ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ

LIII, № 3

1971

Խմբագրական կոլեգիա

Է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների թեկնածու, Ա. Թ. ԲԱԲԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ, Վ. Մ. ԹԱՌԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ս. Հ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ, Ս. Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատասխանատու խմբագիր), Օ. Մ. ՍԱՊՈՆՋՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ, Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ

Редакционная коллегия

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Э. Г. АФРИКЯН, кандидат биологических наук, А. Т. БАБАЯН, академик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, чл.-корр. АН АрмССР (зам. отв. редактора), С. А. МИРЗОЯН, чл.-корр. АН АрмССР, С. С. МКРТЧЯН, академик АН АрмССР, А. Г. НАЗАРОВ, академик АН АрмССР (отв. редактор), О. М. САПОНДЖЯН, чл.-корр. АН АрмССР, А. А. ТАЛАЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР, В. М. ТАРАЯН, чл.-корр. АН АрмССР, М. Л. ТЕР-МИКАЕЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆ ЕРЕВАН

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ս. Ռ. Մեսչյան—*Սահքի դեպքում կավային բնահողերի սողքի կորերի որոշման եղանակ* 129

ԱՌԱՁԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Ա. Ալեքսանդրյան—*Երկու շտամպների ճնշումը կլոր անցքով կիսահարթության վրա* 136

ԳԱԶԱՅԻՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱ

Ա. Բ. Բաղդասարյան—*Գազերում ջերմության ոչ ստացիոնար հոսքի խնդրի մի քանի ավտոմոդելային լուծումներ* 142

ՖԻԶԻԿԱ

Գ. Մ. Ավակյանց—*Կիսահաղորդիչների ենթակոնտակտային շերտում էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի մասին* 148

Ռ. Հ. Թարխանյան—*Երկակի լիցքավորված մասնիկների էլեկտրադինամիկան* . . . 156

ՊԵՏՐՈԳՐԱՖԻԱ

Հ. Հ. Սարգսյան, Է. Մ. Նալբանդյան—*Ղափանի պղինձ-բազմամետաղային հանքավայրի մերձհանքային պրոպիլիտիզացիայի և դիասպորիզացիայի մասին* . . . 162

ՄԵՏԱՂԱԾՆՈՒԹՅՈՒՆ

Լ. Գ. Յոլկին—*Սևքար-Սարիգյուղի մանգանային հանքավայրի առաջացման պայմանների մասին* 168

ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ս. Ա. Ազատյան, Է. Ս. Հովսեփյան—CCC-*ի ազդեցությունը ցորենի պառկող և չպառկող սորտերի հատիկի էնդոգեն խթանիչների և արգելակիչների պարունակության վրա* . 173

ՄԻԿՐՈԲԻՈԼՈԳԻԱ

Հ. Կ. Փանոսյան, Լ. Գ. Փուշինյան—*Դեղձենու արմատային ոլորտի մի քանի միկրոօրգանիզմների ֆերմենտային ակտիվության հարցի շուրջը* 180

ԱԳՐՈՔԻՄԻԱ

Ա. Շ. Գալստյան, Է. Գ. Սաճակյան—*Հողի հիդրոքսիլամինռեդուկտազային ակտիվության որոշման մեթոդը* 184

ՄԻՋԱՏԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Ե. Տեր-Մինասյան—*Նոր ճաճկակնճիթներ Միջին Ասիայից* (Coleoptera, Curculionidae) 187

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИКА

С. Р. Месчян—Метод определения кривых ползучести глинистых грунтов при сдвиге 129

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

М. А. Александрян—Вдавливание двух штампов в полуплоскость с круговым отверстием 135

ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА

А. Б. Багдасарян—Некоторые асимптотические решения задачи неустановившегося потока тепла в газах 142

ФИЗИКА

Г. М. Аванесянц—О концентрации электронов в приконтактном слое полупроводника 148

Р. Г. Тарханян—Электродинамика дуально заряженных частиц 156

ПЕТРОГРАФИЯ

Г. А. Саркисян, Э. М. Налбандян—Об околорудной пирофиллитизации и диаспоризации на Кафанском медно-полиметаллическом месторождении 162

МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Л. И. Яшвили—Об условиях формирования Севкар Саригюхского месторождения марганца 164

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

С. А. Алатян, Э. С. Авундян—Влияние ретарданта ССС на содержание стимуляторов и ингибиторов роста в зерне полегающего и неполегающего сортов пшеницы 173

МИКРОБИОЛОГИЯ

А. К. Пиносян, Л. П. Пучинян—К вопросу о ферментативной активности некоторых микроорганизмов ризосферы персика 180

АГРОХИМИЯ

А. Ш. Галстян, Э. Г. Саакян—Метод определения активности гидроксиламинредуктазы почвы 181

ЭНТОМОЛОГИЯ

С. М. Яблоков-Хизорян—Новые скрытнохоботники из Средней Азии (Coleoptera, Curculionidae) 187

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 624.131.542:624.131.221

МЕХАНИКА

С. Р. Месчян

Метод определения кривых ползучести глинистых грунтов при сдвиге

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 12/VII 1971)

Для определения закономерностей и характеристик ползучести материалов вообще, глинистых грунтов, в частности, нами [1, 2] разработан достаточно простой метод определения кривых и характеристик компрессионной ползучести скелета глинистых грунтов, основанный на испытании двух (четырех—при двухкратной повторности опыта) образцов-близнецов. Аналогичный метод [3] был разработан и для определения кривых и характеристик компрессионной термоползучести. Эти методы применимы только для определения однотипных (подобных) кривых ползучести. Указанное условие соблюдается всегда при компрессионных испытаниях, так как при любом уровне напряжений деформации ползучести грунта имеют затухающий характер.

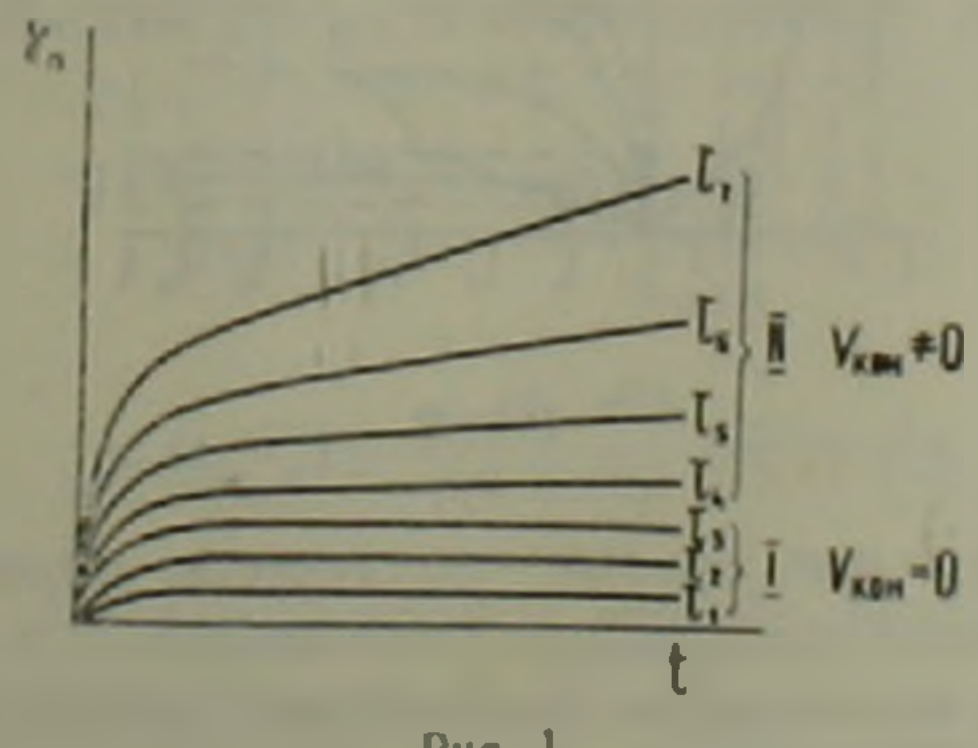


Рис. 1

При любом заданном состоянии деформации ползучести глинистых грунтов при сдвиге (точно так же при одноосном и трехосном сжатиях), в зависимости от величины напряжения, могут иметь как затухающий, так и незатухающий характер (рис. 1). Поэтому предложенный нами ранее метод [2] может быть использован либо для оп-

ределения группы кривых затухающих деформаций (I), либо — группы кривых незатухающих деформаций ползучести (II).

Для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) можно воспользоваться указанным выше методом раздельного определения групп кривых ползучести типов (I) и (II). Тогда, в отличие от [2], надо (при двух различных постоянных напряжениях τ^{I} и τ^{II}) определить две экспериментальные кривые ползучести. Одна из этих кривых должна принадлежать к группе кривых (I), а вторая — к группе кривых ползучести типа (II) (рис. 2). Кроме того, как и в [2], из эксперимента следует определить также одну кривую ползучести при ступенчато-возрастающей нагрузке. При этом интервалы приложения ступеней нагрузок при $\tau \leq 0{,}4\,\tau_{cд}$ можно принять равными 8—10 дн., а при $\tau > 0{,}4\,\tau_{cд}$ — 20—30 дн. ($\tau_{cд}$ — стандартное сопротивление грунта сдвигу, τ — касательное напряжение).

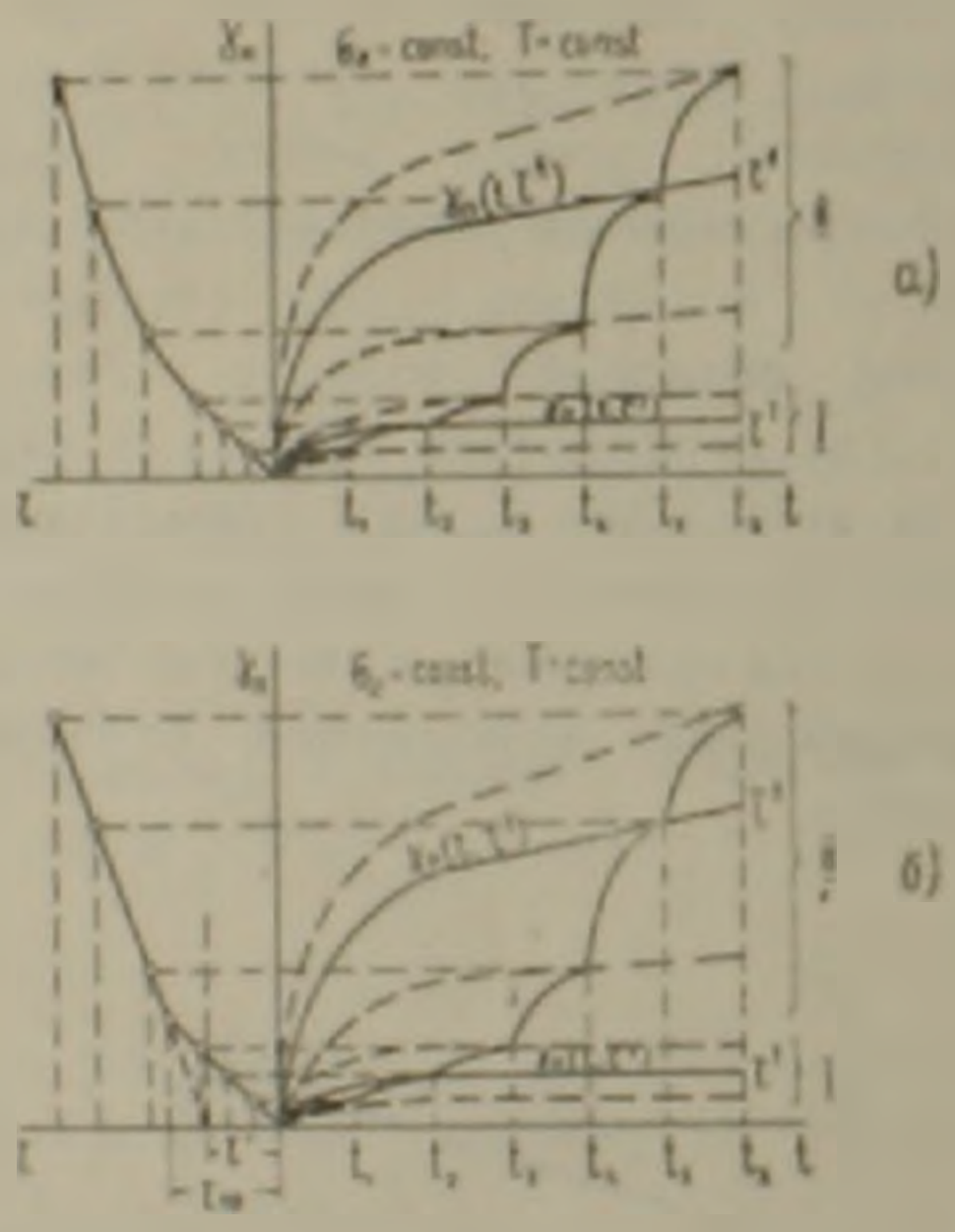


Рис. 2

Экспериментальные кривые ползучести, определяемые при двух различных значениях постоянных напряжения τ^{I} и τ^{II} и при ступенчато-возрастающем касательном напряжении, на правой части графика рис. 2 показаны сплошными линиями.

Таким образом, для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) следует испытать не два (четыре — при двухкратной повторности опыта), а три (шесть — при двухкратной повторности опыта) образца-близнеца. Как и ранее [2], по кривой ползучести, определенной при ступенчато-возрастающем напряжении, строится кривая зависимости $\gamma = f(\tau)$, а по ней определя-

ется функция напряжения $F(\tau)$ (рис. 2). Затем, используя выражение $F(\tau)$ и экспериментальные кривые ползучести типов (I) и (III), полученные при двух различных значениях τ^{I} и τ^{II}, определяются кривые ползучести указанных двух групп, которые на правой части графика рис. 2 показаны штриховыми линиями.

Например, если в общем случае зависимость между деформациями ползучести $\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{I})$, определенными из эксперимента при τ^{I}, и касательными напряжениями записать в виде

$$\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{I}) = \omega^{I}(t)\, F(\tau^{I}). \qquad (1)$$

в виду ползучести $\omega^{I}(t)$ определить по выражению

$$\omega^{I}(t) = \frac{\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{I})}{F(\tau^{I})}. \qquad (2)$$

По кривые ползучести типа (I), для отличных от τ^{I} напряжений, можно будет определить по следующей зависимости:

$$\gamma_{\text{п}}(t, \tau_{a}^{I}) = \omega^{I}(t) \cdot F(\tau_{a}^{I}) = \frac{\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{I})}{F(\tau^{I})} F(\tau_{a}^{I}), \qquad (3)$$

где $\gamma_{\text{п}}(t, \tau_{a}^{I})$ — деформация ползучести при τ_{a}^{I}; $F(\tau_{a}^{I})$ — функция напряжения при данном напряжении τ_{a}^{I} ($\tau_{a}^{I} \neq \tau^{I}$).

По аналогии с изложенным выше, кривые типа (II) для напряжений, отличных от τ^{II}, можно определить по выражению

$$\gamma_{\text{п}}(t, \tau_{a}^{II}) = \omega^{II}(t) \cdot F(\tau_{a}^{II}) = \frac{\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{II})}{F(\tau^{II})} F(\tau_{a}^{II}). \qquad (4)$$

Когда зависимость $\gamma = f(\tau)$ аппроксимируется ломаной линией (рис. 2, *б*), зависимости (3) и (4) соответственно запишутся в следующем виде:

$$\gamma_{\text{п}}(t, \tau_{a}^{I}) = \frac{\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{I})}{\tau^{I}} \tau_{a}^{I}, \qquad (3a)$$

$$\gamma_{\text{п}}(t, \tau_{a}^{II}) = \frac{\gamma_{\text{п}}(t, \tau^{II})}{(\tau^{II} - \tau^{I})} (\tau_{a}^{II} - \tau^{I}), \qquad (4a)$$

где τ^{I} — отрезок, отсекаемый прямой второго участка зависимости $\gamma = f(\tau)$ на оси напряжений (рис. 2, *б*).

Теперь надо решить вопрос об определении областей распространения затухающих и незатухающих деформаций ползучести — определить границы перехода из одной области деформирования в другую, которая совпадает с предельным напряжением сдвига τ_{0} (порог ползучести по Н. Н. Маслову [4]).

Многочисленными экспериментами установлено [1 – 4], что кривые зависимости $\gamma_{\text{п}} = f(\tau)$, за исключением отдельных случаев, хоро-

но аппроксимируются ломаной линией (рис. 2, *б*). На основании этого было высказано мнение (1), что при сдвиге существуют две области деформирования, граница между которыми определяется напряжением $\tau_{пр} = \tau_0$, называемым пределом структурной прочности грунта. Предел структурной прочности грунта определяется напряжением, соответствующим точке перелома кривой зависимости $\gamma_n = f(\tau)$, представленной ломаной линией (рис. 2, *б*). Установлено, что в первой области деформирования деформации ползучести являются затухающими, а во второй области — незатухающими, переходящими в течение. По нашим данным (1) среднее значение $\tau_{пр\ ср} = \tau_0 \approx 0{,}45\,\tau_{сд}$. Аналогичные результаты получили ранее К. Терцаги и Р. Пек (7).

Исходя из изложенного выше, можно рекомендовать экспериментальные кривые ползучести типов (I) и (II) определить при следующих постоянных напряжениях: $\tau^{I} = 0{,}3\,\tau_{сд}$ и $\tau^{II} = 0{,}6$ или $0{,}7\,\tau_{сд}$. Тогда кривые ползучести, соответствующие напряжениям $\tau^{I}_{c} = 0{,}1$ и $0{,}4\,\tau_{сд}$, можно будет определить по выражениям (3) и (3а), а кривые при $\tau^{II}_{c} = 0{,}5 \div 0{,}85\,\tau$ — по выражениям (4) и (4а).

При аппроксимации зависимости $\gamma_n = f(\tau)$ (рис. 2, *а*) $\tau_{пр} = \tau_0$ можно определить по одному из существующих методов (1, 6). Описание семейства кривых ползучести, полученного в результате раздельного определения кривых двух групп (I) и (II), и определение характеристик ползучести грунта при сдвиге выполняется по известным методам (1).

Следует здесь же отметить, что понятие предела структурной прочности, конечно, содержит в себе некоторую условность, обусловленную не скачкообразным, а постепенным разрушением структуры грунта.

На одном примере* экспериментального исследования ползучести глинистого грунта (табл. 1) при сдвиге, выполненного испытанием под водой кольцевых образцов на кручение в модернизированных нами приборах „Гидропроект" (3), проверим применимость изложенного выше метода для определения семейства кривых ползучести (рис. 3).

Таблица 1

Характеристики физических свойств грунта 19–69

Лабораторный номер грунта	Наименование	Сложение	Удельный вес, $г/см^3$ ($\gamma_{уд}$)	Объемный вес, $г/см^3$ (γ)	Влажность начальная (w_0), %	Степень влажности начальная (G_0)
19–69	Элювиальная глина (г. Ереван)	Естественное	2,62	1,92	27,05	0,96

* Эксперименты выполнены Р. Р. Галстяном под руководством и при участии автора.

Испытано пять пар образцов-близнецов, из коих четыре пары при постоянных относительных касательных напряжениях $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0{,}3$; 0,5; 0,7 и 0,85, а одна пара при напряжениях, возрастающих ступенями, $\frac{\tau}{\tau_{сд}} = 0{,}1 - 0{,}3 - 0{,}5 - 0{,}7 - 0{,}85$. Результаты опытов в виде экспериментальных кривых ползучести на правой части графика рис. 3 показаны сплошными линиями. На левой части того же графика приведены кривые зависимости $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$.

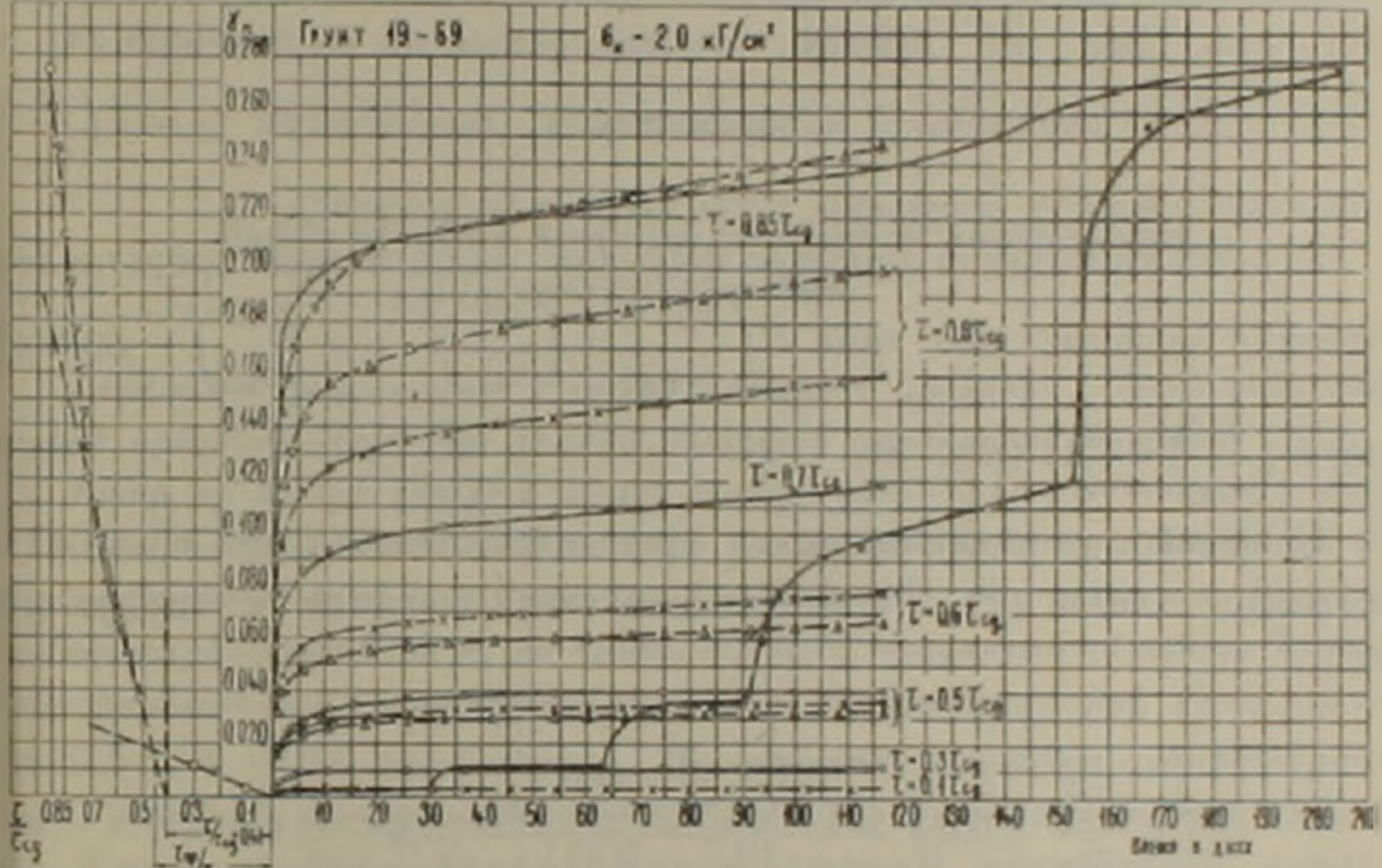


Рис. 3

В рассматриваемом примере (рис. 3) зависимость $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ в пределах $\frac{\tau^{I}}{\tau_{сд}} = 0{,}1 - 0{,}3$, как и ранее (1), с достаточной точностью подчиняется линейному закону. В пределах $\frac{\tau^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}5 - 0{,}8$ зависимость $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ аппроксимируется кривой, показанной штрих-треугольниками. Для иллюстрации примера определения кривых ползучести типа (II) при аппроксимации зависимости $\gamma_n = f(\tau/\tau_{сд})$ ломаной линией, эта часть указанной зависимости представлена и прямой, показанной штриховой линией.

Исходя из изложенного выше, по выражению (3а) определена кривая ползучести в случае $\tau^{I} = 0{,}1\ \tau_{сд}$ (тип. I). Кривые ползучести (II) при напряжениях $\tau^{II} = 0{,}5$; 0,6; 0,8 и 0,85 $\tau_{сд}$ определены для указанных выше двух аппроксимациях зависимости $\gamma_n = f\left(\frac{\tau}{\tau_{сд}}\right)$. При

определении кривых ползучести приведенными выше выражениями в качестве экспериментальной кривой ползучести типа (I) использована кривая, определенная при $\tau^{I} = 0{,}3\,\tau_{сд}$, а типа (II)—кривая, определенная при $\tau^{II} = 0{,}7\,\tau_{сд}$.

