

П- 167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК  
СССР

9

НОВОСИБИРСК

1959

# ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

9

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР  
1959

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Р. Г. Карымов, Влияние активных сопротивлений на статическую устойчивость настроенных электропередач	3
О. В. Ольшевский, О режиме напряжения компенсированной электропередачи	10
К. К. Абрамов, А. А. Ильин, Определение частичных параметров контактной сети шахты	15
А. Л. Виноградов, Автоматизированный асинхронный привод шахтной скиповой подъемной установки, управляемый с помощью жидкостного реостата	23
Е. Ф. Доильницын, Исследование работы анализатора радиочастотного масс-спектрометра	31

### ХИМИЯ

А. К. Шарова, А. П. Штин, О фосфорнокислой соли ниобия	40
В. П. Латышев, Н. И. Попова, Изучение процесса каталитического окисления пропилена. Сообщение 3. О методах определения акролена в продуктах каталитического окисления пропилена на катализаторе	48
И. Л. Котляревский, Е. К. Васильева, Горые физические характеристики комплексного соединения	52
Б. Н. Пещевникова, Уранила с галогенами	56
С. С. Бацанов, Фелино-содово-известняков	63
Е. И. Хазанов, Известняков	68
Ч. Г. Иогансен, А. Б. Гукасян, Борьба с вредителями	76
Е. Х. Золотарев, дуальной за	87
В. П. Шаповалов, ных остатко	92
А. Н. Сидоренко, тральной К	98
Л. П. Тарбаева, Б внях Новоси	103
Л. В. Бардунов,	111
	121

П-23482

1959 / Известия Сибирского  
отд. АН СССР

7р.

П-23482

Р. Г. КАРЫМОВ

### О ВЛИЯНИИ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

При расчете статической устойчивости дальних электропередач влиянием активных сопротивлений ввиду их относительно малой величины обычно пренебрегают. Это чрезвычайно упрощает все выкладки и, несомненно, вполне оправдано. Но в настроенных электропередачах относительные величины активных сопротивлений намного увеличиваются и в некоторых случаях могут быть соизмеримыми с величинами реактивных сопротивлений.

В данной статье анализируется влияние активных сопротивлений на статическую устойчивость в предположении, что самораскачивание отсутствует, т. е. рассматривается только аperiodическая устойчивость.

Работа выполнена в лаборатории электроэнергетических систем Транспортно-энергетического института Сибирского отделения АН СССР под руководством В. К. Щербакова.

Влияние активных сопротивлений на устойчивость настроенных электропередач удобнее всего рассмотреть на примере работы генератора через линию, настроенную на полуволну, на шины бесконечной мощности. Из метода малых колебаний известно, что критерием аperiodической устойчивости в этом случае может служить знак синхронизирующей мощности, который должен быть определен для передающей станции.

$$S_1 = \frac{dP_1}{d\delta}, \quad (1)$$

где  $\delta$  — угол между э. д. с. генератора и напряжением шин приемной системы.

Принимая для примера генератор с симметричным ротором, идеализированный в общепринятом смысле, можно ввести его в схему замещения синхронным реактивным сопротивлением (рис. 1).

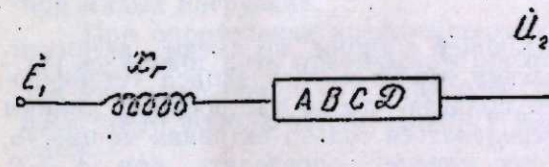


Рис. 1. Расчетная схема электропередачи.

Выражение для мощности генератора через собственные и взаимные полные сопротивления известно [1]. Последние можно представить через обобщенные постоянные электропередачи:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{\dot{B}_0}{\dot{D}_0}; \quad \dot{Z}_{12} = \dot{B}_0. \quad (2)$$

п 23482

ИНСТИТУТ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
А. Н. МИРГИЗОВОЙ С С С Р

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), член-корр. Н. П. Дубинин, д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. Кротов, член-корр. А. В. Николаев, член-корр. И. И. Новиков, член-корр. Г. А. Пруденский, акад. С. Л. Соболев (главный редактор), д-р биол. наук К. А. Соболевская.

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20.

