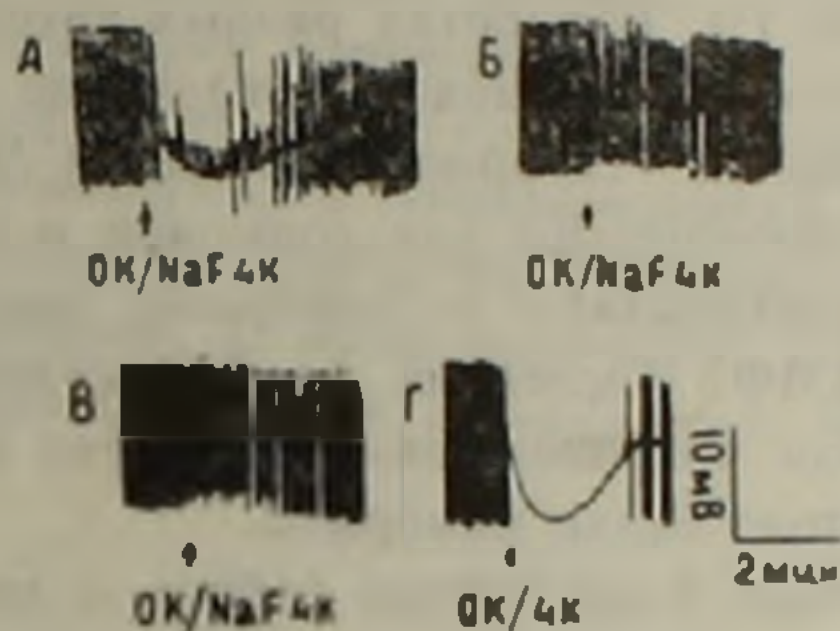


Рис. 3. Эффект уменьшения действия NaF со временем по мере пребывания нейрона в условиях *in vitro*. A —спустя 1 час; B —2 часа и B' —2,5 часа после введения микроэлектродов; Γ —наличие насосной гиперполяризации после вымывания NaF

Активационное действие ионов фтора на насосную гиперполяризацию мембраны уменьшается со временем по мере пребывания нейронов в условиях *in vitro* (рис. 3), тогда как амплитуда насосной гиперполяризации существенно не изменяется или даже увеличивается (рис. 3, Γ). Обычно активационное действие ионов фтора на насосную гиперполяризацию мембраны не проявилось у нейронов с низким входным сопротивлением, у которых АТФ-азнозависимая часть МП отсутствовала или была незначительной, то есть когда нейрон находился в плохом функциональном состоянии.

Известно, что ионы фтора могут иметь двойкий эффект на метаболизм клетки: с одной стороны являются активаторами аденилатциклазной активности мембраны, с другой стороны—ингибиторами гликолиза (энолазы) клетки. Очевидно, что при добавлении ионов фтора в наружную среду клетки, сперва будет проявляться его активационное действие на циклазу мембраны, а затем только инактивационное действие на энолазу, которая находится в цитоплазме клетки. Вышеуказанные оба эффекта ионов фтора по разному действуют на поляризацию мембраны: активация аденилатциклазы приводит к гиперполяризации

(¹), а подавление эналазы — к деполяризации мембраны (⁵). В данной работе обсуждаются данные только о первичном, гиперполяризационном эффекте кратковременной (1-2 минуты) аппликации ионов фтора на мембрану. Интересно отметить, что добавление 1—3 ммол циклический АМФ в наружный омывающий раствор увеличивает амплитуду вышеуказанной гиперполяризации без существенного изменения сопротивления мембраны (⁶).

В предыдущих наших работах было показано, что межпачечная гиперполяризация мембраны у пейсмекерных нейронов, имеющих вспышкообразную активность, вызвана активацией работы электрогенного натриевого насоса (²). В работах разных авторов было показано, что катехоламины, гормоны вызывают увеличение амплитуды и длительности вышеуказанной гиперполяризации (^{7,8}). А в настоящее время известно, что рецепторами для гормонов и катехоламинов служат молекулы аденилатциклазы в мембране, которые обеспечивают синтез циклической АМФ. Последний же связывается с регуляторной единицей протеникиназы и активирует его, которая в свою очередь специфически фосфорилирует белки мембраны.