Кривая ползучести типа (I) при $\tau_{к}^{I} = 0{,}1\,\tau_{сд}$, которая определена по выражению (3а), на правой части графика рис. 3 показана штрих-крестиками. Кривые ползучести типа (II) ($\tau_{к}^{II} = 0{,}5 - 0{,}8\,\tau_{сд}$), при аппроксимации зависимости $\gamma_{п} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{сд}}\right)$ ломаной линией, определены по выражению (4а). Они на графике рис. 3 также показаны штрих-крестиками. Эти же кривые, определенные по выражению (4), то есть исходя из нелинейной аппроксимации зависимости $\gamma_{п} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{сд}}\right)$, на том же графике показаны штрих-треугольниками.

В рассматриваемом примере функция напряжения представлена степенной зависимостью вида $F\left(\frac{\tau_{к}^{II}}{\tau_{сд}}\right) = \left(\frac{\tau_{к}^{II}}{\tau_{сд}}\right)^{3{,}78}$, а $\left(\frac{\tau^{I}}{\tau_{сд}}\right)$ принята равной $\left(\frac{\tau^{I}}{\tau_{сд}}\right) = 0{,}41$ (рис. 3).

Например, для определения кривых ползучести при $\tau_{к}^{II} = 0{,}6\,\tau_{сд}$ выражения (4а) и (4) соответственно записываются в следующем виде:

$$\gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau_{к}^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}6\right) = \frac{\gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}7\right)}{(0{,}7 - 0{,}41)}(0{,}6 - 0{,}41) =$$

$$= 0{,}665 \cdot \gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}7\right). \qquad (4а')$$

$$\gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau_{к}^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}6\right) = \frac{\gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}7\right)}{0{,}7^{3{,}78}} 0{,}6^{3{,}78} =$$

$$= 0{,}558 \cdot \gamma_{п}\left(t,\ \frac{\tau^{II}}{\tau_{сд}} = 0{,}7\right). \qquad (4')$$

Из этого следует, что для получения кривой $\tau_{к}^{II} = 0{,}6\,\tau_{сд}$ (рис. 3) ординаты экспериментальной кривой, определенной при $\tau_{к}^{II} = 0{,}7\,\tau_{сд}$, надо умножить на 0,655 и 0,558 соответственно.

Сопоставление кривых ползучести типов (I) и (II), определенных по выражениям (3а) и (4), с экспериментальными кривыми показывает их вполне удовлетворительное совпадение (рис. 3). Что же касается кривых типа (II), определенных по выражению (4а), то есть при аппроксимации зависимости $\gamma_{п} = f(\tau/\tau_{сд})$ ломаной линией, то (за

исключением $\tau_*^{II} = 0{,}8$ и $0{,}85\,\tau_{c1}$) их совпадение с экспериментальными кривыми также вполне удовлетворительное.

Резюмируя изложенное выше, можно заключить, что для определения семейства кривых ползучести при сдвиге (одноосном и трехосном сжатиях) можно применить метод испытания трех (шести—при двухкратной повторности опыта) образцов-близнецов, который почти на половину сокращает общий объем экспериментальных работ.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ռ. ՄԵՍՉՅԱՆ

ՍաՒրի դեպքում կավային բնահողերի սողքի կորերի որոշման եղանակ

Հոդվածում շարադրված է սահքի դեպքում կավային բնահողերի սողքի կորերի որոշման հեղինակի կողմից մշակված գործնական եղանակ։

Քանի որ սահքի դեպքում սողքի կորերի ընտանիքը բաժանվում է մարող (I) և չմարող (II) ձևափոխությունների կորերի խմբերի, ապա հեղինակի կողմից նախկինում մշակված մոտավոր եղանակը (2) այս դեպքում կիրառելու համար փորձարկվում են ոչ թե երկու, այլ երեք երկվորյակ նմուշներ։ Դրանցից մեկը փորձարկվում է աստիճաններով աճող բեռնվածքով, իսկ մյուս երկուսը՝ $\tau^{I} = 0{,}3\,\tau_{c1}$ և $\tau^{II} = 0{,}6$ (կամ $0{,}7$) τ_{c1} հաստատուն շոշափող բեռնվածքներով (τ_{c1} բնահողի սահքի ստանդարտ դիմադրություն)։ Ունենալով այս երեք կորերը և դրանց մաթեմատիկական ապրոքսիմացիայի արդյունքները, օգտվելով հեղինակի երկու նմուշների փորձարկման եղանակից, զատ-զատ որոշվում են մարող և չմարող ձևափոխությունների կորերի խմբերը։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *С. Р. Месчян.* Ползучесть глинистых грунтов. Изд. АН Арм. ССР. Ереван. 1967. [2] *С. Р. Месчян,* «Известия АН Арм. ССР», серия физ.-мат. наук, т. 17, № 3 (1964). [3] *Р. Р. Галстян, С. Р. Месчян,* «Известия АН Арм. ССР», серия Механика, т. 24, № 1 (1971). [4] *Н. Н. Маслов.* К вопросу об условиях проявления ползучести глинистых грунтов в основании подпорных сооружений. Научные доклады высшей школы. «Строительство», № 1. 1958. [5] *E. Geuse, Tan Tjong-Kie.* The mechanical behavior of clays. Proc. of the second Intern. congress on Rhelogy, London, 1954. [6] *М. Н. Гольдштейн, С. С. Бабицкая, В. А. Мизюмский.* „Вопросы геотехники", № 5. 1962

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 539.3

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

М. А. Александрин

Вдавливание двух штампов в полуплоскость с круговым отверстием

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 3/V 1971)

Рассматривается задача о вдавливании двух симметрично расположенных штампов в упругую полуплоскость с круговым отверстием под действием нормальных сил величины P. Трение между штампами и полуплоскостью отсутствует. Внешняя граница полуплоскости вне штампов, а также контур отверстия для простоты считается свободным от внешних нагрузок.

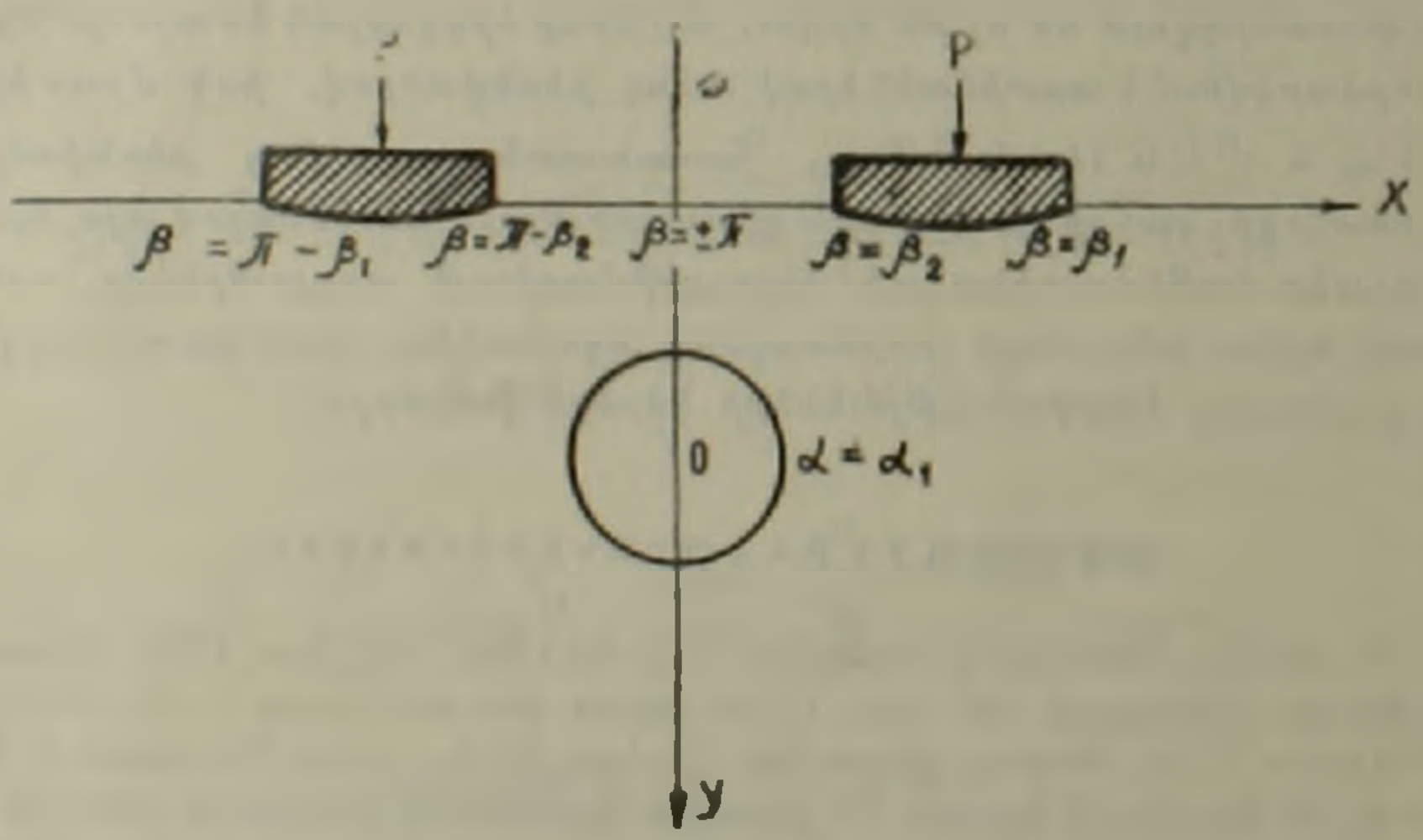


Рис. 1

Задача решается в биполярной системе координат методом Фурье. Известно ([1]), что плоская задача теории упругости в биполярных координатах сводится к решению дифференциального уравнения —

$$\left| \frac{\partial^4}{\partial\alpha^4} + 2\frac{\partial^4}{\partial\alpha^2\partial\beta^2} + \frac{\partial^4}{\partial\beta^4} - 2\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + 2\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + 1 \right| (g\Phi) = 0, \qquad (1)$$

где $ag = \operatorname{ch}\alpha - \cos\beta$ — масштаб преобразования, a — параметр, а $\Phi(\alpha, \beta)$ — функция напряжения.

В силу симметрии задачу решаем для половины основной области ($\beta > 0$), требуя при этом выполнение условий симметрии:

$$\tau_{\alpha\beta} = v = 0 \text{ при } \beta = 0,\ \pi$$

Для рассматриваемой задачи граничные условия имеют вид:

$$\tau_{\alpha\beta}(\alpha_1,\ \beta) = \tau_{\alpha\beta}(0,\ \beta) = \sigma_\alpha(\alpha_1,\ \beta) = 0,\ (0 < \beta < \pi)$$
$$u(0,\ \beta) = f_1(\beta),\quad (\beta_1 < \beta < \beta_2) \tag{3}$$
$$\sigma_\alpha(0,\ \beta) = f_2(\beta),\quad (0 < \beta < \beta_1;\ \beta_2 < \beta < \pi)$$

Решение уравнения (1) ищем в виде [1]

$$g\,\Phi(\alpha,\ \beta) = A\,\mathrm{sh}\,\alpha + B\,\mathrm{ch}\,\alpha + \sum_{k=1}^{\infty} \psi_k(\alpha)\cos k\beta, \tag{4}$$

где функции $\psi_k(\alpha)$ определяются соотношениями:

$$\psi_k(\alpha) = E_k\,\mathrm{sh}\,k(\alpha_1 - \alpha)\,\mathrm{sh}\,(\alpha_1 - \alpha) + G_k\,\mathrm{sh}\,k(\alpha_1 - \alpha)\,\mathrm{sh}\,\alpha -$$
$$- F_k\,\mathrm{sh}\,k\alpha\,\mathrm{sh}\,(\alpha_1 - \alpha) + H_k\,\mathrm{sh}\,k\alpha\,\mathrm{sh}\,\alpha,\quad k \geqslant 2 \tag{5}$$
$$\psi_1(\alpha) = E_1\,\mathrm{sh}\,2\alpha + G_1\,\mathrm{ch}\,2\alpha + F_1\alpha + H_1.$$

Удовлетворяя граничным условиям, получаем ряд соотношений для определения коэффициентов Фурье. Рассматривая эти соотношения как интегральные уравнения Вольтера и решая их [2], получаем следующие тройные тригонометрические ряды-уравнения по косинусам:

$$\sum_{k=1}^{\infty} Y_k \cos k\beta = C\cos\beta + F(\beta),\quad (0 < \beta < \beta_1)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{Y_k}{k}(1 - M_k)\cos k\beta = Y_0\cos\beta + Y\sin\beta + F_1(\beta),\quad (\beta_1 < \beta < \beta_2) \tag{6}$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} Y_k \cos k\beta = F(\beta),\quad (\beta_2 < \beta < \pi)$$

где $F(\beta)$ и $F_1(\beta)$ выражаются через граничные функции $f_i(\beta)$ $(i = 1,\ 2)$ соотношениями

$$F(\beta) = -\frac{f_2(\beta)}{1 - \cos\beta} - \int_0^{\beta} \frac{\sin x\cos\beta + (1 - \cos x)\sin\beta}{(1 - \cos x)^2} f_2(x)\,dx,$$
$$(0 < \beta < \beta_1)$$

$$F(\beta) = -\frac{f_2(\beta)}{1-\cos\beta} + \int_{\beta}^{\pi} \frac{\sin x\cos\beta + (1-\cos x)\sin\beta}{(1-\cos x)^2} f_2(x)\,dx,$$

$$(\beta_2 < \beta < \pi)$$

$$F_1(\beta) = -\frac{2\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu}\left[\sin\beta\int_{\beta}^{\beta_2}\frac{f_1(x)\,dx}{1-\cos x} + f_1(\beta)\right], \quad (\beta_1 < \beta < \beta_2)$$

а остальные постоянные определяются по формулам:

$$k^2\psi_k(0) = Y_k, \quad (k = 2, 3\cdots\cdots)$$

$$(k^2-1)\int_0^{\alpha}\psi_k(\alpha)\,d\alpha = -\frac{2}{k}(1-M_k)Y_k, \quad (k = 2, 3\cdots\cdots) \tag{8}$$

$$M_k = \frac{-2k^2\operatorname{sh}^2\alpha_1 - k\operatorname{sh}\alpha_1 - 1 + e^{-2k\alpha_1}}{\operatorname{sh}2k\alpha_1 + k\operatorname{sh}2\alpha_1 - 2k^2\operatorname{sh}^2\alpha_1 - k\operatorname{sh}\alpha_1 - 1 + e^{-2k\alpha_1}}.$$

Тройные уравнения типа (6) были рассмотрены в работе (3), где система сводится к интегральному уравнению первого рода, а последнее решается методом М. Г. Крейна. Здесь мы нашли удобным решить тройные уравнения (6) применяя результаты, полученные Л. Н. Чибриковой (4). После определения Y_k старые неизвестные будем определять по формулам:

$$G_k = -\frac{k^2-1}{k^2\Delta k}Y_k(1-M_k)\operatorname{sh}k\alpha_1; \qquad F_k = -\frac{k^2-1}{k\Delta k}Y_k(1-M_k)\operatorname{sh}\alpha_1$$

$$E_k = H_k = 0; \quad \Delta k = \operatorname{sh}k\alpha_1\operatorname{ch}k\alpha_1 + k\operatorname{sh}\alpha_1\operatorname{ch}\alpha_1$$

$$\psi_1(0) - C_1 = Y_1; \quad Y_0 = Y_1 - \frac{\mu A}{\lambda+2\mu};$$

$$Y = \frac{(Y_1 - Y_0)\sin\beta_1 - \sum_{k=2}(1-M_k)k^{-1}Y_k\sin k\beta_1}{1-\cos\beta_1}.$$

Для решения тройных уравнений (6) введем обозначение

$$h(\beta) = \sum_{k=1} Y_k\cos k\beta, \quad (\beta_1 < \beta < \beta_2) \tag{10}$$

тогда из (6) и (10) получим

$$\frac{\pi}{2}Y_k = \int_0^{\beta_1}|F(x) + C\cos x|\cos kx\,dx + \int_{\beta_1}^{\beta_2}F(x)\cos kx\,dx +$$

$$+\int_{\beta_1}^{\beta_2} h(x)\cos kx\,dx. \qquad (11)$$

Подставляя значение Y_0 во второе уравнение (6) для определения функции $h(x)$ получаем следующее интегральное уравнение:

$$\frac{1}{2}\int_{\beta_1}^{\beta_2} h(x)\ln\frac{1}{4\sin\frac{x+\beta}{2}\sin\frac{|x-\beta|}{2}}=\int_{\beta_1}^{\beta_2} h(x)\sum_{k=1}^{\infty} M_k\frac{\cos kx\cos k\beta}{k}\,dx$$

$$+F_2(\beta),\quad (\beta_1<\beta<\beta_2) \qquad (12)$$

где $F_2(\beta)$ известная функция

$$F_2(\beta)=\frac{\pi}{2}\left[Y_0\cos\beta+Y\sin\beta+F_1(\beta)\right]-\int_0^{\beta_1} F(x)\,s_0(\beta,\ x)\,dx-$$

$$-\int_{\beta_1}^{\pi} F(x)\,s_0(\beta,\ x)\,dx-\int_0^{\beta_2}\cos x\,s_0(\beta,\ x)\,dx. \qquad (13)$$

Принимая $h(-x)=h(x)$ уравнение (12) можно представить в виде:

$$\int_L h(x)\operatorname{ctg}\frac{x-\beta}{2}\,dx=4F_2(\beta)-\int_L h(x)\,s_1(\beta,\ x)\,dx, \qquad (14)$$

где L совокупность отрезков $[\pi-\beta_2,\ \pi-\beta_1]$ и $[\beta_1,\ \beta_2]$, а $S_1(\beta,\ x)$ определяется формулой:

$$S_1(\beta,\ x)=2\sum_{k=1}^{\infty} M_k\cos kx\sin k\beta. \qquad (15)$$

Известно ([4]), что решение интегрального уравнения

$$\int_L\varphi(\tau)\operatorname{ctg}\frac{\tau-x}{2}\,d\tau=C(x) \qquad (16)$$

имеет вид

$$\varphi(x)=-\frac{X(x)}{4\pi^2}\int_L\frac{C(\tau)}{X(\tau)}\operatorname{ctg}\frac{\tau-x}{2}\,d\tau-\frac{\beta_1}{\pi}X(x)\sin x, \qquad (17)$$

где

$$X(z)=e^{\Gamma(z)}\prod_{k=1}^{4}\left(\sin\frac{z-c_k}{2}\right)^{\alpha_k}=$$

$$= \left(\sin \frac{a+z}{2} \sin \frac{b+z}{2} \sin \frac{b-z}{2} \sin \frac{z-a}{2} \right)^{-1/2},$$

$$F(z) = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{\sin \frac{a+z}{2} \sin \frac{b-z}{2}}{\sin \frac{b+z}{2} \sin \frac{a-z}{2}} \pm \frac{\pi i}{2}, \quad \gamma = \sum_{k=1}^{4} \gamma_k = 2$$

Пользуясь решением (17) сингулярное интегральное уравнение (14) можно представить в виде

$$h(x) = -\frac{X(x)}{4\pi^2} \int_L \left| 4F_2(\beta) - \int_L h(z) S_2(\beta, z)\, dz \right| \operatorname{ctg} \frac{\beta - x}{2} \frac{d\beta}{X(\beta)} +$$

$$+ \frac{B_1}{\pi} X(x) \sin x. \qquad (18)$$

Здесь коэффициент B_1 определяется через силу P, приложенную на штамп.

Введя новую (ограниченную) неизвестную функцию $H(x)$

$$H(x) = h(x) X^{-1}(x)$$

интегральное уравнение можно представить в окончательном виде

$$H(x) = \int_L K(x, z) H(z)\, dz + g(x), \quad (x \in L) \qquad (19)$$

где введены обозначения:

$$K(x, z) = \sum_{k=1}^{\infty} M_k X(z) \cos kz \int_L \frac{\sin k\beta}{X(\beta)} \operatorname{ctg} \frac{\beta - x}{2} d\beta, \qquad (20)$$

$$g(x) = \frac{B_1}{\pi} \sin x - \frac{1}{\pi^2} \int_L \frac{F_2(\beta)}{X(\beta)} \operatorname{ctg} \frac{\beta - x}{2} d\beta.$$

Нетрудно видеть, что ядро (20) является непрерывной функцией своих аргументов, поэтому уравнение (19) будет уравнением Фредгольма второго рода. Так как $M_k = 0(k^2 e^{-2k\gamma_0})$, то заменяя ядро вырожденным, с любой наперед заданной точностью (ограничиваясь небольшим числом первых членов) можно элементарным путем получить эффективное решение уравнения (19). Пользуясь тем, что ядро $K(x, z)$ имеет вид (20), интегральное уравнение (19) можно привести также к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений, сумма коэффициентов которой в силу (8) будет стремиться к нулю, т. е. эта система будет квази—вполне регулярной.

После определения функции $h(x)$ неизвестное контактное напряжение $\sigma_y(0, \beta)$ будем определять по формуле:

$$a\sigma_y(0, \beta) = -(1-\cos\beta)h(\beta) + \sin\beta\int_{\beta_1}^{\beta} h(y)\,dy -$$

$$-\int_{0}^{\beta}(\beta-\xi)h(\xi)\,d\xi + B(\beta-\beta_1-\sin\beta) - A, \quad (\beta_1<\beta<\beta_2). \qquad (21)$$

где постоянные A и B выражаются через коэффициенты Y_k следующим образом:

$$A=\sum_{k=1}^{n}\frac{1-\cos k\beta_1}{k^2}Y_k; \quad B=\sum_{k=1}^{n}\frac{\sin k\beta_1}{k}Y_k.$$

Отметим, что эти постоянные связаны с силой P и моментом M, действующими на штамп или же с величинами осадки δ и угла поворота γ штампов. Связь между P, M, δ, γ можно получить из уравнений равновесия штампов, используя при этом соотношение (21).

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Ի. Ա. ԱԼԵՔՍԱՆԴՐՅԱՆ

Երկու շտամպների ճնշումը կլոր անցքով կիսահարթության վրա

Դիտարկվում է երկու սիմետրիկ դասավորված շտամպների ճնշման խնդիրը՝ շրջանային խոռոչով կիսահարթության վրա։ Պարզության համար ենթադրված է, որ կիսահարթության եզրը շտամպից դուրս, ինչպես նաև խոռոչի եզրը, ազատ են արտաքին ուժերից։ Խնդիրը լուծված է Ֆուրյեյի մեթոդով, բիպոլյար կոորդինատային սիստեմում։ Խնդիրը բերվում է «հոսակի» շարք հավասարումների լուծմանը՝ ըստ եռանկյունաչափական ֆունկցիաների։

Օգտվելով Լ. Ի. Չիբրիկովայի ստացած արդյունքներից (4) «հոսակի» շարք հավասարումները բերվում են Ֆրեդհոլմի 2 սեռի ռեգուլյար հավասարմանը։ Խնդրի լուծումը կարելի է բերել նաև քվազի—լիովին ռեգուլյար գծային անվերջ հավասարումների սիստեմի։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Я. С. Уфлянд*, Биполярные координаты в теории упругости, Гостехиздат, М.—Л., 1950. [2] *М. А. Александрян*, ДАН Арм. ССР, т. XXXXVI, № 5 (1968). [3] *А. А. Баблоян, С. Н. Мхитарян*, «Известия АН Арм. ССР», Механика, т. XXII, № 6 (1969). [4] *Л. И. Чибрикова*, О решении некоторых полных сингулярных интегральных уравнений. Ученые записки Казанского гос. университета им. В. И. Ульянова—Ленина, т. 122, кн. 3, 1962.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 533.601.

ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА

А. Б. Багдасарян

Некоторые асимптотические решения задачи неустановившегося потока тепла в газах

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 15/V1971)

Пусть полупространство $x>0$ заполнено покоящимся, совершенным, теплопроводным газом. Давление, температура и плотность газа равны P_0, T_0 и ρ_0. В момент $t=0$ внезапно на границе газа $x=0$ возникает температура равная T_1 и сохраняется в дальнейшем постоянно. Ввиду сжимаемости, тепло, проводимое через газ, вызывает не только изменение температуры, но также изменения давления и плотности, которые, в свою очередь, создают движение газа в направлении, нормальном к границе.