Тогда выражение для активной мощности передающей станции, полученное из (1), примет вид:

$$P_1 = \frac{E_1^2 (Re \dot{B}_0 Re \dot{D}_0 + Im \dot{B}_0 Im \dot{D}_0)}{B_0^2} + \frac{E_1 U_2}{B_0} \sin(\delta - \alpha_{12}), \quad (3)$$

где

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{Re \dot{B}_0}{Im \dot{B}_0}. \quad (4)$$

Учитывая, что коэффициенты передачи настроенных линий — числа действительные, обобщенные постоянные всей электропередачи могут быть записаны так:

$$\dot{A}_0 = A + jX_r C; \quad \dot{B}_0 = B + jX_r D; \quad \dot{C}_0 = C; \quad \dot{D}_0 = D, \quad (5)$$

где  $A, B, C, D$  — коэффициенты передачи линии. При этом в зависимости от схемы настройки сопротивления трансформаторов входят в реактивное сопротивление генератора или учитываются коэффициентами передачи линии. Подставив (5) в (3) и переходя к относительным единицам, можно получить выражение для активной мощности передающей станции:

$$P_1 = \frac{e_1^2 bd}{b^2 + x_r^2 d^2} + \frac{e_1}{\sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}} \sin(\delta - \alpha_{12}), \quad (6)$$

где

$$\alpha_{12} = \arctg \frac{b}{x_r d}. \quad (7)$$

За единицы базисных величин приняты  $\dot{U}_2 = U = 1$  и волновое сопротивление линии.

Выражение (6) справедливо при любой схеме настройки; оно показывает, что при постоянных напряжениях начала и конца электропередачи угловая характеристика мощности является синусоидой, сдвинутой как по углу, так и по амплитуде. Так как при этом  $b$  и  $d$  отрицательны,  $\alpha_{12}$  меняется от  $180$  до  $270^\circ$ , а предельный угол по устойчивости — от  $270$  до  $360^\circ$ .

О степени устойчивости передачи лучше всего судить по коэффициенту запаса, который может быть определен по известному выражению

$$k = \frac{P_{1np}}{P_1}, \quad (8)$$

где  $P_{1np}$  — предельное значение передаваемой мощности (значение  $P_1$  при  $\sin(\delta - \alpha_{12}) = 1$ ).

Считая, что генераторы передающей станции не имеют автоматических регуляторов, при определении коэффициента запаса устойчивости нужно принять  $e_1 = \text{const}$ , но полагая, что по настроенным линиям в нормальном режиме должна передаваться только активная мощность, эту величину э. д. с. генератора следует определять при  $q_1 = 0$ , где  $q_1$  — реактивная мощность передающей станции. Характеристика  $e_1 = f(P_1)$  при  $q_1 = 0$  может быть определена из выражения

$$e_1 = a_0 + bw. \quad (9)$$

Так как потерь реактивной мощности в настроенной линии не может быть, то условие  $q_1 = 0$  равносильно  $q_2 = 0$ , и, следовательно,  $\omega_2 = p_2$ .

Подставляя значения обобщенных постоянных и учитывая последнее равенство, можно получить

$$e_1^2 = p_1^2 (b^2 + x_r^2 d^2) + p_2 (2ab + 2x_r^2 cd) + a^2 + x_r^2 c^2. \quad (10)$$

Величина  $p_2$  может быть определена из выражения для мощности начала линии [2]:

$$p_1 = (a + bp_2)(c + dp_2). \quad (11)$$

Подставим значение  $p_2$  из (11) в (10). После некоторых преобразований искомая зависимость примет вид:

$$e_1 = \sqrt{\frac{x_r^2 (1 - \sqrt{1 + 4p_1 bd})^2}{4b^2} + \frac{(1 + \sqrt{1 + 4p_1 bd})^2}{4d^2}}. \quad (12)$$

При работе генератора непосредственно на шины бесконечной мощности ( $b = c = 0; a = d = 1$ ) в выражении (12) под корнем получается неопределенность, раскрытие которой приводит к известному выражению

$$e_1 = \sqrt{x_r^2 p_1 + 1}. \quad (13)$$

В обычных электропередачах при проверке на запас по аперiodической устойчивости достаточно определить коэффициент запаса при

наибольших нагрузках, так как при малых этот запас заведомо больше. В настроенных электропередачах это положение несколько меняется. Согласно выражению (5), характеристика мощности, оставаясь синусоидой, смещается относительно осей  $p, \delta$  (рис. 2). Величина смещения зависит как от соотношения активных и реактивных сопротивлений, так и от величины  $e_1$ . На рис. 2 видно, что при малых нагрузках угол  $\delta$  близок к предельному (нижний предел); при переходе через него, согласно приведенному выше критерию, устойчивость теряется. Таким образом, в настроенных передачах запас статической устойчивости может оказаться недостаточным и при малых нагрузках.