Данные, приведенные в настоящей работе, о том, что ионы фтора значительно увеличивают насосную гиперполяризацию мембраны у пейсмекерных и непейсмекерных нейронов, сопровождающийся уменьшением сопротивления мембраны, указывают на то, что увеличение насосзависимого компонента МП обусловлено дополнительно активацией транспортной АТФ-азы в результате активации аденилатциклазы мембран под действием ионов фтора. Различие характера действия ионов фтора на МП пейсмекерного и непейсмекерного нейронов по-видимому можно объяснить тем, что в первых нейронах в результате интенсивного поступления натрия внутрь нейронов исходный уровень активности транспортной АТФ-азы высокий и лимитирующим фактором работы натриевого насоса является содержание АТФ в клетке. По этой причине инактивационное действие ионов фтора на гликолиз клетки (деполяризация) наступает быстрее, чем у обычных нейронов. Аналогичным образом (истощением внутриклеточного содержания АТФ) можно объяснить ослабление гиперполяризационного эффекта ионов фтора со временем по мере пребывания нейронов в условиях *in vitro*. Однако для окончательного выяснения данного вопроса требуются более детальные исследования.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Армянской ССР

И. А. ՍՈՒՆՅՈՒՆՅԱՆ, Ս. Ն. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ

Աղենիլատցիկլազայի ազդման մեխանիզմի մասին՝ խիունջի նեյրոնների
մեմբրանային պոտենցիալի վրա

Այս աշխատանքում ուսումնասիրվել է ֆտորի իոնների ազդեցությունը
մեմբրանային պոտենցիալի ալենոզինտրիֆոսֆատազայից (ԱՏՖ) կախված

րադադրիչի վրա: Ֆտորի իոնների ազդեցության տակ մեծանում է պեյսմեկերային նեյրոնների մեմբրանային պոտենցիալի դանդաղ տատանումների ամպլիտուդան և հաճախականությունը, իսկ հետո աստիճանաբար վրա է հասնում մեմբրանային պոտենցիալի ստաբիլիզացիան ավելի դեպոլյարիզացիոն մակարդակի վրա: Նույն պատկերը պահպանվում է նաև նատրիումի ներքշային կոնցենտրացիայի նախապես մեծացումից հետո, միայն այս դեպքում բարձրամասլիտուդային տատանումներին նախորդում է մեմբրանի հիպերպոլյարիզացիոն փուլը: Ֆտորի իոնները այլ կերպ են ազդում սովորական օսցիլյացիոն քնույթ ունեցող նեյրոնների վրա: Նրանք մեծացնում են մեմբրանային պոտենցիալի նատրիումական պոմպով պայմանավորված հիպերպոլյարիզացիայի ամպլիտուդան և արագությունը: Նշելով այս տվյալներից, կենը ենք այն եզրակացության, որ մեմբրանային պոտենցիալի նատրիումական պոմպով պայմանավորված հիպերպոլյարիզացիայի ամպլիտուդայի և արագության մեծացումը, որն ուղեկցվում է մեմբրանի դիմադրության փորձացումով, պայմանավորված է տրանսպորտային ԱՏՖ-ազայի լրացուցիչ ակտիվացումով ադենիլատցիկլազայի ակտիվության հետևանքով:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ P. Greengard and R. W. Straub, J. Physiol., 161, 414 (1962). ² S. N. Ayrapetyan, Neurobiology of Invertebrates, Tihany, 353 (1976). ³ C. H. Аўпанемян, Биофизика, т. 14, вып. 5 (1969). ⁴ D. A. Sakharov, J. Salanki, Acad. Sci. Hung., 35, 19 (1969). ⁵ G. A. Kerkut, R. C. Thomas, Comp. Biochem. Physiol., 14, 167 (1965). ⁶ D. Faber and A. Greenberg, Abstracts symposium on snail brain, Tihany (1975). ⁷ M. Buisson and M. Gola, Comp. Biochem. Physiol., 54c, 109 (1976). ⁸ J. Salanki and I. Vadasz, Acta, Physiol. Acad. Sci. Hung., 44, 51 (1973).