Требуется определить возникающее движение газа и распространение температуры, давления и плотности в газе.

Описание этих явлений получается из уравнения Навье-Стокса для теплопроводящей, вязкой, сжимаемой жидкости, из уравнения неразрывности, из уравнения Клапейрона и из уравнения притока тепла ([1]).

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{4}{3}\nu_0\frac{\partial^2 U}{\partial x^2},$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\rho\frac{\partial U}{\partial x}+U\frac{\partial \rho}{\partial x}=0,$$

$$P=\rho RT, \tag{1}$$

$$c_p\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t}+U\frac{\partial T}{\partial x}\right)-A\left(\frac{\partial P}{\partial t}+U\frac{\partial P}{\partial x}\right)=K\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{4}{3}A\mu_0\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2,$$

где U, ρ, P и T — скорость, плотность, давление и температура газа, ν_0 — кинематический коэффициент вязкости, R — газовая постоянная, c_p — теплоемкость при постоянном давлении, $A=(c_p-c_v)/R$ — термический эквивалент работы, c_v — теплоемкость при постоянном объеме, k — коэффициент теплопроводности, μ_0 — вязкость газа, x — расстояние, t — время.

Начальными и граничными условиями являются

$$U(0,\ t) = 0,\ T(0,\ t) = T_1,\ T(x,\ 0) = T_0,$$
$$U(x,\ 0) = 0,\ P(x,\ 0) = P_0,\ \rho(x,\ 0) = \rho_0. \tag{2}$$

Переходя к безразмерным переменным

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{\nu_0 t}},\quad \tau = \frac{P_0}{\mu_0} t \tag{3}$$

и обозначая

$$U(x,\ t) = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}}\, u(\xi,\ \tau),\ P(x,\ t) = P_0\, p(\xi,\ \tau),$$
$$T(x,\ t) = T_0\, l(\xi,\ \tau),\ \rho(x,\ t) = \rho_0 m(\xi,\ \tau) \tag{4}$$

систему уравнений (1) сводим к следующему безразмерному виду

$$\frac{4}{3}\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \left(\frac{\xi}{2} - u\sqrt{\tau}\right)\frac{\partial u}{\partial \xi} - \tau\frac{\partial u}{\partial \tau} - \frac{\sqrt{\tau}}{m}\frac{\partial p}{\partial \xi} = 0,$$
$$\left(u\sqrt{\tau} - \frac{\xi}{2}\right)\frac{\partial m}{\partial \xi} + \tau\frac{\partial m}{\partial \tau} + \sqrt{\tau}\, m\frac{\partial u}{\partial \xi} = 0,$$
$$p = ml, \tag{5}$$
$$\frac{k}{c_p \nu_0 \rho_0}\cdot\frac{\partial^2 l}{\partial \xi^2} + \left(\frac{\xi}{2} m - u\sqrt{\tau}\, m\right)\frac{\partial l}{\partial \xi} - \tau m\frac{\partial l}{\partial \tau} -$$
$$- \frac{\gamma - 1}{\gamma}\left(\frac{\xi}{2} - u\sqrt{\tau}\right)\frac{\partial p}{\partial \xi} + \frac{\gamma - 1}{\gamma}\tau\cdot\frac{\partial p}{\partial \tau} + \frac{4}{3}\frac{\gamma - 1}{\gamma}\left(\frac{\partial u}{\partial \xi}\right)^2 = 0,$$

где $\gamma = c_p/c_v$.

Начальные и граничные условия

$$u(0,\ \tau) = 0,\ u(0,\ \infty) = 0,\ l(0,\ \tau) = T_1/T_0,$$
$$l(\infty,\ 0) = 1,\ p(\infty,\ 0) = 1,\ m(\infty,\ 0) = 1 \tag{6}$$

Для построения асимптотических решений системы уравнений (5). при $\tau \to 0$, $\xi > \xi_0 \gg 1$ искомые функции представим в виде:

$$l(\xi,\ \tau) = 1 + \bar{l}(\xi,\ \tau),$$
$$p(\xi,\ \tau) = 1 + \bar{p}(\xi,\ \tau), \tag{7}$$
$$m(\xi,\ \tau) = 1 + \bar{m}(\xi,\ \tau),$$
$$u(\xi,\ \tau) = \bar{u}(\xi,\ \tau).$$

Подставляя обозначения (7) в систему уравнений (5), легко обнаружить, что величины $\bar{l}(\xi, \tau)$, $\bar{p}(\xi, \tau)$, $m(\xi, \tau)$, $\overline{\tau u}(\xi, \tau)$ имеют одинаковый порядок по τ, при $\tau \to 0$, $\xi > \xi_0$.

Ищем асимптотическое решение системы (5) в виде ряда

$$\begin{aligned} l(\xi, \tau) &= 1 + l_1(\xi) + l_2(\xi)\cdot\tau + \cdots \\ p(\xi, \tau) &= 1 + p_1(\xi) + p_2(\xi)\tau + \cdots \\ m(\xi, \tau) &= 1 + m_1(\xi) + m_2(\xi)\tau + \cdots \\ u(\xi, \tau) &= u_1(\xi)\tau^{1/2} + u_2(\xi)\tau^{3/2} + \cdots \end{aligned} \tag{8}$$

Подставляя эти значения в (5) и собирая члены первой степени, получаем следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{4}{3}\frac{d^2u_1}{d\xi^2} + \frac{\xi}{2}\cdot\frac{du_1}{d\xi} - \frac{u_1}{2} - \frac{dp_1}{d\xi} = 0,$$

$$\frac{dm_1}{d\xi} = 0,\ p_1 = m_1 + l_1, \tag{9}$$

$$\frac{k}{c_p\nu_0\rho_0}\frac{d^2l_1}{d\xi^2} + \frac{\xi}{2}\frac{dl_1}{d\xi} - \frac{\gamma-1}{\gamma}\frac{\xi}{2}\frac{dp_1}{d\xi} = 0$$

с начальными условиями

$$u_1(\infty) = l_1(\infty) = m_1(\infty) = p_1(\infty) = 0. \tag{10}$$

Решение системы (9) с начальными условиями (10) и с учетом, что $\xi \gg 1$, имеет вид

$$u_1(\xi) = m_1(\xi) = 0,\quad p_1(\xi) = l_1(\xi) = C_1\,\mathrm{Erfc}\left(\sqrt{\frac{c_p\nu_0\rho_0}{4k}}\cdot\xi\right), \tag{11}$$

$$\mathrm{Erfc}(x) = \int_x^\infty e^{-s^2}ds,$$

где C_1 — неизвестное постоянное.

С учетом выражений (3), (4), (8) и (11) асимптотическое решение системы (1), при $t \to 0$, $x > x_0$ запишется в виде:

$$\begin{aligned} T(x, t) &= T_0 + C_1\cdot T_0\cdot\mathrm{Erfc}\left(\sqrt{\frac{c_p\nu_0\rho_0}{4k}}\cdot\frac{x^2}{t}\right), \\ P(x, t) &= P_0 + C_1\cdot P_0\cdot\mathrm{Erfc}\left(\sqrt{\frac{c_p\nu_0\rho_0}{4k}}\cdot\frac{x^2}{t}\right), \\ U(x, t) &= 0,\quad \rho(x, t) = \rho_0. \end{aligned} \tag{12}$$

Из полученных решений видно, что в области t близко к нулю, при $x > x_0$ изменение температуры приводит лишь к изменению давления. Частицы газа не успевают переместиться. Плотность не изменяется (теплообмен при постоянной плотности).

В этой области теплообмен совершается так же, как и в твердом теле. Процесс теплопередачи, описываемый полученной формулой (12), обладает тем свойством, что влияние всякого теплового возмущения распространяется мгновенно на все полупространство, т. е. из стены $x = 0$ тепло распространяется так, что уже в следующий момент времени температура газа обращается в начальное значение T_0, лишь асимптотически на бесконечности.

Для построения асимптотических решений системы (5), при $\tau \to \infty$, $\xi < \xi_1 <$ искомые функции представим в виде

$$l(\xi, \tau) = \frac{T_1}{T_0} + \bar{l}(\xi, \tau), \quad p(\xi, \tau) = \frac{P_1}{P_0} + \tilde{p}(\xi, \tau), \tag{13}$$

$$m(\xi, \tau) = \frac{\rho_1}{\rho_0} + \bar{m}(\xi, \tau), \quad u(\xi, \tau) = \tilde{u}(\xi, \tau).$$

где P_1 и ρ_1 значения давления и плотности газа при $t = \infty$. Подставляя обозначения (13) в систему уравнений (5), легко обнаружить, что

величины $\bar{l}(\xi, \tau)$, $\frac{\bar{p}(\xi, \tau)}{}$, $\bar{m}(\xi, \tau)$ и $\frac{\bar{u}(\xi, \tau)}{}$ имеют одинаковый

порядок по τ, при $\tau \to \infty$, $\xi < \xi_1$.

Ищем асимптотическое решение системы (5) в виде ряда

$$l(\xi, \tau) = \frac{T_1}{T_0} + l_1(\xi) + l_2(\xi)\tau + \cdots,$$

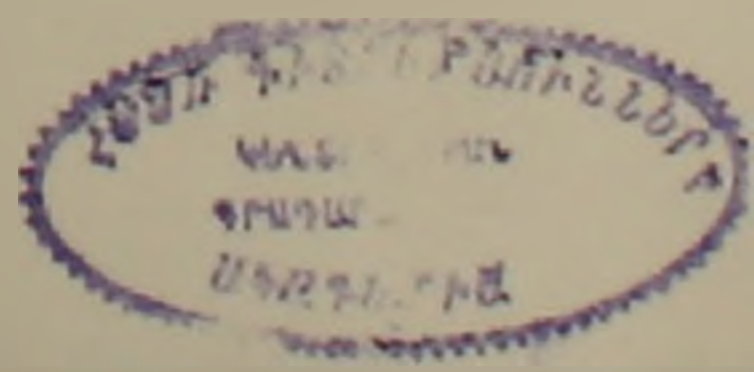
$$m(\xi, \tau) = \frac{\rho_1}{\rho_0} + m_1(\xi) + m_2(\xi)\tau + \cdots, \tag{14}$$

$$p(\xi, \tau) = \frac{P_1}{P_0} + p_1(\xi)\tau^{-1} + p_2(\xi)\tau^{-2} + \cdots,$$

$$u(\xi, \tau) = u_1(\xi)\tau^{-1/2} + u_2(\xi)\tau^{-3/2} + \cdots.$$

Подставляя эти значения в (5) и собирая члены первой степени, получаем следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{8}{3}\frac{d^2u_1}{d\xi^2} + \xi\frac{du_1}{d\xi} + u_1 - \frac{2\rho_0}{\rho_1}\frac{dp_1}{d\xi} = 0,$$



$$\frac{2\rho_1}{\rho_0}\frac{du_1}{d\xi} - \xi\frac{dm_1}{d\xi} = 0, \quad \frac{\rho_1}{\rho_0}l_1(\xi) + \frac{T_1}{T_0}m_1(\xi) = 0, \tag{15}$$

$$-\frac{2k}{c_p\nu_0\rho_1}\frac{d^2l_1}{d\xi^2} + \xi\frac{dl_1}{d\xi} = 0$$

граничные условия

$$u_1(0) = l_1(0) = m_1(0) = p_1(0) = 0. \tag{16}$$

Решение системы (15), с учетом условия (16), запишется в виде

$$l_1(\xi) = C_2\,\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{c_p\nu_0\rho_1}{4k}}\cdot\xi\right),$$

$$m_1(\xi) = -C_2\frac{\rho_1 T_0}{\rho_0 T_1}\,\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{c_p\nu_0\rho_1}{4k}}\cdot\xi\right), \tag{17}$$

$$u_1(\xi) = C_2\frac{T_0}{2T_1}\sqrt{\frac{k}{c_p\nu_0\rho_1}}\exp\left(-\frac{c_p\nu_0\rho_1}{4k}\xi^2\right),$$

$$p_1(\xi) = C_2\frac{\rho_1 T_0}{8\rho_0 T_1}\sqrt{\frac{\pi\cdot k}{c_p\nu_0\rho_1}}\left(1-\frac{4}{3}\frac{c_p\nu_0\rho_1}{k}\right)\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{\rho_1 c_p\nu_0}{4k}}\cdot\xi\right),$$

$$\mathrm{erf}(x) = \frac{2}{\pi}\int_0^x e^{-\eta^2}d\eta.$$

где C_2 — неизвестное постоянное.

С учетом выражений (3), (4), (14), (17), асимптотическое решение системы (1), при $t\to\infty$, $x<x_1$ запишется в виде

$$U(x,\,t) = \frac{C_2T_0}{2T_1}\sqrt{\frac{P_0k}{\rho_0\rho_1c_p\nu_0t}}\exp\left(-\frac{c_p\rho_1x^2}{4kt}\right),$$

$$T(x,\,t) = T_1 + C_2T_0\,\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{c_p\rho_1x^2}{4kt}}\right), \tag{18}$$

$$P(x,\,t) = P_1 + C_2\frac{T_0P_0\rho_1}{T_1\rho_0t}\sqrt{\frac{\pi\cdot k}{c_p\nu_0\rho_1}}\left(1-\frac{4}{3}\frac{c_p\nu_0\rho_1}{k}\right)\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{\rho_1c_p\,x^2}{4kt}}\right),$$

$$\rho(x,\,t) = \rho_1 - \frac{C_2\rho_1T_0}{T_1}\,\mathrm{erf}\left(\sqrt{\frac{c_p\rho_1x^2}{4kt}}\right).$$

Полученные формулы (18) показывают, что при $t\to\infty$, $x<x_1$ изменение температуры приводит к изменению плотности. Изменение давления по сравнению с плотностью имеет порядок малости $1/t$, а скорость частиц — $1/\sqrt{t}$. Получается теплообмен при постоянном давлении. Движение частиц газа останавливается и теплообмен происходит так, как в твердом теле.

Полученные асимптотические решения (12) и (18) можно использовать при численном решении поставленной задачи для уменьшения области интегрирования. Неизвестные постоянные C_1, C_2, ρ_1 и P_1 нужно определить при численном решении задачи.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Ա. Բ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ

Գազերում ջերմության ոչ ստացիոնար հոսքի խնդրի մի քանի ասիմպտոտիկ լուծումներ

Կիսատարածությունը լցված է իրական, ջերմահաղորդող գազով, որի ճնշումը, ջերմաստիճանը և խտությունը հաստատուն էր: Գազի սահմանագծում ջերմաստիճանը հանկարծակի փոփոխվում է և հետագայում պահպանվում է հաստատուն: Գազի սեղմելիության պատճառով, ջերմաստիճանը, որը հաղորդվում է գազով ոչ միայն փոփոխում է գազի ջերմաստիճանը, այլև ստեղծում է գազի շարժում սահմանագծին ուղղահայաց ուղղությամբ:

Այդ երևույթների նկարագրությունը ստացվում է Նավյե-Ստոկսի հավասարումներից՝ ջերմահաղորդող, մածուցիկ, սեղմելի հեղուկի համար: Այդ հավասարումներում անցնելով անչափելի փոփոխականների և գնահատելով որոնելի մեծությունները, կառուցված են ասիմպտոտիկ լուծումներ փոքր և մեծ ժամանակների համար:

Փոքր ժամանակների համար ջերմաստիճանի փոփոխումից փոփոխվում է միայն ճնշումը, գազի մասնիկները չեն հասցնում տեղափոխվել: Ջերմափոխանցումը կատարվում է այնպես, ինչպես պինդ մարմնում:

Բարձր ջերմաստիճանների դեպքում ջերմության փոփոխումը փոփոխում է խտությունը: Ստացվում է ջերմափոխանակում հաստատուն ճնշման դեպքում:

Գազի մասնիկները կանգնում են, ջերմափոխանցումը կատարվում է այնպես, ինչպես պինդ մարմնում:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Р. Мизес*, Математическая теория течений сжимаемой жидкости, М., 1961. [2] *Э. Т. Уиттекер, Дж. Н. Ватсон*. Курс современного анализа, ч. II. М., 1963.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 537.311.33

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц

О концентрации электронов в приконтактном слое полупроводника

(Представлено 26/III 1971)

До сих пор в теории контакта полупроводника с металлом или контакта двух полупроводников, при исследовании распределения электрического поля E вблизи контакта и изменении концетрации носителей тока n в этой области не учитывали квантовой природы носителей тока. Такое состояние теории является несколько логически незавершенным, так как, с другой стороны, квантовые эффекты в приконтактном слое двух твердых тел изучались весьма подробно.

К таким эффектам относится прежде всего тунельный эффект, зонная структура энергетического спектра частиц и ее изменения в приконтактном слое и т. д.

Правда, несмотря на то, что уравнения, определяющие E и n, оставались „классическими", ряд параметров, входящих в эти уравнения (например, подвижность, u, элементарных носителей заряда) с самого начала подсчитывались методами квантовой механики. Между тем, можно ставить задачу о квантовом обобщении самых основных уравнений. В принципе такое обобщение достигается сравнительно просто.

Прежде всего надо написать химический потенциал системы или даже свободную энергию, исходя из квантовой термодинамики (см. напр. [1]). Однако, практически такой прямой метод преобразования „классического" выражения свободной энергии в квантовое оказывается мало эффективным. Дело в том, что полученное т. о. квантовое выражение выглядит сравнительно просто, лишь если квантовые поправки малы. Но тогда и обобщение является в таких случаях излишним. В своем же точном виде свободная энергия не может быть эффективно использована.

Остается путь построения уравнения менее точного, но более эффективного. Такой путь впервые предложен в связи с теорией сверхпроводимости В. Л. Гинзбургом и Л. Д. Ландау [2].

Действия в духе идей В. Л. Гинзбурга и Л. Д. Ландау, мы можем сформулировать следующим образом основной шаг в наших рассуждениях, ведущий в конечном итоге к квантовому диффузионному

уравнению. Будем вместо числа электронов (или дырок) в единице объема полупроводника рассматривать некоторую функцию ψ, которая будет считаться нормированной таким образом, что $n = |\psi|^2$. Естественно, что ψ не является истинной волновой функцией системы электронов (или дырок), но некоторым усредненным значением этой функции ([2]). Рассматривая систему электронов (или дырок) как идеальный газ, находящийся в электрическом поле, описываемым потенциалом Φ, мы можем свободную энергию системы записать через функцию ψ следующим образом:

$$F_{ид} = \varphi(T)|\psi|^2 + |\psi|^2 kT \ln|\psi|^2 + e\Phi|\psi|^2. \qquad (1)$$

Как известно, в квантовой механике с градиентом волновой функции связана определенная энергия, в связи с этим (и это есть второй основной шаг в рассуждениях В. Л. Гинзбурга и Л. Д. Ландау) мы должны дополнить классическую свободную энергию членом вида $\frac{h^2}{2m}|\nabla\psi|^2$, который аналогичен по смыслу плотности кинетической энергии в квантовой механике.

Таким образом мы принимаем, что, по крайней мере, пока $|\nabla\psi|$ мал, свободная энергия идеального газа, находящегося в электрическом поле должна выглядеть при квантово-механическом обобщении следующим образом:

$$F_{кв} = \varphi(T)|\psi|^2 + kT|\psi|^2 \ln|\psi|^2 + e\Phi|\psi|^2 + \frac{h^2}{2m}|\nabla\psi|^2. \qquad (2)$$

Чтобы теперь построить диффузионное уравнение нам нужно найти квантовое выражение для химического потенциала $\mu_{кв}$.

Как известно ([1])

$$\mu = \left(\frac{\partial F}{\partial n}\right)_{T,V}, \qquad (3)$$

что в нашем случае должно быть записано так:

$$\mu = \left(\frac{\partial F}{\partial |\psi^2|^2}\right)_{T,V}. \qquad (4)$$

В дальнейшем мы ограничимся лишь действительными функциями ψ, в таком случае:

$$\mu_{кв} = \varphi'(T) + kT\ln\psi^2 + e\Phi - \frac{h^2}{2m}\frac{\nabla^2\psi}{\psi}. \qquad (5)$$

Как известно, основным шагом при выводе диффузионного уравнения является предположение, что при отклонении системы от равновесия, возникающие при этом потоки частиц в первом приближении пропорциональны градиенту химического потенциала. Обозначая через $\vec{j}$ плотность тока, мы, следовательно, можем записать:

$$\bar{j} = -\gamma\Gamma\mu_{i,i} = -\gamma\left(kT\frac{\nabla\psi^2}{\psi^2} + e\nabla\Phi + \frac{\hbar^2}{2m}\frac{\nabla\psi\nabla^2\psi - \psi\nabla^3\psi}{\psi^2}\right). \quad (6)$$

Величина $u = \frac{\gamma}{n} = \frac{\gamma}{\psi^2}$ выражает собой скорость перемещающих частиц под действием единичной силы ([3]) и носит название подвижности. Следовательно выражение ([6]) мы можем еще записать в таком виде:

$$\bar{j} = -ukT\nabla\psi^2 - u\psi^2 e\nabla\Phi - u\frac{\hbar^2}{2m}(\Gamma\psi\Gamma^2\psi - \psi\nabla^3\psi) \quad (7)$$

Это и есть искомое квантовое обобщение диффузионного уравнения.

Уравнение (7) должно быть дополнено еще одним уравнением в силу того, что у нас две неизвестные функции ψ и Φ. Обычно таким является уравнение Пуассона, которое в случае полупроводников в большинстве случаев пишется в следующем виде ([4]):

$$\nabla^2\Phi = \frac{4\pi eP}{\varepsilon}\left(\frac{\psi_\infty^2}{\psi^2} - \psi^2\right). \quad (8)$$

Здесь P—величина порядка единицы; ψ_∞^2—равновесная концентрация электронов (или дырок) вдали от контакта. Для случая одного измерения система наших уравнений принимает вид:

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} = \frac{4\pi eP}{\varepsilon}\left(\frac{\psi_\infty^2}{\psi^2} - \psi^2\right),$$

$$\frac{j}{u} = -kT\frac{d\psi^2}{dz^2} - \psi^2 e\frac{d\Phi}{dz} - \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{d\psi}{dz}\frac{d^2\psi}{dz^2} - \psi\frac{d^3\psi}{dz^3}\right). \quad (9)$$

Обычная „классическая" система уравнений получается из уравнений (9) при $\hbar \to 0$ и имеет вид:

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} = 4\pi eP\left(\frac{\psi_\infty^2}{\psi^2} - \psi^2\right),$$

$$\frac{j}{u} = -kT\frac{d\psi^2}{dz^2} - e\psi^2\frac{d\Phi}{dz}. \quad (10)$$

Мы теперь рассмотрим контакт двух полупроводников одного типа проводимости (электронной или дырочной) и найдем, исходя из системы (9), электрическое поле и концентрацию носителей заряда в приконтактном слое, при прохождении через последний тока. Затем мы сравним полученные результаты с результатами, полученными для того же примера, найденными с помощью системы (10) ([4]).

Граничные условия нашей задачи могут быть сведены к двум требованиям. Во-первых, на контакте должна быть непрерывной нормальная составляющая вектор электрической индукции.