При определении коэффициента запаса в этом случае выражение (7) не может дать правильного представления о степени устойчивости, так как даже при  $p_1 = 0$  (наиболее тяжелый случай) коэффициент запаса равен бесконечности. Поэтому правильнее пользоваться выражением

$$k_0 = \frac{P_{1a}}{P_{1n} - P_1}, \quad (14)$$

где  $P_{1a}$  — амплитуда синусоидальной составляющей передаваемой мощности,

$P_{1n}$  — постоянная составляющая той же мощности.

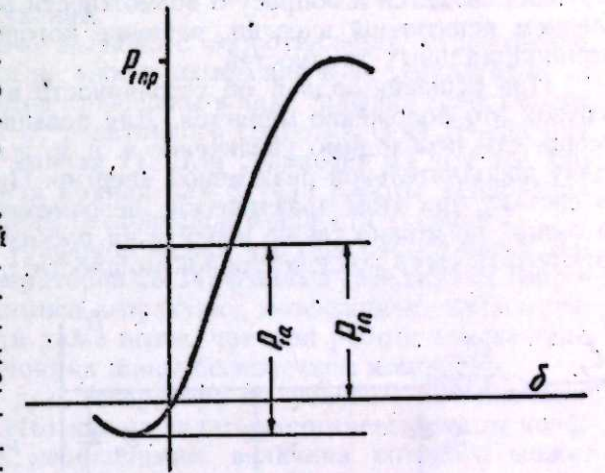


Рис. 2. Угловая характеристика мощности.

Подставив в (14) из выражения (6) значения  $p_{1a}$ ,  $p_{1b}$ ,  $p_1$ , можно получить необходимое условие устойчивой работы в виде неравенства

$$p_1 \geq \frac{e_1^2 bd}{b^2 + x_r^2 d^2} - \frac{e_1}{k_0 \sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}} \quad (15)$$

Решение этого неравенства относительно  $e_1$  даст предельный закон изменения э. д. с. по нагрузке из условия устойчивости:

$$e_1 \leq \frac{\sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}}{2k_0 bd} + \sqrt{\frac{b^2 + x_r^2 d^2}{4k_0^2 b^2 d^2} + \frac{p_1 (b^2 + x_r^2 d^2)}{bd}} \quad (16)$$

В зависимости от параметров электропередачи может оказаться, что величина  $e_1$ , определенная по выражению (12), не соответствует условию (16). Тогда по линии должна передаваться реактивная мощность. Так как такие режимы всегда кратковременны, то с повышенными в связи с этим потерями, видимо, можно мириться. Если все же передача реактивной энергии по каким-либо причинам нежелательна или невозможна (низкий к. п. д. перенапряжения вдоль линии), можно в начале линии включить регулируемые источники реактивной энергии. При этом электропередача будет работать в режиме неполной настройки (недостройки по току).

Таким образом, вопрос о статической устойчивости при малых нагрузках сводится к вопросу о возможности работы генератора с потреблением реактивной энергии, решение которого, очевидно, не вызывает принципиальных трудностей.

При решении задачи об устойчивости в режиме максимальных нагрузок это положение меняется. Для повышения предела передаваемой мощности необходимо увеличение э. д. с. генератора, что вызывает задачу дополнительной реактивной энергии. Передача реактивной энергии в систему при этом практически невозможна ввиду перенапряжений в линии, но можно также перейти на работу при неполной настройке — отключить часть конденсаторной мощности для схемы (рис. 3), что в не-

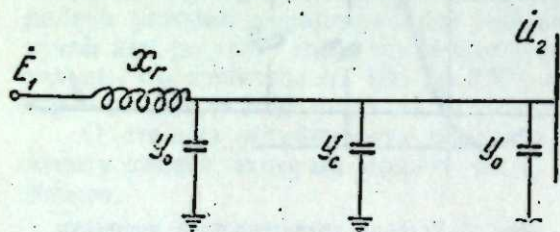


Рис. 3. Схема настройки линии.