УДК 567.2+581.1

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. Н. Хрунин, академик М. Х. Чайлахян

Влияние длины дня на сексуализацию конопли и шпината

(Представлено 10/VIII 1977)

Влияние внешних условий на сексуализацию растений достаточно полно рассмотрено в монографиях (1-3) и обзорах работ по данному вопросу (2,4). Как известно, фактором первостепенного значения, обуславливающим переход растений от вегетативного роста к половой репродукции, является длина дня (5). Большое влияние длины дня на смещение пола у растений, и, в частности, у конопли, отмечалось многими исследователями (6-17). В большинстве опытов воздействие коротким днем приводило к появлению на женских растениях мужских цветков, а на мужских—женских и интерсексуальных цветков. При этом некоторые авторы (7) отмечали более сильное превращение под влиянием короткого дня мужских растений в женские, а другие (18) наоборот, женских в мужские. Вероятно, это связано с тем, что исследователи в своих опытах брали фотопериоды разной длины (8-10) часов) и различные сорта конопли, которые по-разному реагируют на укорочение дня (19-21).

Что касается шпината, то имеются указания (22) на то, что в условиях короткого 9-часового дня сдвига в соотношении мужских и женских растений не наблюдается.

Для дальнейшего выяснения вопроса о сдвиге в соотношении полов у двудомных растений нами были проведены опыты по изучению влияния короткого дня (КД) и длинного (ДД) дня в разных сочетаниях на растения короткодневного вида—конопли (*Cannabis sativa*) и длиннодневного вида—шпината (*Spinacea oleracea*).

Опыты с коноплей (сорт ЮС-6) и шпинатом (сорт Виктория) проведены в 1976 году на Пензенской станции юннатов в естественных условиях. Семена были посеяны в почву 22-го мая, а всходы появились 27-го мая. После появления всходов до массового цветения растения подвергали воздействию различных фотопериодов. Схема опыта для конопли была такова: 1) КД—8 ч; 2) ДД—16 ч; 3) 10 ДД+КД.

4) 20 ДД+КД; 5) 30 ДД+КД. Для шпината 1) ДД—16 ч; 2) КД—8 ч; 3) 10 КД+ДД; 4) 20 КД+ДД; 5) 30 КД+ДД.

Укороченный день создавался путем закрывания растений (с 16 ч до 8 ч) фанерными ящиками (размер 100×100×100 см), которые сверху были окрашены белой краской. Размер делянок—1 м², повторность—четырекратная. На каждой делянке было оставлено по 90 растений конопли и по 70 растений шпината.

Конопля. Из табл. 1 видно, что воздействие КД значительно тормозило рост конопли. Подобные данные получены и другими исследователями (19,21). В вариантах 10 ДД+КД и 20 ДД+КД рост растений также тормозился. Если же давали 30 ДД, а затем выращивали на КД, то растения росли как на ДД, т. е. для конопли 30-ти дневный период воздействия ДД был достаточен для того, чтобы процессы роста шли у растений как и на ДД.

По мере увеличения числа ДД закономерно повышается рост растений, диаметр стебля (табл. 1), число и длина междоузлий. КД затормаживает появление новых листьев. В варианте 10 ДД+КД листья появились одновременно с вариантом 20 ДД+КД, а растения в варианте 30 ДД+КД вели себя в этом отношении как растения, выращенные на ДД. Так, 24 июня в варианте КД на растениях было 4 пары листьев, в варианте 10 ДД+КД и 20 ДД+КД—5 пар листьев, в варианте 30 ДД+КД и ДД—6 пар листьев, а 9 июля соответственно 6, 8 и 9 пар видимых листьев.