Если мы выберем плоскость $z = 0$, как границу раздела двух полупроводников, то, следовательно, будем иметь:

$$\varepsilon' F'(0) = \varepsilon'' E''(0). \tag{11}$$

Здесь ε — диэлектрическая постоянная полупроводника. Один и два штриха различают, соответственно, величины, относящиеся к первому и второму полупроводнику. Второе граничное условие выражает факт равенства потока электронов из одного полупроводника в другой, в стационарном состоянии. Если принять, как это и имеет место обычно, что скорости приобретаемые электронами в электрическом поле внутри полупроводника малы по сравнению с тепловыми скоростями, то второе граничное условие может быть записано в наших обозначениях следующим образом (¹).

$$\frac{\psi'(0)}{\psi'_\infty} = \frac{\psi''(0)}{\psi''_\infty}. \tag{12}$$

Решение системы (9) производим методом последовательных приближений. С этой целью ψ и E разлагаем в ряд по степеням проходящего через контакт тока j:

$$\begin{aligned} \psi &= \psi_\infty + \psi_1 + \psi_2 + \cdots \\ E &= E_1 + E_2 + E_3 + \cdots \end{aligned} \tag{13}$$

Подставляя ряды (13) в (9). и ограничиваясь первым приближением, получаем следующие уравнения для $E_1 \left(= -\frac{d\Phi_1}{dz} \right)$ и ψ_1

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^3\psi_1}{dz^3} + e\psi_\infty E_1 - 2kT \frac{d\psi_1}{dz} = 0, \tag{14}$$

$$\varepsilon \frac{dE_1}{dz} = 16\pi e P \psi_\infty \psi_1$$

Дифференцируя первое уравнение по z и исключая из него с помощью второго уравнения $\frac{dE_1}{dz}$, получаем уравнение для ψ_1

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^4\psi_1}{dz^4} - 2kT \frac{d^2\psi_1}{dz^2} + \frac{16\pi e^2 P \psi_\infty^2}{\varepsilon} \psi_1 = 0. \tag{15}$$

Легко проверить, что решение уравнения (15) можно записать в следующем виде:

$$\psi_1 = A\cos\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{\beta-\alpha^2}}{(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}}z\cdot e^{\frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}z} +$$

$$+ B\cos\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{\beta-\alpha^2}}{(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}}z\cdot e^{-\frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}z} \qquad (16)$$

Здесь A и B произвольные постоянные. Очевидно, что мы должны положить $A=0$ для полупроводника, лежащего справа от плоскости $z=0$, так как в глубине полупроводника ψ должно переходить в ψ_∞, а для полупроводника, лежащего слева от $z=0$, напротив, принять $B=0$. Далее в (16) введены следующие сокращенные обозначения:

$$\alpha = \frac{2mkT}{\hbar^2}, \quad \beta = \frac{32\pi^2 e^2 P m \psi_\infty^2}{\varepsilon\hbar^2}, \qquad (17)$$

Подставляя во второе уравнение (14) вместо ψ_1 его выражение из (16) получаем следующее решение для E:

$$E_1 = E_0 + A\frac{16\pi eP\psi_\infty}{\varepsilon\sqrt{\beta}}[\gamma\cos\delta z + \delta\sin\delta z]e^{\gamma z} +$$

(18)

$$+ B\frac{16\pi eP\psi_\infty}{\varepsilon\sqrt{\beta}}[-\gamma\cos\delta z + \delta\sin\delta z]e^{-\gamma z},$$

где:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}, \quad \delta = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{\beta-\alpha^2}}{(\alpha+\sqrt{\beta})^{1/2}}. \qquad (19)$$

Постоянная E_0 есть поле внутри полупроводника на большом расстоянии от контакта (при $z=\pm\infty$) и связана с током, проходящим через полупроводник соотношением:

$$E_0 = \frac{j}{e\mu\psi_\infty^2}. \qquad (20)$$

Решение (16), как видно из самой формулы, справедливо пока $\beta > \alpha^2$. Как было указано выше, в каждом из полупроводников отлична от нуля лишь одна постоянная из A и B. Мы должны, следовательно, написать ψ_1 и E_1 для первого и второго полупроводника в виде:

$$E_1 = a'\frac{16\pi eP'\psi_\infty'}{\varepsilon'\sqrt{\beta'}}[-\gamma'\cos\delta' z + \delta\sin\delta' z]e^{-\gamma' z} + E_0$$

(21)

$$\psi_1 = a'\cos\delta' z\, e^{-\gamma' z} \qquad z > 0$$

$$E_1'' = a'' \frac{16\pi e P'' \psi_-''}{\varepsilon'' \beta''} \left| \gamma'' \cos \delta'' z + \delta'' \sin \delta'' z \right| e^{\gamma'' z} + E_0''$$

$$\psi_1'' = a'' \cos \delta'' z e^{\gamma'' z} \qquad z < 0 \tag{22}$$

С помощью граничных условий находим следующие выражения для постоянных a' и a'':

$$\frac{a'}{\psi_-'} = -\frac{a''}{\psi_-''} = \frac{\varepsilon' E_0' - \varepsilon'' E_0''}{\frac{16\pi e P' \gamma' \psi_-'^2}{\beta'} + \frac{16\pi e P'' \gamma'' \psi_-''^2}{\beta''}} \tag{23}$$

Решение той же задачи, исходя из „классической" системы уравнений (10), приводит к следующим результатам:

$$\psi_1' = a' e^{-\mu' z}, \quad E_1' = E_0' - a' \frac{16\pi e P' \psi_-'}{\varepsilon' \mu'} e^{-\mu' z}, \quad z > 0$$

$$\psi_1'' = a'' e^{\lambda'' z}, \quad E_1'' = E_0'' + a'' \frac{16\pi e P'' \psi_-''}{\varepsilon'' \mu''} e^{\lambda'' z}, \quad z < 0 \tag{24}$$

Причем:

$$\frac{a'}{\psi_-'} = -\frac{a''}{\psi_-''} = \frac{\varepsilon' E_0' - \varepsilon'' E_0''}{\frac{16\pi e P' \psi_-'^2}{\mu'} + \frac{16\pi e P'' \psi_-''^2}{\mu''}} \tag{25}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{8\pi e^2 P \psi_-^2}{\varepsilon k T}}.$$

Сравнивая полученные результаты, мы видим, что квантовое диффузионное уравнение при низких температурах и высоких концентрациях вносит существенное изменение в результат, получаемый с помощью „классического" уравнения по двум пунктам. Во-первых: в то время как по „классике" размеры области в приконтактном слое, в котором происходит изменение концентрации носителей заряда по сравнению с концентрацией их в глубине полупроводника, определяется величиной обратной

$$\mu = \sqrt{\frac{8\pi e^2 P \psi_-^2}{\varepsilon k T}}, \tag{26}$$

квантовое уравнение вместо (26) дает другую величину, а именно:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \frac{2mkT}{\hbar^2} + \sqrt{\frac{32\pi e^2 P \psi_-^2 m}{\varepsilon \hbar^2}} \right|^{1/2} \tag{27}$$

В силу условия $\beta > \varepsilon^2$ второй член в скобках больше первого и тогда γ слабо зависит от температуры, а по величине становится меньше μ. Факт слабой зависимости размеров области, в которой разыг-

рываются изменения концентрации носителей тока от температуры при $\beta > \alpha^2$ является одним из наиболее интересных выводов нового уравнения.

Во-вторых, новое уравнение приводит к „тонкой структуре" приконтактного слоя, что выражается в осцилляции концентрации носителей заряда вблизи контакта.

Это видно из наличия в выражении для ψ_1, по новому уравнению $\cos \delta z$:

$$\psi_1 = a \cos \delta z \cdot e^{-\mu z} \tag{28}$$

в то время как „классическое" уравнение дает просто:

$$\psi_1 = a e^{-\mu z}. \tag{29}$$

При $h \to 0$ (28) не переходит в (29)

Если $\beta < \alpha^2$, то общее решение уравнения (15) таково:

$$\psi_1 = A e^{\gamma_1 z} + B e^{\gamma_2 z} + C e^{\gamma_3 z} + D e^{\gamma_4 z}, \tag{30}$$

где

$$\gamma_{1,2} = \pm \left| \frac{2mkT}{h^2} + \sqrt{\frac{4m^2k^2T^2}{h^4} - \frac{35\pi e^2 Pm \overline{\psi_-^2}}{\varepsilon h^2}} \right|^{1/2},$$

$$\gamma_{3,4} = \pm \left| \frac{2mkT}{h^2} - \sqrt{\frac{4m^2k^2T^2}{h^4} - \frac{32\pi e^2 Pm \overline{\psi_-^2}}{\varepsilon h^2}} \right|^{1/2}. \tag{31}$$

Очевидно в этом случае требуя, чтобы ψ переходило в ψ_- при $z = \pm \infty$ мы должны либо положить $A = C = 0$, если полупроводник находится справа от плоскости $z = 0$, либо $B = D = 0$, если полупроводник находится слева. Здесь при $h \to 0$ решение (30) переходит в (29). Если же $h \neq 0$, то как мы указали, ψ_1, например справа от $z = 0$ имеет вид:

$$\psi_1 = A e^{-(\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \beta})z} + C e^{-(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \beta})z}. \tag{32}$$

Отметим, что с учетом квантовых эффектов состояния полупроводника могут быть, вообще говоря, различными, так что помимо состояния, отвечающего абсолютному минимуму свободной энергии при равновесии (мы изучали небольшие отклонения из состояний равновесия), существуют еще состояния — „метастабильные" —, отвечающие относительному минимуму F.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ լրաբերից-անդամ Գ. Ի. ԱՎԱԿՅԱՆ

Կիսահաղորդիչների ենթակոնտակտային շերտում էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի մասին

Հոսանքի կլասիկ հավասարումը ընդհանրացվում է այն դեպքի համար, երբ էական է դառնում հոսանքակիրների քվանտային բնույթի ազդեցությունը

կիսահաղորդչի ներքակոնտակտային երևույթներում, նոր հավասարման հիման վրա հաշվվում է էլեկտրոնների կոնցենտրացիան կիսահաղորդչի ներքակոնտակտային շերտում։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ

[1] *Л. Ландау и Е. Лифшиц*, Статистическая физика, 1950. [2] *В. Л. Гинзбург и Л. Д. Ландау*, ЖЭТФ, т. 20, 1064 (1950). [3] *Л. Гуревич*, Основы физической кинетики, М., 1937. [4] *Д. Блохинцев и Б. Давыдов*, ДАН СССР, т. 21, 20 (1938).

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1972 3

УДК 53.02+538.3

ФИЗИКА

Р. Г. Тарханян

Электродинамика дуально-заряженных частиц

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Иосифьяном 4/IV 1971)

I. Проблема магнитного заряда — одна из серьезных нерешенных задач современной теории электромагнетизма, привлекающая в последнее время все более растущее внимание физиков ([1]). Определенное направление в теории магнитного заряда представляют работы, основанные на гипотезе о существовании дуально-заряженных частиц, обладающих как электрическим, так и магнитным зарядом. Такая чисто умозрительная гипотеза позволяет построить возможную интерпретацию субъядерного мира, в частности, дуально-заряженные частицы можно расоматривать как физическую реализацию адронов—сильно взаимодействующих магнитно-нейтральных образований ([2]). В случае дуально-заряженных частиц обычно([1-3]) используются симметризованные уравнения Максвелла

$$\operatorname{rot} H - \frac{\partial E}{\partial t} = J_e \qquad \operatorname{rot} E + \frac{\partial H}{\partial t} = -J_g$$
$$\operatorname{div} H = \rho_g \qquad \operatorname{div} E = \rho_e \tag{1}$$

с электрическими (ρ_e, J_e) и магнитными (ρ_g, J_g) источниками.

Однако при попытке получить эти уравнения исходя из принципа наименьшего действия в результате вариационной процедуры возникают известные трудности, для преодоления которых Дирак ([3]) вводит «нефизические» переменные, описывающие сингулярную нить. В работе ([4]) при рассмотрении электротехнических закономерностей в магнитопроводящих системах наряду с уравнениями Максвелла вводятся инверсионно-сопряженные уравнения электромагнитного поля, причем для обеспечения непрерывности магнитного потока вдоль оси магнитопровода, охваченного сверхпроводящим замкнутым контуром, вводится понятие «напряжения смещения» (ф-система). В настоящей работе на основе принципа наименьшего действия получена система уравнений, дополняющих уравнения Максвелла-Лоренца для дуально-заряженных

частиц. Эти уравнения отличаются от системы (1) и после соответствующего усреднения приводят к макроскопическим уравнениям, введенным впервые в работе А. Г. Иосифьяна (4).

2 Рассмотрим частицу, свойства взаимодействия которой с электромагнитным полем определяются двумя параметрами—электрическим зарядом e и магнитным зарядом g, которые можно представить как компоненты двумерной величины e_α, $\alpha = 1,2$, $e_1 = e$, $e_2 = g$. Поле характеризуем величиной $A_{\alpha i}$, компоненты которой $A_{1i} = A_{ei}$ и $A_{2i} = A_{gi}$ представляют собой четырехмерные потенциалы электромагнитного поля, являющиеся функциями координат и времени. Тогда взаимодействие дуально-заряженной частицы (которую в дальнейшем, следуя (4), назовем электромагнетоном) с электромагнитным полем описывается членом, входящим в действие в виде

$$S_{\text{вз}} = e_\alpha \int A_{\alpha i} dx_i = \int_{t_1}^{t_2} dt \{(eA_e + gA_g) V - e\varphi_e - g\varphi_g\}, \qquad (2)$$

где A_α—векторные, φ_α—скалярные потенциалы поля. Используя (2), для нерелятивистского электромагнетона получим уравнение движения в виде

$$m \frac{dv}{dt} = e(E_e + [vH_e]) + g(H_g - [E_g v]), \qquad (3)$$

где

$$E_\alpha = -\frac{\partial A_\alpha}{\partial t} - \operatorname{grad} \varphi_\alpha, \quad H_\alpha = \operatorname{rot} A_\alpha. \qquad (3а)$$

$$E_1 = E_e, \; E_2 = H_g, \; H_1 = H_e, \; H_2 = E_g.$$

Выражение в правой части (3) есть сила, действующая на электромагнетон, движущийся со скоростью v в поле, создаваемом заданным распределением других электромагнетонов. Уравнение (3) в четырехмерной форме имеет вид

$$m \frac{du_i}{ds} = e_\alpha F_{\alpha, ik} u_k, \qquad (4)$$

где $u_i = \dfrac{dx_i}{ds}$ — скорость, $F_{\alpha, ik} = \dfrac{\partial A_{\alpha k}}{\partial x_i} - \dfrac{\partial A_{\alpha i}}{\partial x_k}$ — антисимметричный тензор электромагнитного поля:

$$F_{\alpha, ik} = \begin{pmatrix} 0 & H_{\alpha z} & -H_{\alpha y} & -iE_{\alpha x} \\ -H_{\alpha z} & 0 & H_{\alpha x} & -iE_{\alpha y} \\ H_{\alpha y} & -H_{\alpha x} & 0 & -iE_{\alpha z} \\ iE_{\alpha x} & iE_{\alpha y} & iE_{\alpha z} & 0 \end{pmatrix}.$$

компоненты которого преобразуются по известным (5) формулам Лоренца и позволяют написать действие для поля с находящимися в нем зарядами в виде

$$S = -\sum \int m ds + \int dv dt \left(A_{\alpha l} J_{\alpha l} - \frac{1}{2} F^2_{\alpha, lk} \right), \tag{5}$$

где $J_{\alpha l} = \rho_\alpha \frac{dx_l}{dt}$, $e_\alpha = \int \rho_\alpha dv$, ρ_α — плотности электрического и магнитного зарядов. Варьируя (5) по потенциалам поля $A_{\alpha l}$, играющим роль обобщенных координат, из принципа наименьшего действия получим:

$$\frac{\partial F_{\alpha\, ik}}{\partial x_k} = J_{\alpha i}, \tag{6}$$

Кроме того, согласно (3а), имеем

$$e_{\alpha lm} \frac{\partial F_{\alpha, lm}}{\partial x_k} = 0. \tag{7}$$

Раскрывая (6) и (7) по пространственным ($i = 1, 2, 3$) и временным ($i = 4$) координатам, для $\alpha = 1,2$ соответственно получаем

$$\operatorname{rot} E_e + \frac{\partial H_e}{\partial t} = 0,$$

$$\operatorname{rot} H_e - \frac{\partial E_e}{\partial t} = \rho_e v, \tag{8а}$$

$$\operatorname{div} H_e = 0, \quad \operatorname{div} E_e = \rho_e.$$

$$\operatorname{rot} E_\kappa - \frac{\partial H_\kappa}{\partial t} = \rho_\kappa v,$$

$$\operatorname{rot} H_\kappa + \frac{\partial E_\kappa}{\partial t} = 0, \tag{8б}$$

$$\operatorname{div} E_\kappa = 0, \quad \operatorname{div} H_\kappa = \rho_\kappa.$$

Уравнение непрерывности, выражающее закон сохранения заряда, имеет вид $\operatorname{div} J_\alpha + \frac{\partial \rho_\alpha}{\partial t} = 0$, где $J_\alpha = \rho_\alpha v$. Уравнение

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \frac{1}{2} (E_e^2 + H_e^2 + H_\kappa^2 + E_\kappa^2) dv = -\int J_\alpha E_\alpha dv - \oint ds (|E_e H_e| + |H_\kappa E_\kappa|) \tag{9}$$

выражает закон сохранения энергии.

Итак, поле характеризуется набором двух пар напряженностей (E_e, H_e) и (E_κ, H_κ), которые определяют силу, действующую на элек-

тромагнетон в электромагнитном поле (см. ур. (3)) и подчиняются полной системе уравнений (8а, б).

Рассмотрим кратко вопрос о возможности наблюдения дуально-заряженных частиц. Вводя вектора $e = \frac{1}{q}(eE_e + gH_g)$ и $h = \frac{1}{q}(eH_e + gE_g)$, где $q = (e^2 + g^2)^{\frac{1}{2}}$, и используя (8а, б) получаем

$$\operatorname{rot} e = -\frac{\partial h}{\partial t}, \qquad \operatorname{rot} h = \frac{\partial e}{\partial t} + \rho v,$$

$$\operatorname{div} h = 0, \quad \operatorname{div} e = \rho, \tag{10}$$

где $\rho = \frac{1}{q}(e\rho_e + g\rho_g)$ есть плотность „заряда" q, т. е. $\int \rho\, dv = q$.

При этом уравнение (3) переходит в обычное уравнение движения с лоренцовским выражением для силы $m\frac{dv}{dt} = q(e + [vh])$.

Очевидно, что описание поля с помощью величин e, h, q и уравнений (10) дает те же физические результаты, что и уравнения (8а, б) с использованием величин E_e, H_e, E_g, H_e, e, g. Поскольку $\operatorname{div} h = 0$, то можно сделать вывод, что соответствующий источник невозможно включить в теорию в качестве наблюдаемого физического объекта, и что мы всегда имеем дело с эффективным зарядом q, который называем условно электрическим ([1]).

3. Чтобы описывать электромагнитные поля в материальной среде, необходимо провести усреднение микроскопических уравнений (8а, б) по физически бесконечно малому объему, предполагая, что в пределах последнего все величины мало меняются. Обозначим средние значения E_e, H_e, E_g, H_g соответственно через E, B, D_g, H_g. В случае быстропеременных полей удобно ввести вектора индукции

$$D = E + \int_{-\infty}^{t} dt' \overline{J_e(r, t')}, \quad B_g = H_g + \int_{-\infty}^{t} dt' \overline{J_g(r, t')}.$$

Тогда из (8а, б) получим макроскопические уравнения

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \operatorname{div} B = 0, \qquad \operatorname{rot} D_g = \frac{\partial B_g}{\partial t}, \quad \operatorname{div} D_g = 0, \tag{10а}$$

$$\operatorname{rot} B = \frac{\partial D}{\partial t}, \quad \operatorname{div} D = 0. \qquad \operatorname{rot} H_g = -\frac{\partial D_g}{\partial t}, \quad \operatorname{div} B_g = 0, \tag{10б}$$

причем материальные уравнения в случае однородных неограниченных сред фурье-компонент полей имеют вид $D_i = \varepsilon_{ij}(\omega, k) E_j$, $B_{gi} = \mu_{gij}(\omega, k) H_{gj}$, где тензор μ_g связан с комплексным тензором маг-

нитной проводимости среды σ_{gij} соотношением $\mu_{gij}(\omega, k) = \delta_{ij} + 2\pi\sigma_{gij}(\omega, k)\,\delta_+(\omega)$, аналогичным связи тензора ε_{ij} с тензором электропроводности σ_{ij}.

При достаточно низких частотах средние значения токов можно представить в виде $\bar{J}_e = \dfrac{\partial \bar{P}_e}{\partial t} + \bar{J}_{e\,пр} + \operatorname{rot} \bar{M}_e$ — суммы токов поляризации, проводимости и намагниченности (наэлектризованности) соответственно. Вводя новые векторы индукций и напряженностей полей

$$H = B - M_e, \quad E_g = D_g - M_g, \quad D = E + P_e, \quad B_g = H_g + P_g,$$

получаем полную систему макроскопических уравнений

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \operatorname{div} D = \rho_e''$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t} + J_{e\,пр}, \quad \operatorname{div} B = 0 \tag{11а}$$

$$B = \mu H, \quad D = \varepsilon E,$$

$$\operatorname{rot} E_g = \frac{\partial B_g}{\partial t} + J_{g\,пр}, \quad \operatorname{div} D_g = 0$$

$$\operatorname{rot} H_g = -\frac{\partial D_g}{\partial t}, \quad \operatorname{div} B_g = \rho_g^0 \tag{11б}$$

$$D_g = \varepsilon_g E_g, \quad B_g = \mu_g H_g$$

Сила, действующая на отдельный электромагнетон, находящийся в среде, равна

$$F = e(E + [vB]) + g(H_g - [D_g v]). \tag{12}$$

Система (11б) полностью совпадает с системой уравнений, приведенной в работе А. Г. Иосифьяна ([4]). Уравнения (11а, б) позволяют разделить все вещества на четыре класса—диэлектрики (ρ_g^0, $J_{g\,пр} = 0$), магнитные изоляторы (ρ_g^0, $J_{g\,пр} = 0$), проводники электричества (ρ_g', $J_{g\,пр} \neq 0$) и магнитопроводники (ρ_g'', $J_{g\,пр} \neq 0$). Последний класс веществ следует искать среди сверхпроводников. Заметим, что в случае непроводников системы (11а, б) идентичны при отсутствии сторонних токов и зарядов, при этом $E_g = -E$, $D_g = -D$, $B_g = B$, $H_g = H$. В случае проводников электричества следует использовать систему (11а), в случае магнитопроводников —систему (11б).

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Ռ. Հ. ԹԱՐԽԱՆՅԱՆ

Երկակի լիցքավորված մասնիկների էլեկտրադինամիկան

Գործողության փոքրագույն արժեքի սկզբունքից ելնելով ստացված են նոր տիպի հավասարումներ, որոնք լրացնում են Մաքսվել-Լորենցի հավասարումների սիստեմը թե էլեկտրական և թե մագնիսական լիցքով օժտված մասնիկների համար։ Այդպիսի մասնիկների գոյության մասին հիպոթեզը մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում, քանի որ թույլ է տալիս կառուցել տարրական մասնիկների աշխարհի հնարավոր բացատրությունը (2)։ Էլեկտրամագնիսական դաշտը բնութագրվում է 2 զույգ լարվածություններով։ Ստացված է նաև դաշտի մակրոսկոպիկ հավասարումների լրիվ սիստեմ, ցույց է տրված, որ վերջինս դանդաղ փոփոխվող դաշտերի դեպքում համընկնում է Ա. Գ. Իոսիֆյանի կողմից ստացված դաշտի շրջագարձ-համալուծ հավասարումների սիստեմի հետ։ Վերջինս Մաքսվելի սիստեմի հետ մեկտեղ թույլ է տալիս ավելի լրիվ նկարագրել մասնավորապես մագնիսահաղորդ համակարգերի էլեկտրամագնիսական հատկությունները։ Համառոտ կերպով քննարկված են նաև երկակի լիցքավորված մասնիկների դիտարկման հարցերը։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Монополь Дирака*, Сб. статей под ред. Б. М. Болотовского и Ю. Д. Усачева. „Мир", М., 1970. [2] *J. Schwinger*. Science 165, 757 (1969) [3] *P. A. M. Dirac*. Phys. Rew 74, 817 (1948). [4] *А. Г. Иосифьян*, ДАН Арм. ССР, т. LI, № 1 (1970). [5] *Л. Д. Ландау* и *Е. М. Лифшиц*, Теория поля, ГИФМЛ, М., 1960.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 552

ПЕТРОГРАФИЯ

Г. А. Саркисян, Э. М. Налбандян

Об околорудной пирофиллитизации и диаспоризации на Кафанском медно-полиметаллическом месторождении

(Представлено академиком АН Армянской ССР П. Г. Багдасаряном 25/V 1971)

На колчеданных месторождениях Малого Кавказа диаспор и пирофиллит широко развиты на Чиракидзорском месторождении юрского (1) и Гандзутском месторождении палеогенового возраста (2).