которых случаях может дать к тому же экономию настраивающих устройств. В настоящей статье приводится лишь сравнительная оценка статической устойчивости настроенных электропередач; поэтому рассмотрен случай работы только с выработкой чисто реактивной энергии.

Вообще при расчете коэффициента запаса по максимальному пределу, видимо, тоже было бы более правильно брать предельную и действительную мощности за вычетом постоянной составляющей, но, поскольку при последовательном активном сопротивлении этот коэффициент не ниже получаемого по выражению (7), можно пользоваться последним:

$$k = \frac{e_1^2 bd}{p_1 (b^2 + x_r^2 d^2)} + \frac{e_1}{p_1 \sqrt{b^2 + x_r^2 d^2}} \quad (17)$$

Если необходимо определить коэффициент запаса устойчивости в зависимости от мощности, передаваемой в систему, можно вести расчет в следующем порядке:

- 1) для заданной мощности  $p_2$  по выражению (11) определить  $p_1$ ,
- 2) по величине  $p_1$  из выражения (12) —  $e_1$ ,
- 3) подставляя найденные величины  $e_1$  и  $p_1$  в (17), определить  $k$ .

В качестве примера взята линия длиной 2400 км, настроенная на полуволну по схеме рис. 3. Параметры линии:  $r_0 = 0,011$  ом/км;  $x_0 = 0,283$  ом/км;  $y_0 = 4,13 \cdot 10^{-6}$  1/ом. км. Активная проходимость линии не учитывалась.

Обобщенные коэффициенты передачи линии в относительных единицах для схемы рис. 3 без учета комплексности волнового сопротивления можно написать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{a} = \dot{d} &= \operatorname{ch} \gamma x + \frac{y_c}{2} \operatorname{sh} \gamma x + y_0 \operatorname{sh} \gamma x + y_0 y_c \operatorname{sh}^2 \gamma \frac{x}{2}, \\ \dot{b} &= \operatorname{sh} \gamma x + y_c \operatorname{sh}^2 \gamma \frac{x}{2} \end{aligned}$$

или, с учетом условий настройки ( $\operatorname{Im} \dot{a} = 0$ ;  $\operatorname{Im} \dot{b} = 0$ ),

$$a = d = \frac{\operatorname{ch} \beta x \cos \lambda - \operatorname{ch}^2 \beta x}{1 - \operatorname{ch} \beta x \cos \lambda}; \quad b = \frac{\operatorname{sh} \beta x \cos \lambda - \operatorname{ch} \beta x \operatorname{sh} \beta x}{1 - \operatorname{ch} \beta x \cos \lambda}, \quad (18)$$

где  $x$  и  $\lambda$  — соответственно физическая и волновая длины линии,  $\beta$  — коэффициент затухания.

Пренебрежение мнимой частью волнового сопротивления, существенно упрощая расчеты, практически не вносит изменений в их результаты.

Результаты расчетов приведены в виде графика зависимости коэффициента запаса от реактивного сопротивления генератора для  $p_2 = 1,2$  (рис. 4, кривая 1). Для сравнения на том же рисунке дана аналогичная кривая для случая работы генератора непосредственно на шины бесконечной мощности (кривая 2).

Из приведенных графиков видно, что при работе через настроенную линию генераторов со значениями реактивных сопротивлений, встречающимися в практике, коэффициент запаса статической устойчивости даже выше, чем при работе тех же генераторов непосредственно на шины бесконечной мощности.

Для проверки э. д. с. генератора по условию устойчивости по нижнему пределу (16) нужно задаться соответственным коэффициентом запаса  $K_0$ , необходимая величина которого может быть определена только опытным путем. Если принять его равным 1,15, как это делается в обычных расчетах, то выражение (16) будет лимитировать величину э. д. с. лишь при очень малых значениях  $x_r$  (примерно 0,04), которые в практике не встречаются. Значит, если установленная мощность передающей станции не превышает намного расчетную передаваемую мощность и быстродействующее регулирование отсутствует, принятое значение коэффициента запаса по нижнему пределу обеспечивается всегда.

В случае параллельной работы двух станций конечной мощности на общую нагрузку, представленную постоянным полным сопротивлением (рис. 5), критерием статической устойчивости является выражение.