Таким образом, укороченный восьмичасовой день затормаживает процессы развития конопли. Период в тридцать длинных дней, данный короткодневным растениям с проростков, оказывается максимальным для того, чтобы процессы роста у этих растений протекали так же, как и у конопли, выращенной на ДД.

Цветение растений наступало прежде всего в варианте с КД—на 16 дней раньше по сравнению с вариантом ДД, а в варианте 30 ДД+КД и ДД—почти одновременно (табл. 2). В варианте КД увеличивалось число женских растений, а также появились растения с гермафродитными цветками—интерсексы, что отмечали и другие исследователи (7, 9, 20, 21). Значительное смещение пола в сторону увеличения числа мужских растений произошло в вариантах 10 ДД+КД и 20 ДД+КД (табл. 2). По мере повышения числа ДД соотношения полов у растений конопли выравнивались.

Десять и двадцать длинных дней, которые получали растения конопли с появлением всходов, вызывают заметный сдвиг в соотношении полов в мужскую сторону. Дальнейшее увеличение числа длинных дней не ведет к особым изменениям в соотношении полов в посевах конопли, так как дифференциация пола у растений конопли наступает уже в фазе 3-х пар видимых листьев (23).

В дополнительном опыте, проведенном в условиях искусственного освещения (14 тыс. люкс) в оранжерее Института физиологии растений (ИФР) им. К. А. Тимирязева, выяснилось, что сдвиг пола у коноп-

♂	0.7
♀	1.1
♂	0.7
♀	1.2
♂	1.0
♀	1.1
♂	1.3
♀	1.4
♂	1.7
♀	2.0

Влияние фотопериодов на рост растений конопли, см
(среднее арифметическое из 20 растений)

Варианты опыта	24.VI	28.VII	2.VII	9.VII		14.VII		23.VII		Диаметр стебли, см
				♂	♀	♂	♀	♂	♀	пол.
КД	10.0±1.2	13.0±0.85	16.0±1.7	27.0±1.5	22.0±2.1	61.0±4.2	51.0±3.4	84.0±4.5	72.0±2.8	♂ 0.7 ♀ 1.1
10ДД+КД	16.0±0.94	24.0±1.8	24.0±2.1	47.0±1.6	33.0±3.7	78.0±3.2	65.0±4.3	106.0±4.2	90.0±3.5	♂ 0.7 ♀ 1.2
20ДД+КД	31.0±1.5	40.0±2.6	45.0±3.2	69.0±3.5	55.0±2.8	109.0±4.9	84.0±4.8	143.0±3.7	124.0±4.5	♂ 1.0 ♀ 1.1
30ДД+КД	43.0±2.8	65.0±3.4	67.0±3.6	88.0±4.2	--	140.0±5.1	107.0±3.9	170.0±6.3	146.0±3.7	♂ 1.3 ♀ 1.4
ДД	43.0±1.7	65.0±2.5	71.0±2.7	97.0±3.8	--	161.0±4.6	145.0±5.4	208.0±6.2	180.0±4.2	♂ 1.7 ♀ 2.0

ли в сторону женской сексуализации (до 70%) происходит и тогда, когда растения, выращенные на длинном 18-часовом дне в ящиках с почвой до фазы 3-х пар видимых листьев, т. е. через 18 дней после появления всходов, переносились на короткий 8-часовой день.

Шпинат. Наиболее медленно росли растения шпината, находящиеся на КД и в вариантах 30 и 20 КД+ДД (табл. 3). В варианте 10 КД+ДД рост растений шел несколько медленнее растений, находящихся всегда на ДД до разделения пола, а после этого их рост шел одинаково.