На юрских колчеданных месторождениях Армянской ССР диаспор и пирофиллит являются редкими минералами: на месторождениях Алавердской группы диаспор пока не обнаружен (3), а в Кафанском рудном поле он был отмечен в качестве второстепенного минерала на Дзорастанском участке высокоглиноземистых диккитовых вторичных кварцитов в парагенезисе с пирофиллитом, рутилом, редким зуннитом и примазками молибденита (4). Вопросы взаимоотношений диаспорсодержащих пирофиллит-диккитовых кварцитов с медно-полиметаллическими рудами Кафана в указанных работах не рассматриваются, а факты сонахождения молибденита с диаспором, пирофиллитом, зуннитом на СЗ фланге Кафанского рудного поля, медных руд с кварцем, хлоритом, серицитом в центральной части (Ленрудники) и полиметаллических руд с кварцем, серицитом и карбонатом на ЮВ фланге (Шаумян-Халадж-Тежадин), привлекаются в качестве обоснования единой температурной зональности в размещении разнотипного оруденения и сопряженных с ними метасоматитов в общем от высокотемпературных к низкотемпературным. Идея же температурной зональности использовалась для вывода о единстве возраста (третичного) колчеданных и медно-молибденовых рудных формаций Южной Армении (4).

Проведенное авторами в 1965—1966 гг. изучение широкого комплекса поствулканических гидротермальных изменений, сопровождающих различные этапы и стадии вулканизма и медно-полиметаллического оруденения Кафанского рудного поля (5), позволило выявить новый для юрских колчеданных месторождений Армении тип околорудных изменений — диаспоризацию и пирофиллитизацию при формировании энаргитовых жил медно-мышьяковой стадии минерализации.

Оруденение Кафанского месторождения локализовано в различных фациях вторичных кварцитов (монокварциты, серицитовые кварциты, диккитовые кварциты) и низкотемпературных (безэпидотовых) пропилитов, образованных за счет среднеюрских андезитовых и андезито-дацитовых порфиритов и их лавобрекчий.

В многостадийном процессе формирования медно-полиметаллических руд выделяются шесть стадий минерализации: 1. Серноколчеданная, 2. Медноколчеданная, 3. Медно-мышьяковая, 4. Полиметаллическая, 5. Сульфатная, 6. Карбонатная.

Руды медно-мышьяковой стадии на месторождении пользуются локальным развитием и представлены маломощными (до 15—25 *см*) жилами кварц-энаргитового состава с подчиненным количеством теннантита, халькозина, борнита, пирита и небольшими линзами сульфидного состава с незначительной количественной ролью жильного кварца.

Кварц-энаргитовые жилы, залегающие в предрудных серицитовых кварцитах, собственно околорудными изменениями не сопровождаются, за исключением слабой перекристаллизации кварц-серицитового базиса кварцитов в ореоле мощностью не более 2—5 *см* (гор. 960 *м*). Существенно медно-мышьяковые руды, сопровождающиеся околорудной диаспоризацией и пирофиллитизацией, встречены на гор. 746 *м* (ЮВ полевой штрек рудника «Капитальная штольня»).

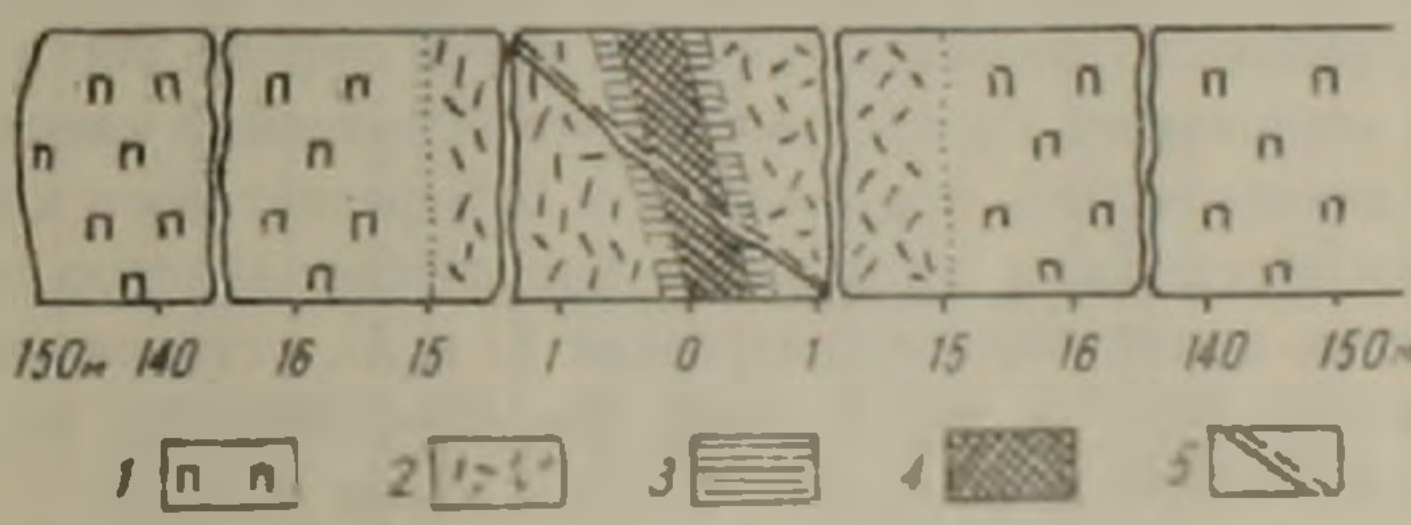


Рис. 1. *1*—хлорит-кварц-серицит-энаргитовый прожилок, *2*—пиритсодержащий диккитовый кварцит, *3*—пирофиллит-диаспоровый метасоматит, *4*—энаргитовая руда, *5*—ангидритовый прожилок

В строении рудовмещающих гидротермально измененных андезито-дацитовых (кварц-плагиоклазовых) порфиритов наблюдается симметричная горизонтальная зональность в отношении энаргитовой линзы (рис. 1). Вмещающие энаргитовую линзу андезито-дацитовые порфириты, в зоне мощностью 30—35 *м* превращены в грязно-белые, тонкозернистые пиритсодержащие диккитовые кварциты, которые по более или менее резкой границе сменяются зеленовато-серыми хлорит-кварц-серицит-пиритовыми пропилитами (мощностью до 100—125 *м*). В диккитовых кварцитах в редких случаях наблюдаются порфиробласты кварца, тогда как в окружающих их пропилитах сохранены вкрапленники кварца и кварц-серицитовые (иногда с хлоритом) псевдоморфозы по плагиоклазу. Непосредственно около энаргитовой линзы диккитовые кварциты в полосе

мощностью 0,10—0,15 м переходят в пирофиллит-диаспор-диккитовые метасоматиты с обильным пиритом. Диаспор в самой линзе и в околожильной зоне настолько обилен, что производит впечатление жильного минерала. Представлен он в виде мелкопластинчатых, иногда изометрично-ксеноморфных зерен, размерами до 0,025 мм, развивающихся по диккиту. Характерным является почковидное развитие диаспора совместно с метакристаллами сульфидов, в основном, пирита. Последние повсеместно окаймлены тонковолокнистыми оторочками пирофиллита и замещают как диккит, так и диаспор. Кроме указанных минералов по висячему боку энаргитовой линзы, в полосе интенсивно рассланцованных диккитовых и пирофиллит-диаспор-диккитовых кварцитов наблюдаются разрозненные скопления призматических ксеноморфных зерен ангидрита, а также секущие ангидритовые прожилки, свидетельствующие о наложенном характере сульфатной стадии минерализации относительно медно-мышьяковой.

Диаспор в проходящем свете слабо зеленоватый, с отчетливой шагреневой поверхностью и ясной спайностью по (010). Удлинение—отрицательное. Двуосный положительный. Ng=1,749; Np=1,701. Ng—Np=0,045.

Оптические свойства пирофиллита изучить не удалось ввиду его исключительной тонковолокнистости. Наличие пирофиллита в описываемых околорудных метасоматитах подтверждено термическими и рентгеноструктурными анализами очищенных от сульфидов фракций пород. В частности, сравнение кривых нагревания смеси пирофиллит+диаспор+ +диккит с эталонными (⁶) показывает, что испытуемая смесь содержит около 50% диаспора, 35% пирофиллита и 15% реликтового диккита.

Спектроскопическими методами в пирофиллит-диаспор-диккитовых метасоматитах, кроме породообразующих Si и Al, установлены (в %): Cu и Ti—0,3—1; Mg, Ca, Na, K—0,03; Mn, Pb—0,003; Li, Sr, V—0,001; Cr—0,0003; Ni—0,0001.

Характеристика баланса «привноса-выноса» вещества при околорудной пирофиллитизации и диаспоризации диккитовых кварцитов (с учетом пористости по методу Н. И. Наковника приведена в табл. 1. Расчеты показывают, что при образовании пиритсодержащих диккитовых кварцитов (обр. 129) по хлорит-кварц-серицит-пиритовым пропилитам (обр. 136) на фоне уменьшения объемного веса (2,96→2,81) происходит слабое изменение валового химического состава, за исключением выноса кремнезема (36,42 *г* на 100 *см*³) и привноса трехвалентного железа (14,84 *г*) и сульфидной серы (13,06 *г*). В целом наблюдается незначительный вынос Fe^{2+}, Mn, Mg, Ca, Na, SO_3, H_2O. Образование пирофиллит-диаспоровых с пиритом метасоматитов по диккитовым кварцитам сопровождается увеличением объемного веса (2,81→3,13), существенным выносом кремнезема (95,16 *г* на 100 *см*³) и меньшим—марганца, магния, титана, кальция, фосфора. На фоне накопления (инертности) глинозема, наблюдается резкое увеличение содержаний трехвалентного железа (70 *г*), сульфидной серы (24,14 *г*) и воды (21,62 *г*), что связано с процессом интенсивной пиритизации (привнос S), диаспоризации и пирофиллитизации

(привнос H_2O). Характерно полное отсутствие свободного кварца в пирофиллит-диаспор-диккитовых метасоматитах, обусловленное, с одной стороны, образованием более богатого кремнеземом по сравнению с диккитом пирофиллита и, с другой—выносом кремнезема при замещении диккита диаспором. Существенное обогащение пирофиллит-диаспоровых метасоматитов железом и серой по сравнению с пропилитами свидетельствует о привносе их гидротермальными растворами медно-мышьяковой стадии, а не о заимствовании из боковых пород.

*Таблица 1**

Окислы	Весовые проценты			Привнос—вынос			
				г/см³		%	
	Номера образцов						
	136	120	126	136—120	129—126	136—129	129—126
SiO_2	63,14	54,34	18,17	−36,42	−95,16	−19	−64
TiO_2	0,54	0,75	0,57	+0,49	−0,32	+30	−15
Al_2O_3	11,58	11,83	14,31	−1,47	+11,82	−4	+35
Fe_2O_3	10,39	16,38	36,82	+14,84	+70,00	+44	+152
FeO	1,02	0,72	0,72	−1,04	−0,20	−34	+10
MnO	0,06	0,03	0,02	−0,10	−0,01	−55	−12
CaO	1,06	0,92	0,64	−0,58	−0,57	−18	−22
MgO	1,09	1,15	сл.	−0,03	−3,23	−1	−100
Na_2O	0,37	0,32	0,37	−0,21	−0,76	−18	+28
K_2O	0,30	0,37	0,50	+0,14	+0,53	+15	+50
P_2O_5	0,11	0,21	0,13	−0,26	−0,18	+78	−30
S	7,13	12,27	18,59	+13,06	+24,14	+61	+71
SO_3	0,71	0,41	0,87	−0,98	−1,58	−45	+137
H_2O-	0,47	0,37	0,75	−0,37	−1,32	−26	+127
п.п.п.	2,01	0,15	6,99	−5,59	+21,62	−92	+5147
Сумма	99,98	100,22	99,45	+28,53	+131,47		
Об. вес.	2,99	2,81	3,13	−46,53	−99,47		
				−18 г.	+32 г.		

Обр. № 136—хлорит-кварц-серицит-пиритовый пропилит;
Обр. № 120—пиритсодержащий диккитовый кварцит;
Обр. № 126—пирофиллит-диаспоровый метасоматит.

Геологическая литература не богата примерами твердо установленных околорудных (в генетическом значении) пирофиллитизации и, в особенности, диаспоризации, на колчеданных месторождениях. Многочисленные случаи пространственного сонахождения медно- и серноколчеданных руд с пирофиллит-диаспоровыми фациями вторичных кварцитов рассматриваются или в качестве примеров парагенетических связей оруденения и вторичных кварцитов, обусловленных разными стадиями единого гидротермального этапа минералообразования, или в качестве пространственной совмещенности продуктов разновозрастных процессов в пределах единых структур, подвергнутых омолаживанию.

* Промежуточные стадии пересчетов в таблицу не включены.

На Кафанском месторождении пирофиллитизация и диаспоризация диккитовых кварцитов вдоль энаргитовых руд являются самостоятельными околорудными процессами, наложенными на ранние предрудные изменения. Это положение доказывается тем, что энаргитовые руды медно-мышьяковой стадии локализованы в различных частях полифациального, зонально построенного массива вторичных кварцитов вершины г. Кавар-кар, который характеризуется следующей вертикальной зональностью (сверху вниз): монокварциты—серицитовые кварциты—диккит-серицитовые кварциты—диккитовые кварциты. Предрудный характер вторичных кварцитов устанавливается тем, что руды наиболее ранних стадий минерализации пересекают различные фации вторичных кварцитов и сопряженных с ними пропилитов. То обстоятельство, что энаргитовые жилы при залегании их в серицитовых кварцитах не производят околорудных преобразований пород, связано, по-видимому, с тем что формирование медно-мышьяковых руд происходит под влиянием умеренно кислых (pH=4—6) гидротермальных растворов, которые на глубоких горизонтах месторождения (в диккитовых кварцитах) производят замещение диккита пирофиллитом и диаспором, а на верхних горизонтах (выше на 200 м) нейтрализация тех же растворов приводит лишь к перекристаллизации серицита—минерала, устойчивого в слабокислой-нейтральной среде.

Установление околорудного характера пирофиллитизации и диаспоризации при формировании руд медно-мышьяковой стадии в центральной части Кафанского месторождения не подтверждает точку зрения некоторых исследователей (4) о наличии в пределах рудного поля направленной с СЗ на ЮВ температурной зональности и не может служить доказательством одновозрастности медно-молибденовых и медноколчеданных руд Зангезура.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Հ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Է. Մ. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ

Վախանի պոլինց-բազմամետաղային հանքավայրի մերձերակային պիռոֆիլիտիզացիայի և դիասպորիզացիայի մասին

Ներկայացված հիդրոքիմիական փոփոխությունների ուսումնասիրությունը թույլ է տվել Հայկական ՍՍՀ-ի յուրայի հասակի կոլչեդանային հանքավայրերի համար հայտնաբերելու մերձերակային փոփոխությունների նոր տիպ՝ պիրոֆիլիտիզացիա և դիսպորիզացիա։

Այս փոփոխությունները ուղեկցում են պոլինց-մկնդեղային հանքայնացման ստադիայի էնարգիտային երակների առաջացմանը։

Հոդվածում նկարագրվում է էնարգիտային երակներին հարող փոփոխված ապարների զոնալականությունը՝ կվարց-քլորիտ- սերիցիտ-պիրիտային

պրոպիլիտ → պիրիտ պարունակող դիկիտային կվարցիտ → պիրոֆիլիտ-դիասպորային մետասոմատիտ → հանքային երակ։

Ապացուցվում է, որ պիրոֆիլիտ-դիասպորային մետասոմատիտները մետաերակային գոյացումներ են։

Այնուհետև նկարագրվում է վիրոհիշյալ մետասոմատիտների միներալոգիան և դիտվում նրանց գոյացման ֆիզիկա-քիմիական պայմանները, ինչպես նաև բերվում է քանակական հաշվարկներ բաղադրիչների տեղափոխման մասին։ Ղափանի հանքավայրի կենտրոնական մասում պիրոֆիլիտիզացիայի և դիասպորիզացիայի մետաերակային բնույթի հաստատումը պղինձ-մկնդեղային հանքանյութերի առաջացման ստադիայում չի հաստատում որոշ հետազոտողների տեսակետը ջերմաստիճանային պոնալականության մասին հանքային դաշտում՝ ուղղված հյուսիս-արևմուտքից հարավ-արևելք և չի կարող հանդիսանալ ապացույց Զանգեզուրի պղինձ-մոլիբդենային և պղինձ-կոլչեդանային հանքանյութերի գենետիկական և հատակային կապի մասին։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *В. И. Алиев*, «Известия АН Азерб. ССР», № 7 (1957). [2] *С. О. Амикелян*, «Известия АН Арм. ССР», сер. геол. и геогр. наук, т. XVII, № 3—4 (1964). [3] *Э. М. Налбандян*, «Известия АН Арм. ССР», сер. Науки о Земле, т. XXI, № 6 (1968). [4] *Б. С. Вартанетян, А. Г. Казарян, Г. Г. Шехян, Э. Г. Амирбекян*, ДАН Арм. ССР, т. XXXVII, № 1 (1963). [5] *Г. А. Саркисян, Э. М. Налбандян*, «Известия АН Арм.ССР», сер. Науки о Земле, т. XX, № 4 (1967). [6] *В. П. Иванова*, ЗВМО, ч. XC, вып. 1, 1961.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 553.3/4

МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Л. П. Яшвили

Об условиях формирования Севкар-Саригюхского месторождения марганца

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Г. Магакьяном 11/VI 1971)

По тектоно-магматическому районированию и связанной с ним металлогении, Севкар-Саригюхское месторождение марганца входит в Иджеванский тектоно-магматический комплекс Алаверди-Кафанской рудной зоны ([1]).

По территориальному расположению и особенностям геологического строения Севкар-Саригюхское месторождение марганца можно разделить на две группы рудопроявлений: Севкарскую и Саригюхскую.

С геологической точки зрения основная черта различия между этими двумя группами заключается в разновозрастности вмещающих оруденение пород. Так, на Севкарском участке рудовмещающими являются вулканогенные образования верхней юры, а на Саригюхском участке оруденение приурочено к верхнемеловым породам, сложенным вулканогенно-осадочными образованиями. Кроме того на Севкарском участке вулканогенно-осадочный (эксгаляционно-осадочный) и переотложенный типы оруденения отсутствуют: здесь развиты только ранний гидротермальный и гидротермальный низкотемпературный типы оруденения. На Саригюхском участке руды представлены всеми типами оруденения.

Итак, Севкарский участок рудопроявлений сложен верхнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями, представленными главным образом порфиритами андезитового состава и их пирокластическим материалом, вулканомиктовыми и вулканогенными песчаниками с подчиненной ролью морских осадочных пород—известняков и известковистых песчаников, в виде линз и прослоев.

В геологическом строении Саригюхского участка рудопроявлений принимают участие верхнемеловые, в частности сантонские и кампан-маастрихтские образования, представленные миндалекаменными андезитовыми порфиритами (агатоносная толща), андезито-базальтовыми порфиритами и их пирокластическим материалом, ожелезненными кремнями, вулканомиктовыми и полимиктовыми песчаниками с известковым цементом, органогенными и песчанистыми известняками и мергелями. Здесь

же обнажаются небольшие субвулканические тела оливиновых долеритов, а на участке Кардан досенонские дациты и липарито-дациты. Большую часть Саригюхского участка занимают потоки андезито-базальтовых порфиритов и их туфы, которые сильно бентонитизированы, а местами полностью превращены в бентонитовые глины.

Марганцовое оруденение на Севкар-Саригюхском месторождении происходило в три последовательных, во времени несколько разобщенных этапа оруденения:

1) ранний вулканогенно-осадочный (эксгаляционно-осадочный);

2) гидротермальный низкотемпературный;

3) заключительный этап размыва и переотложения уже существующих марганцовых руд.

Соответственно, возникли руды: вулканогенно-осадочные (эксгаляционно-осадочные), гидротермальные низкотемпературные и переотложенные осадочные.

В ранний вулканогенно-осадочный этап оруденения рудообразование происходило в процессе формирования верхнемеловой ,точнее сантонской, вулканогенно-осадочной толщи и было обусловлено поступлением в бассейн Si, Fe и Mn содержащих газо-гидротермальных растворов, связанных с затухающей эксплозивной деятельностью сантонского вулканического очага. Следовательно, оруденение образованное в ранний вулканогенно-осадочный этап генетически связано с поствулканической подводно фумарольной деятельностью вулканического очага сантонского времени.

Здесь, однако, надо отметить, что эксгаляции и газогидротермальные растворы этого этапа оруденения не полностью достигали морского водоема. Они по пути следования, частично выпадали при благоприятных условиях среди различных, преимущественно карбонатных пород верхнеюрского и досантонского возраста. В результате формировались богатые метасоматические руды марганца раннего вулканогенно-осадочного этапа оруденения.

Следовательно, в ранний вулканогенно-осадочный этап образовались собственно вулканогенно-осадочные (эксгаляционно-осадочные) и гидротермальные метасоматические руды.

Собственно вулканогенно-осадочный тип оруденения образовывался в небольших водоемах, на малых глубинах, в резко окислительной среде (преобладание минералов четырехвалентного марганца), при низких температурах (наличие халцедона и отсутствие околорудных изменении пород).

Образование метасоматических руд того же раннего этапа оруденения происходило на относительно больших глубинах при некотором недостатке кислорода (образование манганита) и при более высоких температурах (наличие продуктов изменения вмещающих пород в виде монтмориллонита).

Генетическая связь раннего этапа оруденения с сантонскими вулканогенными образованиями подтверждается:

1) пространственной приуроченностью вулканогенно-осадочного ти-

па оруденения к верхнемеловым геосинклинальным областям с активным вулканизмом андезитового состава;

2) наличием согласно залегающих со вмещающими породами линзообразных и пластообразных тел кремнисто-железисто-марганцового состава для собственно вулканогенно-осадочного типа руд, и неправильных метасоматических тел того же состава для гидротермального типа оруденения.

Как подтверждающий факт связи с вулканическим очагом описываемого типа руд, надо отметить также их пространственную связь с агатоносными миндалекаменными породами и бентонитовыми глинами, которые образовались за счет вулканических пород путем их гидротермального изменения (²).

Морфологически рудные тела собственно вулканогенно-осадочного типа оруденения представлены линзообразными и неправильными пластообразными телами залегающими согласно со вмещающими породами. Рудные минералы представлены пиролюзитом, полианитом и рамсделлитом, с небольшим количеством гётита. Из нерудных минералов широко развит халцедон.

Гидротермальные руды этого же раннего этапа оруденения образуют метасоматические тела неправильной формы среди разнообразных как по возрасту, так и литологическому составу пород, с преобладающим тяготением к карбонатным образованиям. Руды этого типа оруденения представлены манганитом, который в зоне окисления замещен пиролюзитом. Из нерудных минералов вместо халцедона здесь широко развит кварц.

В более поздний этап, в предкампанское время (конец верхнего сантона) начинается новый орогенический цикл, сопровождающийся вертикальными движениями. Возникают нарушения и зоны дробления. Происходит внедрение субвулканических тел оливиновых долеритов. С внедрением последних связана деятельность новых поствулканических растворов, выносивших из остывающего очага Mn, K, Ba и ряд малых и редких элементов. Этот новый этап оруденения дает начало образованию гидротермальных низкотемпературных руд в виде жил, штокверков, брекчированных зон и отчасти метасоматических тел, сложенных главным образом криптомеланом, голландитом, манганитом и пиролюзитом. Из нерудных минералов широко развиты анальцим и кальцит. Кварц и халцедон здесь отсутствуют полностью.

Рудообразование в гидротермальный низкотемпературный этап оруденения происходило в три последовательные стадии минерализации:

1) криптомелан-голландитовую;

2) пиролюзит-анальцимовую;

3) карбонатную — безрудную.

Итак, второй этап оруденения мы относим к гидротермальному низкотемпературному типу малых глубин, исходя из следующих фактов:

1) форма рудных тел — жильная;

2) минеральный состав руд — окисные минералы марганца, обрало-

ванные в условиях умеренной окислительной среды;

3) ассоциация рудных минералов с низкотемпературными минералами—кальцитом и анальцимом, температура образования которых не превышает 80—100°С.

Заключительный этап—этап размыва и переотложения уже возникших в докампанское время вулканогенно-осадочных и гидротермальных низкотемпературных месторождений марганца, с образованием переотложенных марганцовых руд, залегающих в основании кампанских полимиктовых песчаников. Размыв и перенос рудного материала происходили в прибрежных условиях, на небольшие расстояния. За переотложенный характер марганцовых руд говорит наличие в основании плохо отсортированных полимиктовых песчаников, обломков почек сложенных криптомеланом и пиролюзитом (рис. 1), а за перенос на небольшие расстояния—плохая окатанность обломков рудных минералов, несмотря на их относительно низкую твердость.