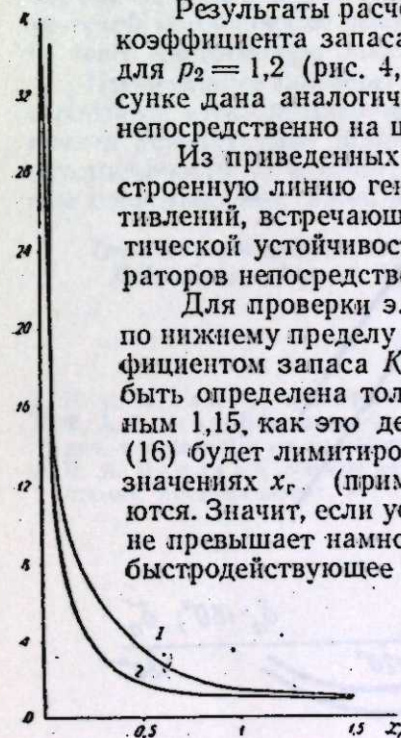


Рис. 4. Зависимость коэффициента запаса статической устойчивости от реактивного сопротивления генератора.

$$\frac{1}{M_1} \frac{P_1}{d\delta_{12}'} - \frac{1}{M_2} \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \geq 0$$

или, если принять  $M_1 = M_2$ ,

$$\frac{dP_1}{d\delta_{12}} - \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \geq 0, \quad (19)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — соответственно мощности, передаваемые первой и второй станциями,

$\delta_{12}$  — угол между векторами э. д. с. за синхронными реактивными сопротивлениями этих же станций.

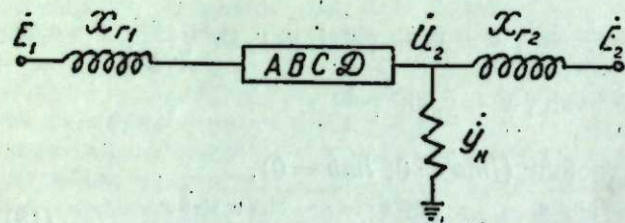


Рис. 5. Расчетная схема электропередачи при двух станциях конечной мощности.

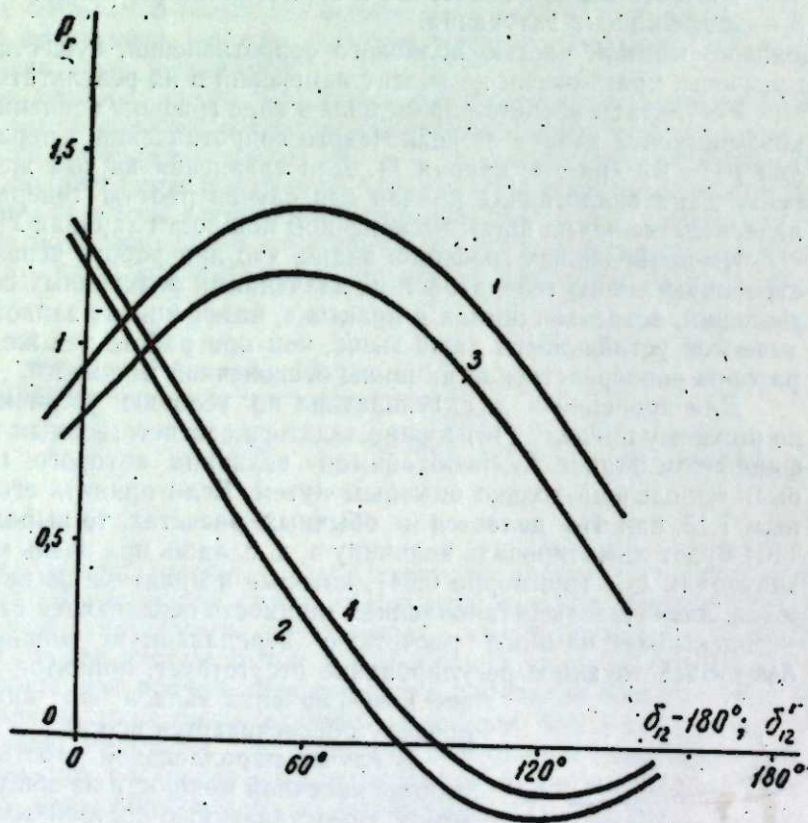


Рис. 6. Угловые характеристики мощности для случая работы двух станций конечной мощности на общую нагрузку. 1, 2 — угловые характеристики соответственно первой и второй станции при включении их через настроенную линию (угол  $\delta_{12}$ ); 3, 4 — то же, при непосредственном включении (угол  $\delta_{12}^r$ ).