Таблица 2

Влияние фотопериодов на цветение и соотношение полов у конопля

Варианты опыта	Цветение				Количество растений, %		
	начало бутонизации	Массовая бутонизация	начало цветения	массовое цветение	♂	♀	интер-сексы
КД	28.VI	2.VII	12.VII	23.VII	35,4+1,2	55,3+2,7	9,3+0,2
10 ДД+КД	28.VI	2.VII	14.VII	23.VII	69,2+2,8	30,8+2,4	—
20 ДД+КД	2.VII	7.VII	17.VII	28.VII	60,8+3,6	39,2+1,1	—
30 ДД+КД	9.VII	14.VII	23.VII	6.VIII	54,2+1,9	45,8+2,6	—
ДД	14.VII	23.VII	28.VII	8.VIII	55,0+3,1	45,0+1,8	—

Таблица 3

Влияние фотопериодов на рост растений шпината, см
(среднее арифметическое из 20 растений)

Варианты опыта	24.VI	28.VI	2.VII	14.VII		23.VII	
				♂	♀	♂	♀
КД	10,5+0,61	13,0+1,5	16,0+1,2	—	—	—	—
ДД	25,5+1,3	41,0+2,4	60,0+4,5	91,0+3,8	74,0+2,4	101,0+4,3	91,0+2,7
10КД+ДД	17,0+1,4	19,0+1,2	28,0+1,3	90,0+3,2	74,0+3,6	97,0+2,9	85,0+3,1
20КД+ДД	13,0+0,48	15,0+1,8	20,0+2,5	53,0+2,6	33,0+1,5	87,0+3,3	68,0+2,8
30КД+ДД	12,5+1,7	13,0+0,74	18,0+1,1	22,0+0,8	18,4+0,7	50,0+2,5	40,0+2,0

Таблица 4

Влияние фотопериодов на цветение и соотношение полов у шпината

Варианты опыта	Цветение				Количество растений, %	
	начало бутонизации	массовая бутонизация	начало цветения	массовое цветение	мужских	женских
КД	Не зацветает				—	—
ДД	21.VI	24.VI	28.VI	2.VII	57,0+1,5	43,0+2,8
10КД+ДД	28.VI	30.VI	2.VII	8.VII	55,3+2,1	44,7+1,3
20КД+ДД	8.VII	14.VII	17.VII	23.VII	56,6+3,2	43,4+2,7
30КД+ДД	14.VII	23.VII	26.VII	1.VIII	30,8+1,4	69,2+1,6

На коротком дне шпинат не перешел к цветению, а в варианте 30 КД+ДД цветение задерживалось на 23 дня по сравнению с ДД (табл. 4). Сдвиг в соотношении мужских и женских растений в сторону зна-

чительного увеличения последних произошел только в варианте 30 КД+ДЛ. Опыт, проведенный в оранжерее ИФР им. К. А. Тимирязева в факторостатных условиях показал, что сдвиг в женскую сторону происходит еще сильнее, если давать растениям шпината 40 коротких дней (♀ — 84%, ♂ — 16%). По мере сокращения числа коротких дней, в посевах шпината увеличивается число мужских растений.

Подводя итоги проделанной работы можно сказать, что влияние длины дня на рост обеих культур подчиняется общей закономерности — чем больше растения получают длинных дней, тем они выше; чем больше получают коротких дней, тем они ниже.

Соотношения полов у растений конопля, выращенных на длинном дне, примерно равны. Короткий день сравнительно с длинным днем вызывает большую детерминацию женской сексуализации и образование интерсексов. Десять и двадцать длинных дней достаточно для того, чтобы вызвать мужскую сексуализацию конопля.

На коротком дне шпинат не зацветает, а сильное изменение сексуализации в женскую сторону происходит только тогда, когда растения получают не менее тридцати коротких дней.

Таким образом, сексуализация короткодневных и длинодневных растений, как показывают проведенные нами опыты, находится в зависимости от длины дня: чем больше растения обоих видов получают коротких дней, тем сильнее проявляется женская сексуализация.