Рис. 1. Кампанские полимиктовые песчаники с обломками почек криптомелана и пиролюзита

Верхнемеловой, в частности, докампанский возраст оруденения Сенкар-Сариюхского месторождения марганца, кроме выше перечисленных фактов, подтверждается также данными абсолютного возраста, полученными калий-аргоновым методом.

Абсолютный возраст оруденения определялся по отобранной нами из низкотемпературного гидротермального типа оруденения мономинеральной фракции криптомелана (содержание K_2O—2,8%). В результате анализа определен абсолютный возраст оруденения равный 89±3 млн. лет, что соответствует сенону. Анализ выполнялся в геохронологической лаборатории абсолютного возраста ИГН АН Арм. ССР, Р. Х. Гукасяном.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Լ. Գ. ՅԱՇՎԻԼԻ

Սևքար-Սարիգյուղի մանգանային հանքավայրի առաջացման պայմանների մասին

Սևքար-Սարիգյուղի մանգանային հանքավայրի երկրաբանական կառուցվածքում մասնակցում են վերին յուրայի և վերին կավճի գլխավորապես հրաբրխանստվածքային գոյացումները։

Մանգանային հանքայնացումը դեներտիկորեն կապված է վերին կավճի հրաբխականության հետ։

Հանքավայրի ձևավորումը տեղի է ունեցել հանքառաջացման երեք հայտնի էտապներում, որոնց ընթացքում համապատասխանաբար առաջացել են՝ 1) հրաբխանստվածքային, 2) հիդրոթերմալ ցածր ջերմաստիճանային և 3) նստվածքային՝ վերանստեցված տիպի հանքանյութեր։

Առաջին տիպի հանքանյութը ներկայացված է պիրոլյուզիտով, պոլիանիտով, մանգանիտով, ռամսդելիտով։ Ու հանքային միներալներից առկա են վարդը, խուլցեդոնը։ Երկրորդ տիպի հանքայնացումը ներկայացված է կրիպտոմելանով, հոլանդիտով, մանգանիտով, անալցիմով և կալցիտով։ Երրորդ տիպի հանքայնացումը առաջացել է առաջին և երկրորդ տիպերի հանքանյութերի լվացման և վերանստեցման հաշվին։ Վերջին տիպի հանքայնացումը գտնվում է կամպանի հասակի պոլիմիկտային ավազաքարերի հիմքում։ Հանքայնացման մինչկամպանյան հասակը ապացուցված է նաև մանգանային նյութերի բացարձակ ժամանակագրության տվյալներով։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

И. Г. Магакьян, «Известия АН Арм. ССР», сер. Науки о Земле, т. XIX, № 4 (1966). — *А. Х. Мнацаканян, И. Х. Петросов, Л. П. Яшвили*, Особенности гидротермальной деятельности связанной с верхнемеловым вулканизмом на территории Северной части Армянской ССР. Вулканизм и формирование минеральных месторождений в альпийской геосинклинальной зоне, Тезисы докладов к III Всесоюзному Вулканологическому Совещанию, Львов, 1968.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
LIII 1971 3

УДК 581.1344

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЯ

С. А. Азатян, Э. С. Авунджян

Влияние ретарданта ССС на содержание стимуляторов и ингибиторов роста в зерне полегающего и неполегающего сортов пшеницы

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР В. О. Каграняном 13/V 1971)

Физиологически активные вещества зерна и проростков злаков изучены довольно обстоятельно. В водных экстрактах различных злаков обнаружены фенольные соединения—феруловая, кумаровая и ванилиновая кислоты, небольшие количества оксибензойной и кофейной кислот, а также альдегиды конифериловый, синаповый, ванилин и п-оксибензальдегид [1]. Указано на тождество ИУК-оксидазы этиолированных проростков пшеницы с пероксидазой, главным ингибитором которой является феруловая кислота и другие менее активные фенол-карбоновые кислоты [2–4]. В этиолированных проростках пшеницы выявлены 3-ИУК, 3-индолацетонитрил и этиловый эфир 3-ИУК [5]. В процессе набухания зерна изменяется соотношение между свободными и связанными ауксинами [6], количество ингибиторов [7], в листьях пшеницы преобладание стимуляторов или ингибиторов обусловлено условиями выращивания [8].

В борьбе с полеганием злаков в практике сельского хозяйства все шире и шире применяются экзогенные регуляторы роста, в том числе и ретардант ССС—хлорхолинхлорид — способствующий формированию утолщенной и укороченной соломины.

Под действием ССС существенно меняется отношение массы надземных частей к корням проростков пшеницы и содержание в них нуклеиновых кислот [9] и сахаров [10], задерживаются процессы старения в изолированных листьях табака [11].

Хлорхолинхлорид, как экзогенный регулятор роста, в первую очередь действует на биосинтез и обмен эндогенных регуляторов роста. Вопрос о влиянии ССС на уровень природных стимуляторов и ингибиторов роста исследован недостаточно.

Мы изучали состав и содержание эндогенных стимуляторов и ингибиторов роста в зерне пшеницы после замачивания его в растворах ССС. Для опытов выбраны два сорта пшеницы –полегающий Арташати 42 и неполегающий Безостая 1. Семена смачивались в воде и растворах ССС

1400, 2400 и 6000 *мг/л*) в течение 3, 12 и 24 часов, затем фиксировались в парах спирта. После размалывания в образцах определяли свободные (I_2) и связанные (I_1) стимуляторы и ингибиторы роста. В каждое пятно наносилось количество экстракта, соответствующее 250 *мг* сухого вещества (для биотеста). В качестве растворителей использовались смеси: бутанол—уксусная кислота—вода 6:1:2 (для свободных) и изопропанол—аммиак—вода 10:1:1 (для связанных). Примерную идентификацию полученных пятен на дополнительных хроматограммах проводили в ультрафиолетовых лучах, в ультрафиолетовых лучах с парами аммиака, проявлением растворами карбоната натрия, хлористого железа, азотнокислого серебра, диазотированной сульфаниловой кислоты (реактив Паули), ванилина, а также реактивами Эрлиха и Сальковского. Биотесты проводили в трех повторностях с колеоптилями пшеницы сорта Безостая 1.

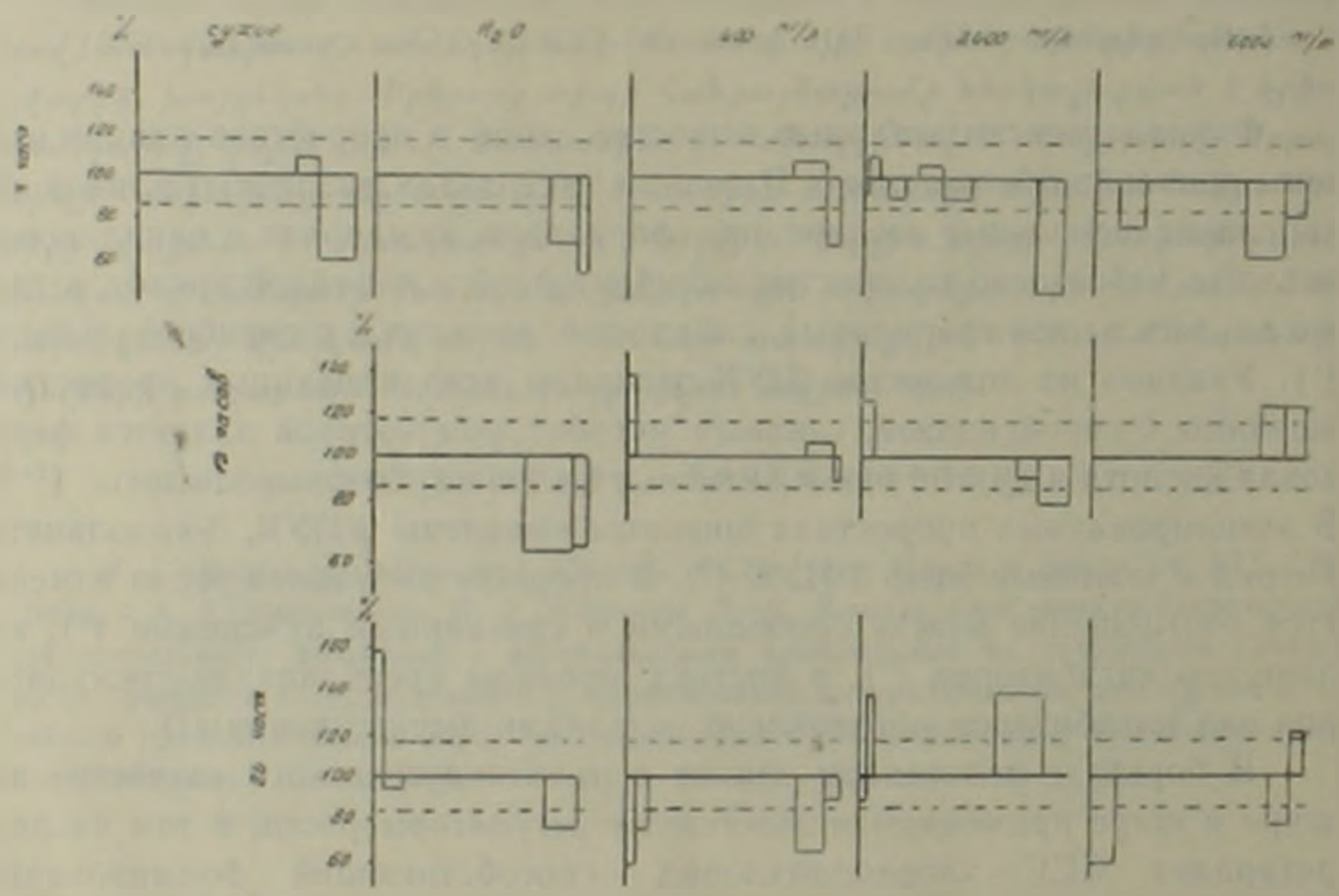


Рис. 1. „Свободные" стимуляторы и ингибиторы пшеницы сорта Безостая 1 (в % от прироста контроля)

Данные выражены в процентах к приросту контроля и приведены в виде гистограмм (рис. 1—4).

Сухое зерно изучаемых сортов значительно различалось по набору природных стимуляторов и ингибиторов роста. У сорта Безостая 1 во фракции «свободных» отмечен один ингибитор роста с $R_f = 0{,}97$ (ингибирование 41%); среди «связанных» активных пятен не обнаружено. В зернах сорта Арташати 42, наоборот, активных фракций не было среди «свободных», а среди «связанных»—5 фракций, обладающих ингибиторным действием, с R_f = 0, 0,07, 0,17, 0,28, 0,93. Первые 4 пятна окрашивались раствором азотнокислого серебра, что позволяет отнести их к фенолам,

последнее же пятно не проявлялось ни одним из использованных проявителей.

На рис. 1 показаны гистограммы «свободных» стимуляторов и ингибиторов роста сорта Безостая 1. Наиболее характерным, встречающимся во всех вариантах, было вещество, имеющее $R_f = 0{,}8—0{,}95$. По всей вероятности оно относится к группе халконов, так как дает характерное для них розовое окрашивание с насыщенным раствором карбоната натрия, окрашивается также азотнокислым серебром. Почти во всех образцах за этим пятном на хроматограммах обнаруживается другое с $R_f = 0{,}95—1{,}00$, идущее с фронтом растворителя. Оно светилось в ультрафиолетовых лучах, но не окрашивалось ни одним из применяемых проявителей, поэтому о химической природе его судить невозможно. При замачивании

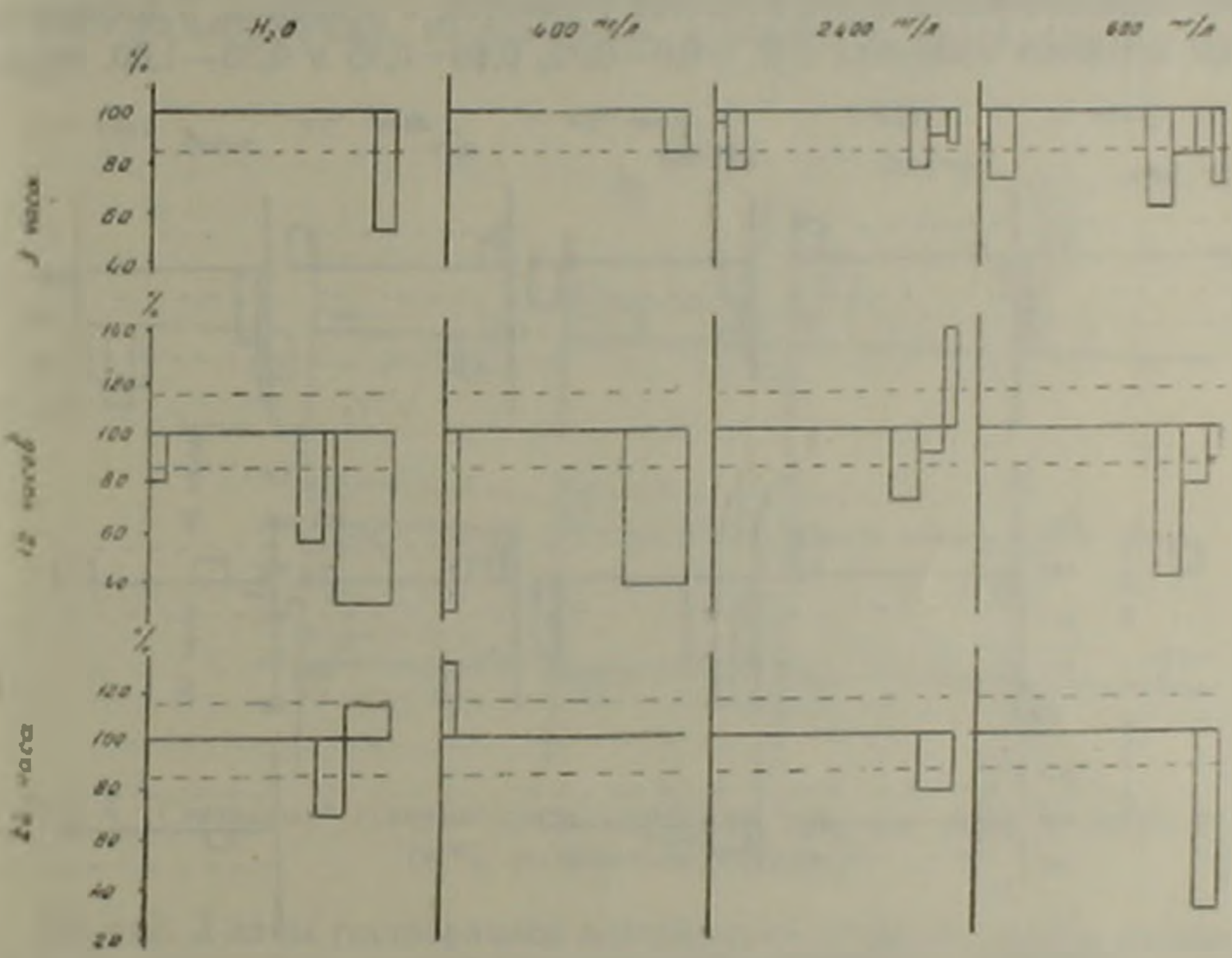


Рис. 2. „Свободные" стимуляторы и ингибиторы пшеницы сорта Аршаги 12 (в % от прироста контроля)

семян растворами ретарданта в течение 24 часов, независимо от концентрации ССС, а также при 6-часовом замачивании в растворах ретарданта 400 и 2400 *мг/л* на старте обнаруживалось пятно, имеющее довольно значительную активность, в основном стимулирующую. Это пятно светилось в ультрафиолетовом свете и окрашивалось в розовый или оранжевый цвет диазотированной сульфаниловой кислотой.

Помимо 3 названных фракций ($R_f = 0—0{,}12$, $0{,}80—0{,}95$ и $0{,}95—1{,}00$) в варианте 2400 *мг/л* при замачивании в течение 3 часов в ультрафиолетовых лучах обнаружилось 5 фракций, активность которых была в пре-

делах ошибки опыта. При замачивании пшеницы в растворе 6000 *мг/л* в течение 3 часов в зоне с R_f =0.13—0,23 имелся довольно сильный ингибитор, который также не давал характерного окрашивания.

Что касается отдельных вариантов, то при замачивании в течение 3 часов во всех образцах имелись только ингибиторы. При более продолжительном замачивании в воде активность ингибиторов снижалась, а через 24 часа появлялся 1 стимулятор роста. При замачивании в растворе ССС 400 *мг/л* стимулятор появлялся через 12 часов, а через сутки после замачивания в зерне обнаруживались лишь ингибиторы; при 2400 *мг/л* через 12 часов картина была примерно такой же, как при 400 *мг/л*, но к 24 часам все фракции стимулировали рост; при 6000 *мг/л* те же вещества проявляли себя то как стимуляторы, то как ингибиторы.

Таким образом во фракции «свободных»стимуляторов и ингибиторов роста неполегающего сорта Безостая 1 имеется, в основном, 3 физиологически активных вещества с R_f =0,0—0,12, 0,80—0,95 и 0,95—1,00, первое

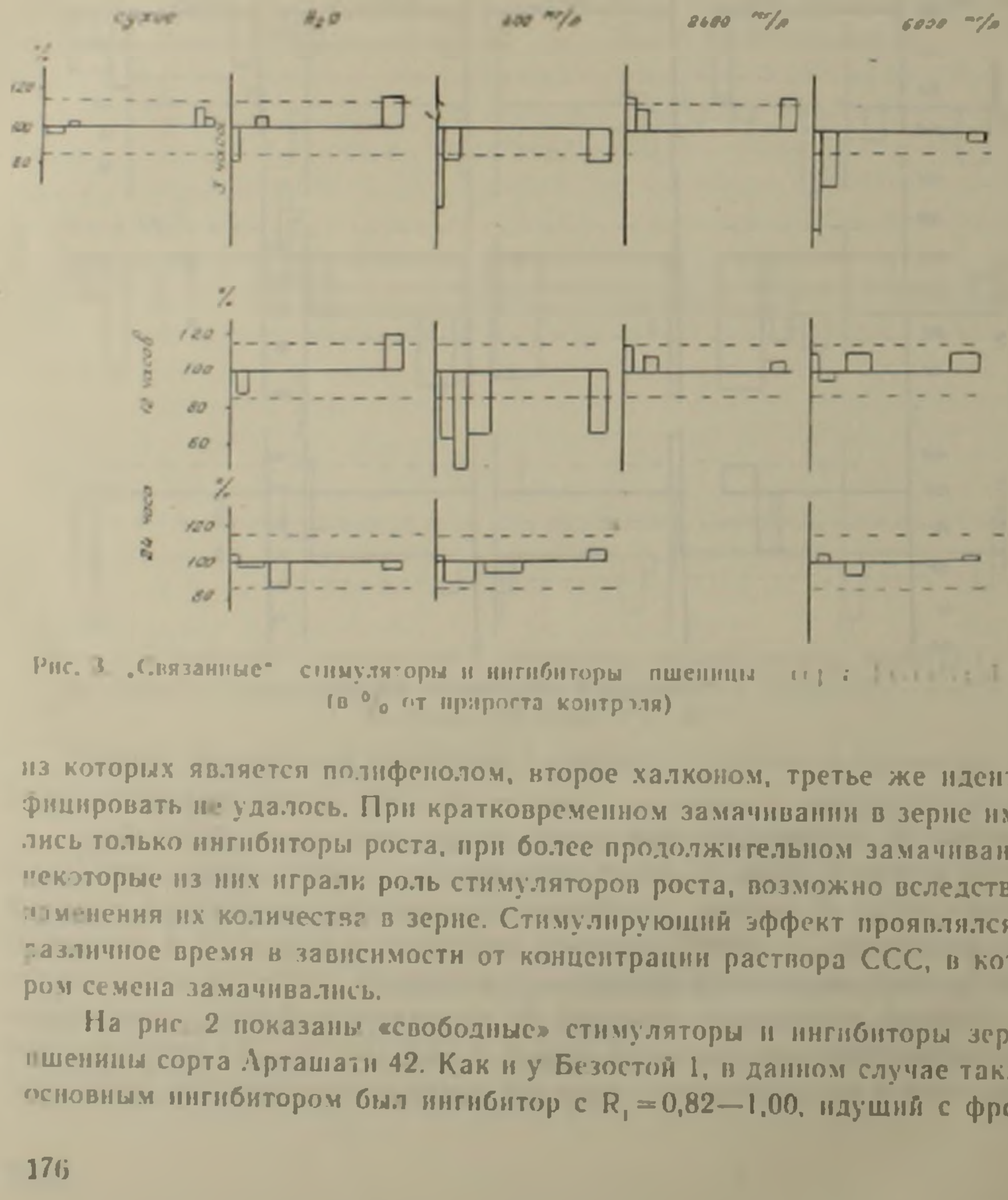


Рис. 3. „Связанные" стимуляторы и ингибиторы пшеницы сор[illegible]
(в % от прироста контроля)

из которых является полифенолом, второе халконом, третье же идентифицировать не удалось. При кратковременном замачивании в зерне имелись только ингибиторы роста, при более продолжительном замачивании некоторые из них играли роль стимуляторов роста, возможно вследствие изменения их количества в зерне. Стимулирующий эффект проявлялся в различное время в зависимости от концентрации раствора ССС, в котором семена замачивались.

На рис. 2 показаны «свободные» стимуляторы и ингибиторы зерна пшеницы сорта Арташат 42. Как и у Безостой 1, в данном случае также основным ингибитором был ингибитор с R_f =0,82—1,00, идущий с фрон-

том растворителя. Это пятно светилось в ультрафиолетовом свете, окрашивалось диазотированной сульфаниловой кислотой и ванилиновым реактивом, дающим типичную красную окраску с фенольными соединениями, содержащими в молекуле свободную ОН-группу в m-положении (флороглюцин, катехин).

В некоторых образцах на старте обнаружено пятно, окрашивающееся азотнокислым серебром, что дает основание отнести его к группе фенолов. Остальные пятна не были идентифицированы.

Общая картина та же, как на предыдущем рисунке: при замачивании в течение 3 часов во всех образцах наблюдались только ингибиторы, при более продолжительном замачивании стимулятор появлялся в варианте 400 *мг/л* через 24 часа, а при 2400 *мг/л* — через 12 часов. Однако, по сравнению с сортом Безостая 1 у Арташати 42 стимулирующий эффект проявлялся намного реже; во все сроки, в основном, преобладали ингибиторы.