Мощность первой станции может быть определена по формуле (3), а для второй станции аналогичная формула

$$P_2 = \frac{E_2 (Re \dot{B}_0 \cdot Re \dot{D}_0 + Im \dot{B}_0 Im \dot{D}_0)}{B_0^2} - \frac{E_1 E_2}{B_0} \sin(\delta + \alpha_{12}). \quad (20)$$

Обобщенные постоянные электропередачи  $\dot{B}_0$  и  $\dot{D}_0$  в этом случае будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{B}_0 &= B - CDX_{r1} X_{r2} - DX_{r1} X_{r2} Y_N + jAX_{r2} + jBX_{r2} Y_N + jDX_{r1}, \\ \dot{D}_0 &= D + jCX_{r2} + jDX_{r2} Y_N. \end{aligned}$$

В виде примера рассмотрена устойчивость работы двух станций, соединенных между собой настроенной линией, с параметрами, приведенными в предыдущем примере. Принято:  $x_{r1} = x_{r2} = 1$  в исходном режиме  $P_N = 2$ ,  $\cos \varphi_N = 0.9$ , активная мощность нагрузки делится между станциями поровну, реактивная покрывается второй станцией. За базисные величины приняты волновое сопротивление линии и напряжение в точке присоединения нагрузки в исходном режиме.

Полученные характеристики каждой станции приведены на рис. 6. Из них видно, что предельная передаваемая мощность, а следовательно, и коэффициент запаса статической устойчивости также определяются из условия равенства нулю синхронизирующей мощности первой станции, так как согласно выражению (19) предельный угол по статической устойчивости больше угла, соответствующего предельной мощности.

Для сравнения приведены аналогичные характеристики для случая непосредственной работы двух станций на общую нагрузку при тех же параметрах нагрузки и генераторов. При этом коэффициент запаса статической устойчивости получается даже несколько ниже, чем при работе через настроенную линию электропередачи.

Приведенные примеры дают возможность сделать вывод, что в настроенных электропередачах учет активных сопротивлений не снижает предел передаваемой мощности и, следовательно, если нет опасности неустойчивости по нижнему пределу, в ориентировочных расчетах активные сопротивления линии можно не учитывать.

Транспортно-энергетический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
21/IV 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. С. Жданов, Устойчивость электрических систем. Госэнергоиздат, М., 1948.
2. Ф. А. Зыкин, Возможности увеличения пропускной способности линий электропередач, настроенных на полуволну. Дисс. ТПИ, Томск, 1956.
3. В. А. Веников, Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Госэнергоиздат, М., 1958.

О. В. ОЛЬШЕВСКИЙ

О РЕЖИМЕ НАПРЯЖЕНИЯ  
КОМПЕНСИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Увеличение степени компенсации параметров дальней электропередачи вызывает ряд неблагоприятных явлений, в частности, повышение напряжения в промежуточных точках линии относительно напряжения по ее концам. В ряде случаев это повышение может выйти за пределы допустимого.

В данной работе рассматриваются некоторые общие положения анализа режимов напряжения компенсированной электропередачи, а также уточняются вопросы, недостаточно освещенные в литературе. При изложении материала будем исходить из заданного значения угла  $\theta$  не всей электропередачи, как это делается в большинстве случаев, а только приходящегося на элементы компенсированной линии [1]. При таком подходе имеется возможность установить основные зависимости в более общем и компактном виде, чем в первом случае, хотя при этом приходится сталкиваться с тем, что значение угла  $\theta$  не является строго определенным.

Как известно, в дальней передаче регулирование потока реактивной мощности осуществляется с обоих концов линии — передающего и приемного. Отсюда следует, что внутри компенсированной линии всегда имеется точка, в которой ток и напряжение совпадают по фазе, или, другими словами, через эту точку нет перетока реактивной мощности (при условии, что активными потерями в линии пренебрегаем). Это дает возможность рассматривать всю схему компенсированной линии как образованную двумя составными схемами, режим одной из которых не зависит от режима другой. В общем случае при конечном перепаде напряжения положение точки с нулевой реактивной мощностью является функцией активной нагрузки линии. Однако при наличии симметричной схемы и равенства напряжения по концам линии передачи указанная зависимость не проявляется, и поэтому вместо расчета полной схемы можно с таким же успехом проводить аналитический анализ только ее половины.