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

Վ. Ն. ԽՐՅԱՆՆԻՆ, ակադեմիկոս Մ. Բ. ԶԱՅԱԿԱՆՈՎ,

Որվա տևողության ազդեցությունը կանեփի և սպանադի
...սեֆուալիզացիայի վրա

Ուսումնասիրվել է տարրեր ֆոտոպերիոդիկ պայմանների ազդեցությունը կանեփի և սպանադի սեռազոյացման հարաբերության վրա:

Պարզվել է, որ երկու տեսակի բույսերի մոտ էլ երկար օրը խթանում է ցողունի աճը, իսկ կարճ օրը արգելակում: Անբարենպաստ երկար օրը դանդաղեցնում է կանեփի ծաղկումը, մինչդեռ սպանադը, որը ի տարբերություն կանեփի, երկար օրվա բույս է և անբարենպաստ ֆոտոպերիոդիկ պայմաններում (կարճ օր) չի ծաղկում:

Կատարված փորձերի արդյունքները թույլ են տալիս եզրակացնել, որ իգական անհատների առաջացումը երկու բուսատեսակների մոտ էլ խթանվում է կարճ օրվա պայմաններում:

ЛИТЕРАТУРА — ТРЦЦЦЦПРРРР

- ¹ Е. Г. Микина, Смещение пола у растений воздействием факторов внешней среды, М., 1952
- ² Л. И. Джапаридзе, Пол у растений, ч. 1, и ч. 2, Тбилиси, 1963, 1965
- ³ Heslop-Harrison, J. Biol. rev., 32, 1, 38 — 99 (1957).
- ⁴ Н. Д. Мизаль, А. И. Жамов, С.-х. биология, т. 4, 3, 387 — 393 (1969).
- ⁵ W. Garner and H. A. Allard Journ. Agr. Res., 18, 153 — 606 (1920).
- ⁶ M. Mollard, Rev. Gener. de Bot., 10, 321 (1898).
- ⁷ H. John Schaffner, Science, 50, 311 (1919).
- ⁸ H. C. Mephee, Journ. Agr. Res., 28, 1067 (1924).
- ⁹ О. А. Вальтер, М. Ф. Лилиенштерн, Труды лабораторий физиологии и биохим. раст., Л., т. 1, 127 — 147 (1934).
- ¹⁰ Л. П. Бреславец, Тр. по прикл. бот., селекции и генетике, сер. 2, 6, 103 — 141 (1934).
- ¹¹ В. И. Левченко, Тр. ВНИИ коноплян, вып. 5, 109 — 124 (1937).
- ¹² E. Matusewicz, Studia nad fotoperiodyzmeni konopi Roznan.
- ¹³ H. A. Borthwick and H. J. Scully, Bot. gas Chicago, 116, 14 (1954)
- ¹⁴ Ф. Е. Руденко, Бот. журн., 41, 6, 868 — 876 (1956).
- ¹⁵ А. И. Аринштейн, З. Е. Лосева, Тр. по прикл. бот., селекции и генетике, т. 31, вып. 3, 201 — 210, 1958
- ¹⁶ В. А. Макаревич, Тр. ВНИИ луб. культур, вып. 24, 157 — 165 (1959)
- ¹⁷ Н. И. Гришко, Тр. ВНИИ коноплян, вып. 8, 197 — 241 (1935).
- ¹⁸ Г. Г. Давидян, Агробиология, 6, 922 — 925 (1963).
- ¹⁹ Г. Г. Давидян, Тр. по прикл. бот., генетике и селекции, т. 35, в. 3, 115 (1963).
- ²⁰ Г. Г. Давидян, Бот. журн., т. 52, 7, 989 — 995 (1967).
- ²¹ В. А. Макаревич, Тр. ВНИИ коноплян, вып. 8, 157 — 164 (1935).
- ²² М. Х. Чайлахян, Л. Н. Мартинович, В. Г. Кочанков, ДАН СССР, 189, 3 662 — 665 (1969).
- ²³ В. Н. Хрянин, Э. Л. Миляева, ДАН СССР, 24, 4 (1977).