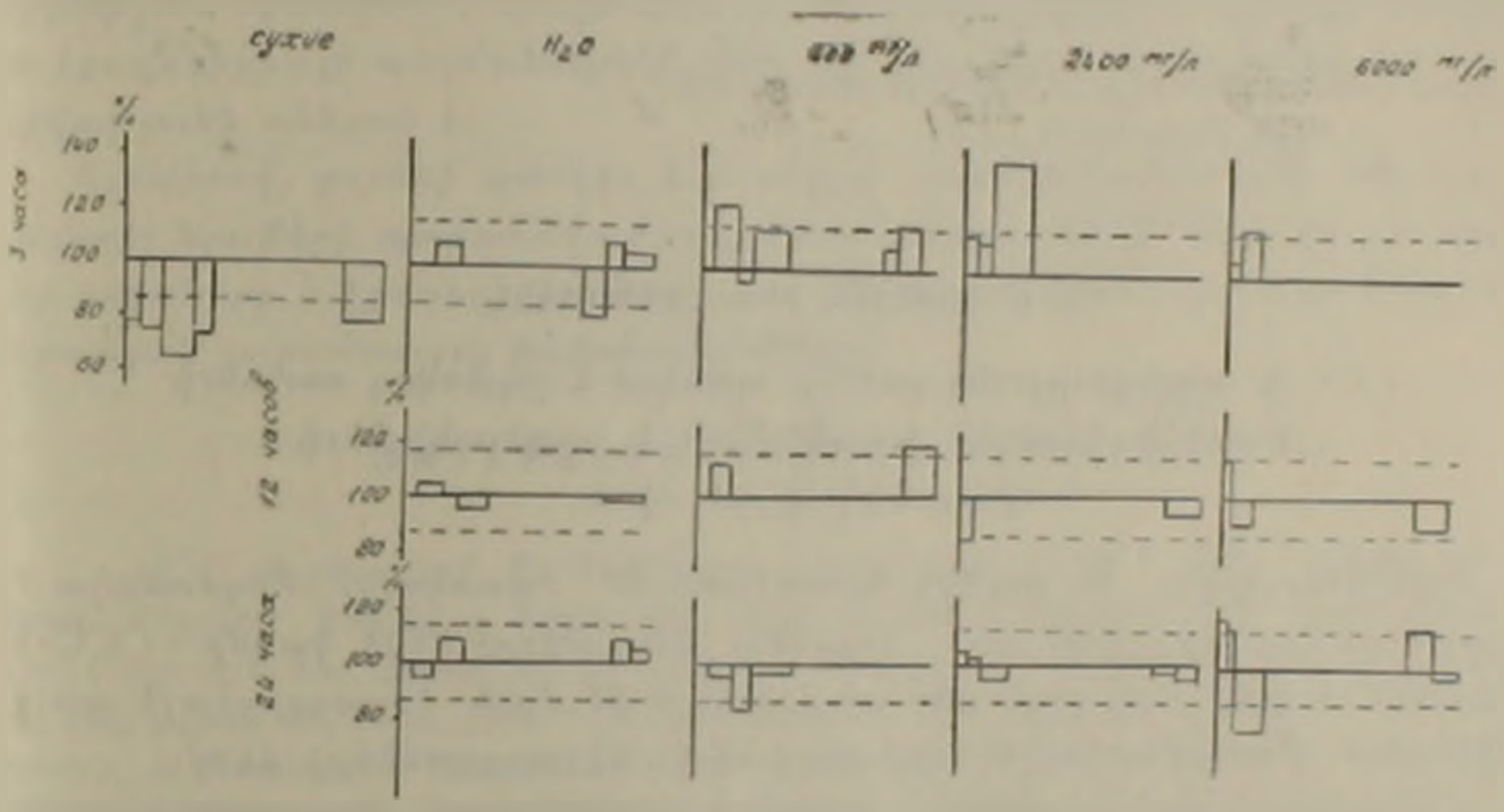


Рис. 4. „Связанные" стимуляторы и ингибиторы пшеницы сорта Арташати 42 (в % от прироста контроля)

На рис. 3 даны гистограммы «связанных» стимуляторов и ингибиторов роста сорта Безостая 1. Как видим, эндогенные регуляторы роста в этой фракции сравнительно малоактивны, особенно после 24-часового замачивания. Довольно сильное ингибирование отмечалось в варианте 2400 *мг/л* после 12-часового замачивания. Пятна, имеющие $R_f = 0{,}08—0{,}18$ и 0,19—0,32 окрашивались раствором азотнокислого серебра, и могут быть простыми фенолами или фенолкарбоновыми кислотами. Остальные пятна не идентифицированы. Наиболее сильное ингибирование роста (57% от контроля) наблюдалось в варианте 6000 *мг/л* при 3-часовом замачивании и 2400 *мг/л* при 12-часовом.

У пшеницы сорта Арташати 42 во фракции «связанных» стимуляторов и ингибиторов роста (рис. 4) при 3-часовом замачивании преобладают стимуляторы роста, однако при более продолжительном замачивании активность резко снижается. Околостартовые пятна ($R_f = 0—0{,}25$) иден-

тифицированы как фенолы. Заметное стимулирование роста колеоптилей наблюдалось при 3-часовом замачивании пшеницы в растворе 2400 *мг/л* (46% стимулирования). Во всех остальных вариантах как стимулирование так и ингибирование находилось в пределах 20%. При 24-часовом замачивании незначительная активность стимуляторов и ингибиторов отмечена лишь в варианте 6000 *мг/л*. «Связанные» стимуляторы и ингибиторы роста в зерне пшеницы сорта Арташати 42 были менее активными, чем у сорта Безостая 1. У обоих сортов более активными оказались «свободные» стимуляторы и ингибиторы роста. Все обнаруженные пятна относились к группе фенолов, индольных соединений не обнаружено.

Таким образом, семена полегающего и неполегающего сортов пшеницы значительно расходятся по составу природных регуляторов роста. Замачивание же их в растворах ССС различной концентрации в течение 3, 12 и 24 часов вызывало своеобразные сдвиги в составе и отношении стимуляторов и ингибиторов роста.

Научно-исследовательский институт земледелия
МСХ Армянской ССР

Ս. Ա. ԱԶԱՏՅԱՆ, Է. Ս. ՀԱՎՈՒՆՋՅԱՆ

ССС-ի ազդեցությունը ցորենի պառկող և չպառկող սորտերի հատիկի էնդոգեն խթանիչների և արգելակիչների պարունակության վրա

Ուսումնասիրվել են ցորենի Արտաշատի 42 (պառկող), Բեզոստայա 1 (չպառկող) սորտերի մոտ աճի էնդոգեն կարգավորիչների կազմը ССС-ի 400, 2400 և 6000 մգ/լ լուծույթներում 3, 12 և 24 ժամ էքսպոզիցիայի պայմաններում։ Ստացված տվյալները բերվում են հիստոգրամների ձևով։

Ուսումնասիրված սորտերի չմշակված հատիկներում հայտնաբերվել են էական տարբերություններ՝ էնդոգեն աճման կարգավորիչների կազմի և պարունակության մեջ։

Բեզոստայա 1 սորտի մոտ ազատ կարգավորիչների ֆրակցիայում հայտնաբերվել է մեկ արգելակիչ (R_f 0,97-նկ. 1), կապված ֆրակցիայում ֆիզիոլոգիապես ակտիվ նյութ չի հայտնաբերվել։ Արտաշատի 42 սորտի մոտ ակտիվություն հայտնաբերվել է միայն կապված կարգավորիչների ֆրակցիայում (R_f 0,00, 0,07, 0,17, 0,28, 0,93-նկ. 4), որոնցից առաջին 4-ը ֆենոլներ են։

Նկար 1-ում բերված է Բեզոստայա 1 սորտի ազատ կարգավորիչների ֆրակցիան։ Պարզվել է, որ ֆիզիոլոգիապես ակտիվ նյութերը հիմնականում երեքն են՝ (R_f 0,0—0,12, 0,80—0,95—1,00)։ Դրանցից առաջինը պոլիֆենոլ է, 2-ը խալկոն, 3-ը՝ չբնորոշված։ Կարճատև մշակման դեպքում (3 ժամ) հայտնաբերվել են միայն արգելակիչներ։

Երկար էքսպոզիցիայի դեպքում դրանցից մի քանիսը հանդես են բերել աճը խթանող հատկություն, որը ըստ երևույթին արդյունք է հատիկում նրանց քանակի փոփոխության։

Նկար 2-ում բերված է Արտաշատի 42 սորտի հատիկներում ֆիզիոլոգիապես ակտիվ նյութերի սղատ ֆրակցիան։ Պարզվում է՝ որ հիմնական արգելակիչը (R_f 0,81—1,00; ֆենոլային միացություն է, որն ունի III դիրքում սղատ OH խումբ։ Այս դեպքում ևս 3 ժամ թրջման տարբերակներում նկատվում է միայն ածի արգելակում, իսկ 12 և 24 ժամ թրջման տարբերակներում՝ նաև ածի խթանում։

Հիշատակարժան է, որ այս սորտի մոտ թվարկված նյութերի խթանիչ ազդեցությունն արտահայտվում է Բեզոստայա 1-ի համեմատ պակաս, իսկ արգելող հատկությունը՝ ավելի ուժեղ։

Բեզոստայա 1 սորտի կարգավորիչների կապված ֆրակցիայում ամենաակտիվ արդելակիչները նկատվել են 400 մգ/լ լուծույթներում 12 ժամ էքսպոզիցիայում (նկ. 3)։ 24 ժամ էքսպոզիցիայի ներթարկելու դեպքում ածման կարգավորիչների ակտիվությունն այնքան է նվազում, որ գործնականում վերանում է։

Արտաշատի 42 սորտի հատիկի մոտ ածի կարգավորիչների էական ակտիվություն նկատվում է միայն ՀՀՀ-ի 400 և 2400 մգ/լ լուծույթների 3 ժամյա էքսպոզիցիայի պայմաններում (նկ. 4)։ Մնացած տարբերակներում ակտիվությունն աննշան է։

Այսպիսով, ցորենի պառկող և չպառկող սորտերի հատիկները ածի կարգավորիչ նյութերի պարունակությամբ էապես տարբերվում են ՀՀՀ-ի տարբեր դոզաները և էքսպոզիցիաները առաջ են բերում դրանց քանակի և հարաբերության յուրահատուկ փոփոխություններ։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *М. С. Бардинская, Т. А. Шуберт.* „Биохимия" 27, № 1, 1962. [2] *Harada Jiro, Wada Kiyoshi.* Tohoku J. Agric. Res. 19, № 1, 1968. [3] *Harada Jiro, Wada Kiyoshi.* Proc. Crop. Sci. Soc. Japan, 38, № 1, 1969. [4] *Harada Jiro, Wada Kiyoshi.* Proc. Crop. Sci, Soc. Japan, 38, № 1, 1969. [5] *M. Michniewicz.* Acta agrobot., 11, 1962. [6] *M. Michniewicz, A. Kamienska.* Lampaska K. Zesz. nauk. Univ. Toruniu, 12, 1966. [7] *M. Michniewicz, A. Kamienska.* Zesz. nauk Univ. Toruniu, 12, 1966. [8] *Л. П. Чельцова, Н. И. Лебедева,* «Физиология растений», 17, № 4, 1970 [9] *Э. С. Авунджян, Э. Х. Ширакян, Г. А. Арутюнян,* ДАН Арм ССР, т. 46, № 5 (1968). [10] *Э. С. Авунджян, А. П. Алмаева,* ДАН Арм. ССР, т. 60, № 5 (1970) [11] *Э. С. Авунджян, Г. А. Арутюнян,* ДАН Арм ССР, т. 48, № 1 (1969). [12] *В. И. Кефели, Р. И. Турецкая,* Методы определения регуляторов роста и гербицидов, изд. «Наука», М., 1966 [13] *Л. П. Сарапуу,* «Физиология растений», т. 11 (1964).

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 576.8. 631.461

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. К. Паносян, Л. П. Пучинян

К вопросу о ферментативной активности некоторых микроорганизмов ризосферы персика

(Представлено 7/XII 1970)

Особенностью метаболизма бактерий является их способность синтезировать значительное количество физиологически важных соединений. Среди этих соединений обнаружены также ферменты ([1-4]).

В связи с тем, что в настоящее время нет достаточных сведений о том, какими биохимическими свойствами характеризуются микроорганизмы, населяющие зону корневых систем плодовых деревьев, нас интересовало насколько широко распространены в составе ризосферы персика микроорганизмы с высокой ферментативной активностью.

Ферментативная активность чистых культур микроорганизмов определялась в культуральной жидкости или на твердой питательной среде. Была изучена активность у типичных культур микрофлоры ризосферы персика на образование ряда ферментов: каталазы, уреазы, инвертазы, фосфатазы.

Уреазная активность культур выявлялась при их выращивании на среде следующего состава: KH_2PO_4—1,0 *г*, K_2HPO_4—1,0 *г*, NaCl—5,0 *г*, мочевина —20 *г*, винный спирт 95°—10 *мл*, раствор фенолрота 1%-ный, 2,5 *мл*, дистиллированная вода 1,0 *л*. После холодной стерилизации среда в пробирках заражалась односуточными культурами. Через 30 мин., 2 часа и 24 часа определяли уреазную активность по степени покраснения среды, в результате ее подщелачивания от образовавшегося карбоната аммония ([5]).

Каталазную активность определяли по выделившемуся количеству перекиси водорода, которым заливали чашки Петри с засеянными радиальными штрихами культурами бактерий. Для определения инвертазы делали пробу с Фелинговой жидкостью. Определение фосфатазной активности проводили по предложенной методике ([6]).

Полученный материал свидетельствует о большой разнокачественности микроорганизмов, развивающихся на питательных средах. Ак-

тивность разложения углеводов, мочевины и фосфорсодержащих органических соединений неодинаковая.

Таблица 1

Ферментативная активность некоторых микроорганизмов ризосферы персика

Споровые					Неспоровые					Актиномицеты				
Вид	номера штаммов	активность			Вид	номера штаммов	активность			Вид	номера штаммов	активность		
		каталазы	инвертазы	уреазы			каталазы	инвертазы	уреазы			каталазы	инвертазы	уреазы
Bas. megaterium	19	+++	+++	++	Ps. fluorescens	45	++	+++	+	Act. griseus	9	++	+++	–
	84	++	+++	–		47	++	+++	+		25	–	++	–
	91	++	+++	–		10^2	+	++	–		49	++	++	–
Bac. cereaus	3	+++	++	–	Ps. radiobacter	15	++	++	–	Act. violaceus	90	+	+	+
	43	+++	+	–		71	–	++	–		118	+	++	–
	72	+++	+	++		80	+	++	–		201	++	+	–
Bac. mesentericus	18	++	+++	++	Bas. liquefaciens	28	+	++	–	Act. flavus	92	+	++	+
	36	++	+++	–		93	+	+	–		110	+	++	–
	58	++	+++	+							203	–	++	–
	104	++	+++	–										
Bac. idosus	5	++	++	–						Act. globisporus	23	+	++	–
	11	+	++	–							112	+	+	–
	27	+	++	–										
										Act. coelicolor	215	++	+	+
										Act. chromogenes	41	++	–	+

Примечание: — отсутствие ферментативной активности
+ слабая активность
++ средняя
+++ интенсивная

Ферментативная активность изучена у многочисленных штаммов, населяющих ризосферу персика, но в таблицах и в тексте настоящей статьи приводятся из них самые характерные.

Из табл. 1 видно, что почти все изучаемые микроорганизмы способны образовывать инвертазу. Особенно выделяются штаммы споровых бактерии Bac. megaterium, Bac. mesentericus. Активность у неспоровых форм Ps. fluorescens шт. 45 и 47, а также у Act. griseus штамма

Таблица 2

Фосфатазная активность микроорганизмов
(по зонам вокруг агарового блока в *мм* по радиусу)

Споровые			Неспоровые			Актиномицеты		
Вид	номера штаммов	активность	Вид	номера штаммов	активность	Вид	номера штаммов	активность
Bac. megaterium	19	20	Ps. fluorescens	47	5	Bas. megaterium	9	25
	84	20		45	5		25	15
	91	20		102	20		49	5
Bac. cereus	3	15	Ps. radiobacter	15	10	Bas. cereus	90	25
	43	10		71	20		113	15
	72	17		18	5		201	15
Bac. mesentericus	18	15	Ps. liquefaciens	28	5	Bac. mesentericus	92	10
	36	10		93	10		110	25
	58	15					203	20
	104	10						
						Act. globisporus	23	5
							112	5
Bac. idosus	5	15				Act. coelicolor	215	15
	14	25						
	27	30				Act. chromogenes	41	10

9 высокая. Наиболее активно продуцируют каталазу штаммы № 3, 72, 43 бактерий, принадлежащих к Bac. cereus.

У изучаемых нами микроорганизмов уреаза образуется менее активно, чем каталаза и инвертаза. Некоторые штаммы вообще не образуют уреазы. Активно продуцируют уреазу споровые бактерии Bac. megaterium штамм 19, Bac. cereus штамм 72, Bac. mesentericus штамм 18. Неспоровые бактерии и актиномицеты обладают слабой способностью продуцировать уреазу.

Нами изучалась также фосфатазная активность микрофлоры ризосферы персика. Данные по определению активности фосфатазы приводятся в табл. 2. Изученные бактерии способны образовывать фосфатазу. Этой способностью обладают также многие штаммы бактерий, принадлежащие к роду Pseudomonas. Все испытанные нами штаммы актиномицетов, независимо от их видового состава, очень активно образуют фосфатазы.

Накопление в корневой системе микроорганизмов, обладающих фосфатазной активностью указывает на интенсивность процессов в ризосфере персика, связанных с минерализацией фосфорорганических соединений.

Зная закономерности синтеза микробных ферментов, можно на основании анализа изменений их активности в почве судить о развитии различных сообществ микроорганизмов и о степени плодородия почвы

Научно-исследовательский институт виноградарства, виноделия и плодоводства

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ Հ. Կ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Լ. Պ. ՓՈՒՉԻՆՅԱՆ

Դեղձենու արմատային ոլորտի մի քանի միկրոօրգանիզմների ֆերմենտային ակտիվության հարցի շուրջը

Հայկական ՍՍՀ կիսաանապատային, քարքարոտ, ոռոգմամբ կուլտուրականացված գորշ հողերում մշակվող դեղձենու արմատների ոլորտում զարգացող, թե սպորավոր, թե ոչ սպորավոր բակտերիաների և թե ճառագայթասնկերի տեղական շատ այլատեսակները ընդունակ են արտադրելու, կատալազա, ուրեազա, ինվերտազա, ֆոսֆատազա և այլ ֆերմենտներ, որոնք ադսորբցվելով հողային մասնիկների կողմից, երկար ժամանակ պահպանում են իրենց ակտիվությունը: Հետագայում աստիճանաբար բույսերի արմատներից ներծծվելով, մասնակցում են նյութափոխանակման պրոցեսների ինտենսիվացմանը և բարձրացնում բույսի կենսունակությունը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Н. М. Авдисвич*, Микроб. т. XVI, вып. 2 (1947). [2] *В. Ф. [illegible]*, Тр. конф. по вопросам почвенной микробиологии, 124 (1953). [3] *Г. И. [illegible]*, Тр. конф. [illegible] почвенной микробиологии, 121 (1953). [4] *F. Kramer* und al., Zbl. Bacteriol., Parasitenkunde, Infektonskrankh. und Hyg. 2, № 1 (1967). [5] Manual of Microbiological methods. New-Verk-Toranto-London, (1957). [6] *В. В. [illegible]*, [illegible] Всесоюз. [illegible] с.-х. наук им. Ленина, вып. 9 (1958).

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LIII 1971 3

УДК 631.46+577.15

АГРОХИМИЯ

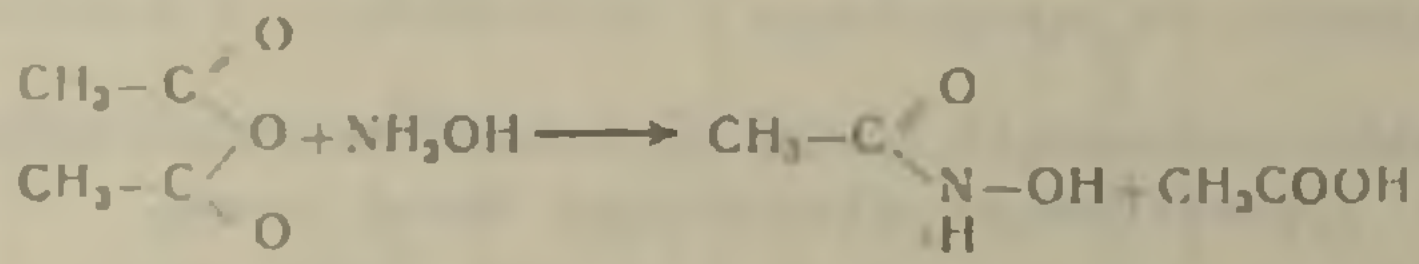
А. Ш. Галстян, Э. Г. Саакян

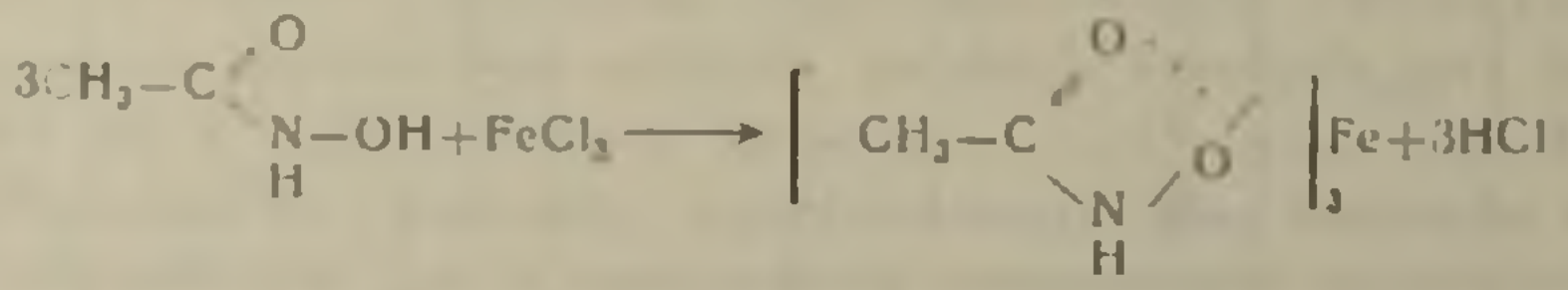
Метод определения активности гидроксиламинредуктазы почвы

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. С. Давтяном 9/IV 1971)

Гидроксиламинредуктаза (1.7.99.1, Аммиак : акцептор оксидоредуктаза), флавопротеид, осуществляет восстановление гидроксиламина в аммиак, донорами служат различные восстановленные соединения ([1]).

До настоящего времени активность гидроксиламиредуктазы почвы не изучена из-за отсутствия метода ее определения. Нами предложен метод определения активности гидроксиламинредуктазы почвы, основанной на реакции гидроксиламина с уксуснокислым ангидридом и с хлорным железом:





Навески (0,5 *г*) воздушно-сухой почвы, просеянной через сито диаметром отверстий в 1 *мм*, помещали в 100-миллилитровые колбы с притертыми стеклянными пробками, прибавляли 20 *мг* углекислого кальция и тщательно смешивали, затем добавляли 1 *мл* 0,5%-ного раствора гидроксиламина (солянокислого) и 1 *мл* 1%-ного раствора глюкозы в качестве донатора водорода. Воздух из колбы эвакуировали при разряжении 10—12 *мм* рт. ст. Колбу осторожно встряхивали и ставили в термостат при 30°С на 5 часов. Контролем служили стерилизованная почва (180° за 3 часа), субстраты без почвы и почва с водой. После выдерживания почвы с субстратом в колбы добавляли 50 *мл* дистиллированной воды, 2 *мл* насыщенного раствора алюмокалиевых квасцов и фильтровали через плотный фильтр. 10 *мл* фильтрата переносили в 50-миллилитро-

вую мерную колбу, добавляли 0,5 *мл* уксуснокислого ангидрида и 0,4 *мл* 1 молярного раствора хлорного железа. Полученный окрашенный раствор хорошо смешивали, объем доводили до метки дистиллированной водой, и колориметрировали прибором ФЭК-М. Использовали 5 *мм* кюветы и светофильтр длиной волны 600 *нм*. Активность гидроксиламинредуктазы выражали в миллиграммах восстановленного NH_2OH на 1 *г* почвы за 5 часов. Показатель ошибки определения до 7%. Количественный учет гидроксиламина был произведен с помощью калибровочной номограммы (рис. 1), полученной из стандартных растворов солянокислого гидроксиламина (2,1046 *г* в 1 *л*). Из этого раствора 100 *мл* переносили в литровую мерную колбу, объем доводили до метки дистиллированной водой, 1 *мл* полученного раствора содержит 0,1 *мл* гидроксиламина, затем соответствующее количество его от 0,1 до 2,0 *мг* перенесли в 50 миллилитровые мерные колбы, прибавляли 0,5 *мл* уксуснокислого ангидрида, 0,4 *мл* хлорного железа, дистиллированной водой объем доводили до метки и фотоколориметрировали.