Предлагаемый подход к расчету симметричной компенсированной передачи позволяет существенно сократить вычислительные операции благодаря возможности уменьшить вдвое число элементов эквивалентного четырехполюсника. Кроме того, при расчете половины схемы нет необходимости определять значение регулирующей реактивной мощности, что представляет несомненное преимущество в случае исследования схемы в общем виде.

Полный расчет схемы может производиться на основе приводимых ниже зависимостей.

Напряжение в середине схемы и передаваемая мощность, выраженные через коэффициенты половины схемы, соответственно равны:

$$U_c = \frac{\cos \theta_n/2}{A_{1/2}}; \quad (1)$$

$$P = \frac{\cos \theta_n/2 \cdot \sin \theta_n/2}{A_{1/2} \cdot B_{1/2}}. \quad (2)$$

Уравнение (1) дает возможность непосредственно прийти к выводу о том, что напряжение в средней точке компенсированной линии является наибольшим при режиме холостого хода, а с появлением нагрузки постепенно снижается. Отсюда следует, что если при холостом режиме линии напряжение в ее середине не превышает допустимого, то оно тем более не может превысить его при нагрузке.

Следует также отметить, что в однородной линии при равенстве напряжения по ее концам ограничивающее напряжение находится только в ее середине, в то время как в линии, содержащей сосредоточенные параметры, этого может и не быть. В такой линии положение ограничивающего напряжения определяется прежде всего характером схемы и значением ее параметров.

В общем случае напряжение в любой точке компенсированной линии при холостом режиме может быть найдено посредством следующего отношения:

$$U_x = \frac{A'}{A_{1/2}}, \quad (3)$$

где  $A'$  — коэффициент четырехполюсника от середины схемы до определяемой точки.

Отсюда могут быть установлены граничные условия, определяющие равенство напряжения в середине схемы и заданной точке из уравнения:

$$A' = 1. \quad (4)$$

Таким образом, на основе отношений соответственных коэффициентов  $A$  возможно определить положение точки линии, где имеется пучность напряжения в режиме холостого хода при заданных параметрах схемы.

Вполне очевидно, что с появлением активной нагрузки линии напряжение исследуемой точки схемы меняется в ту или другую сторону. Это изменение напряжения может быть учтено следующим образом:

$$U = \sqrt{U_c^2 \cdot A'^2 + \left(\frac{P}{U_c}\right)^2 \cdot B'^2}. \quad (5)$$

После некоторых преобразований выражение (5) приводится к виду:

$$U = U_x \sqrt{\cos^2 \theta_n/2 + K^2 \sin^2 \theta_n/2}, \quad (6)$$

где

$$K = \frac{A_{1/2} \cdot B'}{A' \cdot B_{1/2}}; \quad U_x = \frac{A'}{A_{1/2}}.$$

Полученное уравнение (6) удобно тем, что дает возможность довольно просто выяснить ряд основных факторов, влияющих на режим напряжения, в частности определить влияние активной нагрузки линии на напряжение, которое соответствует режиму холостого хода. Кроме того, на основании этого уравнения можно непосредственно получить представление о характере изменения напряжения в исследуемой точке при появлении потока активной мощности. Действительно, значение подкоренного выражения определяется коэффициентом  $K$ , который может

быть назван критическим коэффициентом схемы. При  $K < 1$  напряжение при любой нагрузке линии всегда будет меньше напряжения холостого хода. При  $K > 1$  увеличение передаваемой активной мощности приводит к соответственному росту напряжения относительно напряжения холостого хода.

Отсюда следует, что значение  $K$ , равное единице, является тем граничным условием, которое отделяет области с различным характером изменения напряжения.

Таким образом, имея определенные параметры компенсированной линии и пользуясь в качестве критерия коэффициентом  $K$ , можно непосредственно установить целесообразность проверки схемы по условиям напряжения в режиме передачи по линии активной мощности.

Уравнение (6) дает также возможность найти предельные значения параметров компенсирующих устройств из условия допустимого напряжения и, следовательно, установить верхнюю границу пропускной способности дальней передачи.

Рассмотрим изложенную методику анализа режима напряжения компенсированной передачи на примере схемы с 4 установками продольной компенсации (рис. 1).

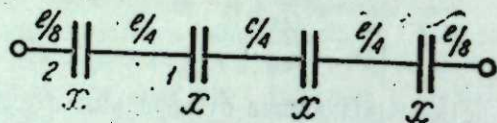


Рис. 1.