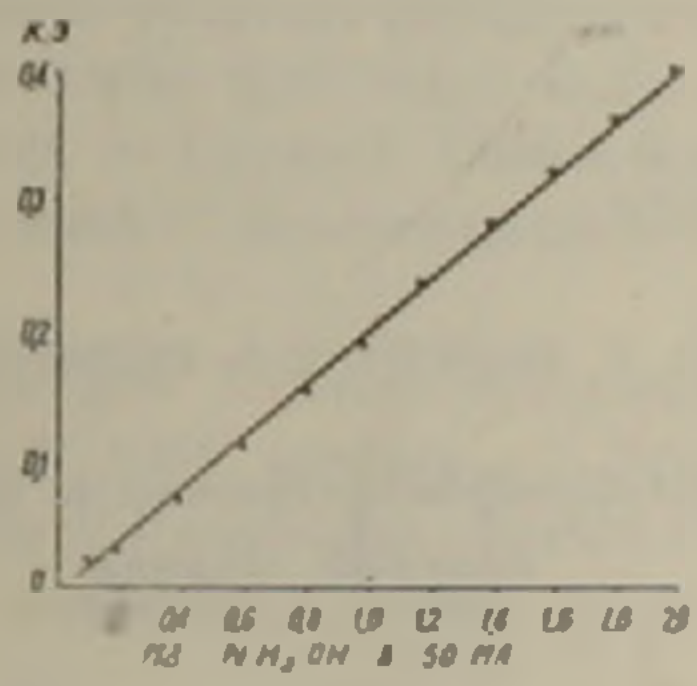


Рис. 1. Калибровочная номограмма гидроксиламина для фотоколориметрического определения активности гидроксиламинредуктазы почвы

В дегидрогеназной системе почвы обнаружено действие гидроксиламинредуктазы (табл. 1), осуществляющей восстановление гидроксиламина в аммиак путем передачи мобилизованных дегидрогеназами водорода НАД.H_2 и НАДФ.H_2 гидроксиламину. Коферментом является ФАД и активируется металлом — марганцем. Гидроксиламин рассматривается как один из основных промежуточных продуктов при восстановлении нитратов в аммиак, его роль установлена в азотистом обмене в растениях (• [1]). Активность гидроксиламинредуктазы почвы находится в корреляционной связи с действием дегидрогеназ с содержанием общего азота и гумуса. Различные типы почв обладают неодинаковой активностью этого фермента — горно-луговые, лесные почвы и черноземы имеют сравнительно высокую активность, а бурые и каштановые низкую. В почве фермент активен в гумусовом горизонте и по профилю его действие снижается в соответствии с уменьшением содержания органического вещества и количества микроорганизмов. Оптимум pH гидроксиламинредуктазы почвы находится в щелочном интервале (pH 8,0—8,5), что установлено с по-

мощью фосфатных буферов. Эти значения pH в почве устанавливались с помощью прибавления углекислого кальция. Тепловая инактивация гидроксиламинредуктазы почвы наступает с 50°, она по своему характеру аналогична с дегидрогеназами ([5]), поэтому определение ее активности проводили при 30°С.

Таблица 1

Активность гидроксиламинредуктазы почв

Почва	Гумус, %	Общий азот, %	pH, H_2O	Дегидрогеназы, *мг* ТФФ	Гидроксиламинредуктаза, *мг* NH_2OH
Бурая	2,2	0,15	8,0	5,2	1,5
Каштановая	3,4	0,29	7,6	6,3	2,1
Черозем	8,2	0,70	7,5	10,2	3,4
Горно-луговая	13,6	0,68	5,2	14,8	5,5
Коричневая лесная	10,5	0,99	6,4	9,1	4,3

Таким образом, на основании проведенных исследований предлагается метод определения активности гидроксиламинредуктазы почвы, имеющий важное значение в познании азотного обмена в почве.

Институт почвоведения и агрохимии
МСХ Армянской ССР

Ա. Շ. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Է. Գ. ՄԱՀԱԿՅԱՆ

Հողի հիդրոքսիլամինռեդուկտազայի ակտիվության որոշման մեթոդը

Մշակված է հողի հիդրոքսիլամինռեդուկտազայի ակտիվության որոշման մեթոդ, որը հիմնված է հիդրոքսիլամինի, քացախաթթվային անհիդրիդի և հարժանք երկաթի քլորիդի ռեակցիայի վրա։ Հողի դնհիդրոգենազների սիստեմում հայտնաբերված է հիդրոքսիլամինռեդուկտազայի ակտիվություն, որն իրականացնում է հիդրոքսիլամինի վերականգնումը ամոնիակի։ Հիդրոքսիլամինռեդուկտազայի ակտիվության օպտիմում pH 8,0-8,5 գտնվում է հիմնային միջավայրում։ Այդ ֆերմենտի ամենաարագ ակտիվությունը հայտնաբերվում է սևահողերում և լեռնա-մարգագետնային հողերում։ Գորշ և շագանակագույն հողերն ունեն համեմատաբար պակաս ակտիվություն։ Հողի խորությամբ նրա ակտիվությունը ընկնում է և ներքին շերտերում չի հայտնաբերվում։ Հիդրոքսիլամինռեդուկտազայի ակտիվության որոշման մեթոդի կիրառությունը հնարավորություն կտա պարզելու ազոտական նյութափոխանակության ընթացքը հողում և վերջինիս նպատակադիր կարգավորումը բույսերի աննգատության համար։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] Номенклатура ферментов, М., 1966. [2] *Д. Н. Прянишников*, Азот в жизни растений и в земледелии СССР, М., 1945. [3] *А. А. Бунделъ, В. Л. Кретович, Г. А. Прокошева*, Физиология растений, т. 12, вып. 6 (1965). [4] *В. Л. Кретович*, Биохимия автотрофной ассимиляции азота, М., 1961. [5] *А. Ш. Галстян*, ДАН Арм. ССР, т. 40, № 3 (1965).

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
LIII 1971 3

УДК 595.768.23

ЭНТОМОЛОГИЯ

С. М. Яблоков-Хизорян

Новые скрытнохоботники из Средней Азии (Coleoptera. Curculionidae)

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Э. А. Даниляном 12/VIII 1971)

Статья содержит описание трех новых видов скрытнохоботников рода Ceuthorrhynchus Germ. из Средней Азии и Казахстана, голотипы которых хранятся в коллекциях Зоологического института АН Армянской ССР.

1. C. (Calosirus) curvipes Iablokoff-Khnzorian sp. nov. Туркмения: окр. Кушки, Акрабад, 5/V 1968, голотип, ♂; Агашлы, насаждения фисташки, 6/V 1968, аллотип и 4 паратипа обоих полов. Все особи найдены в эфемеровой пустыне, кошением в густой траве, развиваются вероятно на крестоцветных.

Тело и конечности черные, у ♂ вершинная часть головотрубки желтая, передние голени бурые, иногда осветлены у основания; лапки более или менее осветлены, у ♂ сильнее, чем у ♀, чешуйки белые. Жук выглядит серым. Длина 2,7—2,8 *мм*. Рис. 1, *в*.

Голова полукруглая, глаза не выступают из ее контура, лоб слабо выпуклый, без ямки, слегка вдавлен перед основанием головотрубки, покрыт густыми чешуйками, почти скрывающими покровы. Чешуйки в среднем в 3 раза длиннее ширины. Головотрубка у обоих полов такой же длины, как переднеспинка, слабо и равномерно искривленная, мелко и морщинистоточечная, в проксимальной части покрыта такими же чешуйками, как на лбу, кпереди голая. Усиковые бороздки латеральные, упираются в край глаз, их нижний край виден сбоку. Усики 10-члениковые, их 1-й членик у вершины постепенно расширен и здесь в 2 раза шире, чем у середины, 1-й членик жгутика в 2 раза толще 2-го и равной с ним длины, 3-й—5-й—цилиндрические, узкие, 6-й овальный, булава небольшая, в 2 раза длиннее ширины (рис. 1, *д*).

Переднеспинка в полтора раза шире длины, со слабо приподнятым воротничком (у ♂ сильнее, чем у ♀), за ним с перетяжкой и широким плоским поперечным вдавлением, без килей или зубцов, наибольшей ши-

рины у основания, резко сужена к перетяжке, с двухвыемчатым основанием, без продольной бороздки, но с прищитковым вдавлением. Диск довольно грубо и густо точечный, расстояние между точками слегка боль-

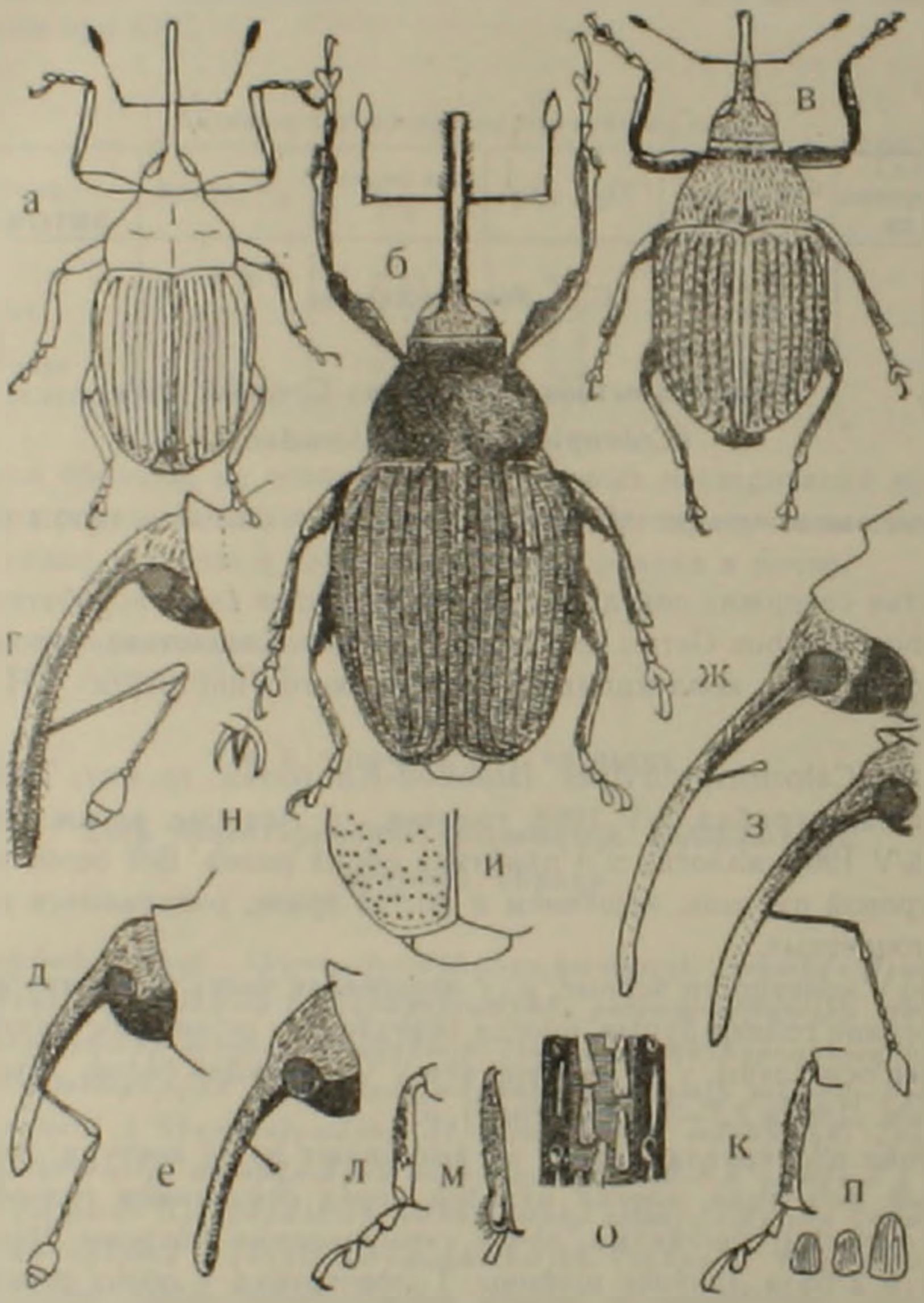


Рис. 1. *а—в*—общий вид ×16—*а*—Ceuthorrhynchus psoropygus Khnz. sp. nov.; *б*—C. hispidirostris Khnz. sp. nov.; *в*—C. curvipes Khnz. sp. nov.; голова сбоку ×32. *г*—C. hispidirostris; *д*—C. curvipes. *е*, *ж*—то же у ♀; *ж*—C. psoropygus, ♀: *з*—то же у ♂; *и*—скат надкрылий у C. psoropygus, косо сзади ×32. *к*—*л*—левая средняя голень у ♂ ×32. *к*—C. psoropygus; *л*—C. curvipes; *м*—левая задняя голень у C. curvipes ×32; *н*—коготки C. hispidirostris; *о*—отрезок одного промежутка бороздок надкрылий у C. curvipes ×120. *п*—разные формы чешуек на надкрыльях C. psoropygus ×120.

ше их диаметра. Чешуйки в среднем такие же, как на лбу, на диске направлены вперед или косо вперед, по бокам косо к оси тела и здесь ко-

реже и шире, узкие чешуйки сконцентрированы в передней половине диска, вдоль основания и у прищиткового вдавления они широко овальные или ланцетовидные.

Надкрылья в 1, 2 раза длиннее общей ширины, яйцевидные, их плечевые бугорки слабо выступающие, бороздки широкие и глубокие, с маленькими округлыми чешуйками, лежащими очень глубоко и плохо заметными, их промежутки в 2 раза шире бороздок, обычно с двойным, местами с тройным рядом чешуек, эти чешуйки узко треугольные, у вершины обрубленные, в среднем в 3 раза длиннее ширины (рис. 1, *о*). 8-я бороздка изгибается под плечевым бугорком, кпереди от него выпрямлена и соединена с 9-й. Скат равномерно пологий, с мелкими бугорочками, скрытыми под чешуйками. Среднегрудь покрыта почти округлыми чешуйками, полностью скрывающими покровы. На передне- и заднегруди чешуйки уже и менее густые, на брюшке они такие же, как на надкрыльях, покровы скрывают на половину. Ноги в узких чешуйках. Все бедра без зубца. Передние голени сильно изогнуты, одинаково у обоих полов, средние и задние с узкими вершинными корзинками (рис. 1, *м*). Последний членик лапок длинный, коготки простые.

У ♂ усики прикреплены слегка перед серединой головотрубки (рис. 1, *д*), у ♀ —у ее основной трети (рис. 1, *е*), у ♂ головотрубка едва сужена к вершине (смотреть сбоку), ♀ —слегка сужена перед основанием усиков (рис. 1, *в*), у самой вершины снова расширена (смотреть сверху). У ♂ средние голени с острым вершинным зубцом, резко отогнутым кнаружи (рис. 1, *л*), переднеспинка в основной части почти параллельнобокая, у ♀ —явственно сужена кпереди (рис. 1, *в*).

По строению усиков этот вид принадлежит к подроду Calosirus Thoms., и может быть отнесен к группе C. terminatus sensu Dieckmann.

У видов этого подрода с простыми коготками более или менее осветленная головотрубка известна у ♂♂ C. iconiensis Schze, linealbatus Schze, pyrrhorhynchus Marsh., sisymbrii Dieckm., moraviensis Dieckm.

У всех этих видов конечности или, по крайней мере, голени желтые. Кроме этого, они отличаются от нового вида по следующим признакам:

у C. iconiensis из Передней Азии чешуйки надкрылий широко треугольные, сзади налегают друг на друга, скрывая бороздки;

у pyrrhorynchus и linealbatus, оба из Европы, все тело сильно осветлено, чешуйки на надкрыльях уже;

у sisymbrii из Европы и Закавказья надкрылья короткие, лишь в 1,1 раз длиннее общей ширины, габитус иной.

у moraviensis из средней Европы переднеспинка равно сужена кпереди и сзади, бугорки на скате надкрылий хорошо видны, корзинки задних голеней овальные; как и у предыдущего вида, усики прикреплены у середины головотрубки у обоих полов.

У всех видов данного подрода, до сих пор указанных из Средней Азии, коготки с зубцом.

2. C. (Thamiocolus) hispidirostris Iablokoff-Khnzorian sp. nov. Таджикистан: Душанбе, ущелье Кондара, 17/IV 1968, на сухом склоне голотип, ♂, и аллотип, ♀.

Тело и конечности черные, лапки частично осветлены, чешуйки беловатые, сверху жук выглядит темно-серым. Длина 3,8 *мм*. Рис. 1, *б*.

Голова округло-коническая, глаза не выступают из ее контура, лоб слабо выпуклый, без ямки, слегка вдавлен у основания головотрубки, покрыт короткими волосковидными чешуйками, не скрывающими покровов. Головотрубка узкая, слабо и равномерно искривленная, сверху до усиковых впадин покрыта точками и такими же чешуйками, как на лбу, без киля, снизу с короткими щетинками по всей длине, в дистальной части с многочисленными косыми щетинками до вершины. Усиковые бороздки загнуты вниз, их нижний край проходит снизу вдоль ее оси, сбоку не виден, верхний упирается в край глаз. Усики 11-члениковые, их 1-й членик слабо и постепенно расширен у вершины и здесь в 2 раза шире, чем у середины, 1-й членик жгутика в 2 раза шире 2-го и равной с ним длины, 3-й и 4-й узкие и цилиндрические, 5-й и 6-й овальные, 7-й округлый, булава в 2 раза длиннее ширины (рис. 1, *г*).

Переднеспинка в 1,4 раза шире длины, с резко приподнятым воротничком, за ним с перетяжкой, без следа килей или зубцов, с закругленными боками, сзади едва сужена к основанию, которое слабо двувыемчатое, ее наибольшая ширина в основной трети, с прищитковым вдавлением, диск довольно мелко и густо, равномерно точечный, расстояния между точками плоские, в 2 раза уже их диаметра, волосистость такая же, как на лбу, довольно густая, но не скрывает покровов.

Надкрылья в 1, 2 раза длиннее общей ширины, с тупым, слабо выступающим плечевым бугорком, с глубокими и широкими бороздками, усаженными короткими, широкими, плохо заметными чешуйками, их промежутки в полтора раза шире бороздок, с прилегающими чешуйками, такими же, как на лбу, расположенными в 2—3 ряда, расстояние между чешуйками соседних рядов едва уже их ширины. 8-я бороздка загибается под плечевым бугорком, выпрямлена перед основанием и здесь соединена с 9-й. Скат пологий, с очень мелкими бугорками, скрытыми под чешуйками. Низ и ноги покрыты рассеянными чешуйками, такими же, как на лбу, но, в среднем, более длинными, нигде не сгущенными. Передние бедра с маленьким тупым зубцом, дистально от него с дугообразной вырезкой, на средних и задних бедрах зубец острый. Передние голени у вершины наружного края с вырезкой, сзади отграниченной лопастевидно закругленным зубцом, вдоль вырезки со щеткой тонких щетинок, отстоящих друг от друга на расстояние в 2 раза превышающее их толщину. Задние голени с узкой вершинной корзинкой. Передние лапки (без коготков) слегка короче передних голеней, с длинным последним члеником. Коготки с узкими придатками, вершинами соприкасающимися (рис. 1, *и*).

У ♂ головотрубка такой же длины, как переднеспинка, к вершине очень слабо сужена, густо точечная и волосистая по всей длине, с многими торчащими волосками, усики прикреплены у ее вершинных двух пятых

(рис. 1, *г*), у ♀ головотрубка в полтора раза длиннее, чем у ♂, слегка расширена у места прикрепления усиков, дистально от него сужена и снова расширена у самой вершины (смотреть сбоку), в дистальной части блестящая, с редкими точками, усики прикреплены у ее основных 0,36. У аллотипа перед щитком и за ним, вдоль шва имеются несколько овальных чешуек, которых нет у голотипа. У ♂ средние голени у вершины с голетым, острым, слегка искривленным зубцом, едва отогнутым кнаружи, пигидий густо покрыт длинными светлыми волосками, у ♀ он кажется голым, грубо и густо точечный, со срединным килем, волоски негустые, темные.

По строению передних лапок этот вид принадлежит к подроду Thamiocolus Thomson, в котором он представляет довольно чуждый элемент. От всех видов подрода и рода отличается наличием торчащих щетинок на головотрубке. Наиболее близок, по-видимому, к C. suliureus Fst из Средней Азии и Казахстана, но у этого последнего головотрубка короткая и толстая, передние голени с густой щеткой щетинок, прилегающих друг к другу, габитус, скульптура покровов, форма и окраска чешуек иные.

3. C. (s. str.) psoropygus Iablokoff-Khnzorian sp. nov. Казахстан: Илийск, правый берег Или, 1 км на восток от моста, в барханных песках, на цветущих крестоцветных из рода Erysimum, голотип ♂, аллотип, ♀, и 9 паратипов обоих полов, 15/V 1969.

Тело черное, конечности темно-бурые, лапки более или менее осветлены, у ♂ головотрубка в вершинной части желтая, у ♀, она более или менее затемнена. Длина 2,4—2,6 мм. Рис. 1, *а*.

Голова полукруглая, глаза не выступают из ее контура, лоб слабо выпуклый, без ямки, слегка вдавлен у основания головотрубки, покрыт густыми, широко ланцетовидными чешуйками, скрывающими покровы, их длина в среднем в полтора раза больше их ширины. Головотрубка длинная и узкая, слабо и равномерно искривленная, морщинистая и мелкоточечная, без киля, покрыта чешуйками до места прикрепления усиков. Усиковые бороздки латеральные, их нижний край виден сбоку, упирается, как и верхний, в край глаз. Усики 11-члениковые, их 1-й членик у вершины расширен постепенно и здесь в 2 раза шире, чем у середины, 1-й членик жгутика в 2 раза шире 2-го и равной с ним длины, 3-й—5-й узко овальные, 6-й и 7-й округлые, булава в 3 раза длиннее ширины (рис. 1, *з*).

Переднеспинка со слабо приподнятым воротничком, за ним с перетяжкой и широким седловидным вдавлением, окаймленным сзади 2 боковыми килями, с вдавлением перед щитком, продолженным узкой бороздкой до загиба воротничка, с двувыемчатым основанием, наибольшей ширины в основной трети, очень слабо сужена к основанию и сильно к перетяжке. Диск покрыт такими же чешуйками, как лоб.

Надкрылья в 1, 2 раза длиннее общей ширины, со слабо выступающими плечевыми бугорками, за ними едва расширены, сзади сужены яйцевидно, с глубокими тонкими, голыми бороздками, промежутки которых в 4 раза шире них и покрыты тройным рядом широких треугольных

чешуек, несколько изменчивой формы и размеров (рис. 1, *п*), налегающих друг на друга и полностью скрывающих покровы. 8-я бороздка слегка изогнута под плечевым бугорком, выпрямлена к основанию, почти достигает переднего края надкрылий, проходя здесь параллельно 9-й, от которой отделена рядом чешуек. Скат пологий, с многочисленными мелкими блестящими зернышками, расположенными в несколько неправильных рядов (рис. 1, *и*) и четко выступающими над чешуйками. Весь низ, пигидий и ноги в чешуйках, скрывающих покровы и такой же формы, как на надкрыльях. Все бедра без зубца. Передние голени не длиннее передних лапок, задние—с небольшой узкой вершинной корзинкой. Коготки без зубца.

У ♂ головотрубка по длине равна голове и переднеспинке, вместе взятым, густо точечная до вершины, у ♀ она в 1,2 раза длиннее, чем у ♂, к вершине блестящая, с единичными точками. У ♂ усики прикреплены слегка перед серединой головотрубки (рис. 1, *з*), у ♀ —у основной трети (рис. 1, *ж*). У ♂ средние голени (рис. 1, *к*) с большим острым зубцом отогнутым почти отвесно к оси голени.

Этот вид принадлежит к подроду Ceuthorrhynchus s. str., легко отличается от большинства прочих видов рода строением головотрубки и скульптурой ската надкрылий. Длинная головотрубка имеется также у C. transcaspius Schze из Туркмении, но этот вид крупнее, его скат с иной, обычной, скульптурой, чешуйки уже, окраска иная. Сходная скульптура ската известна у C. carinicollis Bris. из Сирии, у которого коготки также простые, но у него головотрубка много короче, плечи сильно выступающие, бугорчатые, форма чешуек иная.

Зоологический институт
Академии наук Армянской ССР

Ս. Մ. ՅԱԲԼՈԿՈՎ-ԽՆԶՈՐՅԱՆ

Նոր ծածկակնճիթներ Միջին Ասիայից (Coleoptera. Curculionidae)

Հոդվածում նկարագրվում է Ceuthorrhynchs Germ. *սեռի երեք նոր տեսակ ծածկակնճիթներ Միջին Ասիայից, որոնց տիպերը պահպանվում են Հայկական ՍՍՀ ԳԱ Կենդանաբանական ինստիտուտի հավաքածուներում. այդ տեսակները հետևյալներն են.*
1. C. (Calosirus) curvipes Khnz., sp. nov. *գտնված է հարավային Թուրքմենիայում՝ Կուշկայի շրջակայքում երկու կետերում։*
2. C. (Thamiocolus) hispidirostris Khnz., sp. nov. *գտնված է հարավային Տաջիկստանում, Դուշանբեի մոտ, Կոնդարայի ձորում*
3. C. (S. str.) psoropygus Khnz., sp. nov. *գտնված է Ղազախստանում Իլիյսկի մոտ, Իլի գետի աջ ափում, ավազաթմբերում խաչածաղկավորների՝* Erysimum *սեռի ծաղկող բույսերի վրա*