Имеем следующие коэффициенты четырехполюсника, замещающего половину рассматриваемой схемы:

$$A_{1/2} = \cos \lambda/2 + x \sin \lambda/2 + \frac{x^2}{2} \sin^2 \lambda/4;$$

$$B_{1/2} = \left(1 - \frac{x^2}{4}\right) \sin \lambda/2 - x \cos \lambda/2 - x \cos \lambda/4 - \frac{x^2}{2} \sin \lambda/4. \quad (7)$$

Наибольшее повышение напряжения возможно в средней точке схемы или в точках 1 и 2 (см. рис. 1).

Найдем компенсирующее сопротивление, при котором имеет место равенство напряжения в середине линии и точке 1 в режиме холостого хода:

$$\frac{U_{1x}}{U_{cx}} = \cos \lambda/8 + x \sin \lambda/8 = 1. \quad (8)$$

Решением уравнения (8) будет  $x = \operatorname{tg} \lambda/16$ . Отсюда следует, что при  $x$ , меньшем указанной величины, ограничивающее напряжение находится в середине линии, при большем значении  $x$  — в точке 1. Следующее равенство  $U_{cx} = U_2$ , соблюдается при условии, что  $x = \operatorname{ctg} \lambda/8$ . Дальнейшее увеличение компенсирующего сопротивления приводит к тому, что пучность напряжения перемещается в точку 2.

Граничное значение  $x$  может быть установлено из соотношения:

$$\frac{U_{1x}}{U_{2x}} = \frac{A_1}{A_2} = 1. \quad (9)$$

Кривая  $a$  зависимости компенсирующего сопротивления от длины линии в соответствии с последним равенством приведена на рис. 2.

Обращает на себя внимание тот факт, что рост компенсирующего сопротивления приводит к понижению напряжения в ограничивающих

точках схемы. Это позволяет в определенной степени увеличить длину линии, при которой может найти применение данная схема.

Значение компенсирующего сопротивления, удовлетворяющее требованию  $U_{1x} = U_{доп}$ , может быть получено из соотношения:

$$x = \frac{\cos \lambda/8 - U_{доп} \cos \lambda/2}{U_{доп} \sin \lambda/2 - \sin \lambda/8}. \quad (10)$$

С помощью последнего уравнения построена кривая  $b$  связи  $x$  и длины линии (см. рис. 2). Как видим, схема удовлетворяет условиям напряжения при любой степени компенсации только до длины линии, равной 850 км ( $U_{доп} = 1,1$ ). Дальнейшее увеличение протяженности передачи требует определенных значений  $x$  для того, чтобы сохранить заданный уровень напряжения. Значения  $x$ , лежащие ниже кривой  $b$ , приводят к недопустимому повышению напряжения в режиме холостого хода.

Перейдем к определению влияния нагрузки линии на режим напряжения в ее ограничивающих точках.

Сначала найдем выражение коэффициента  $K$  для точки 1 (практически  $x \ll 1$ , поэтому не учитываем члены, включающие  $x$  во второй степени).

$$K = \frac{(1 - \operatorname{ctg} \lambda/8)(x + \operatorname{ctg} \lambda/2)}{(x + \operatorname{ctg} \lambda/8)(1 - x \operatorname{ctg} \lambda/2 - 2x \operatorname{csc} \lambda/4)}. \quad (11)$$

Приравнявая это выражение единице, находим предельное значение компенсирующего сопротивления, при котором передача активной мощности не вызывает повышения напряжения (см. рис. 2).

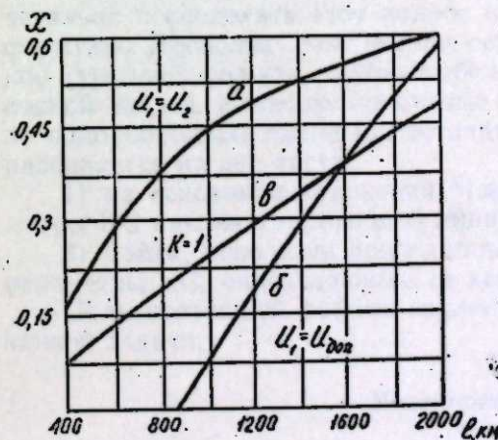


Рис. 2.

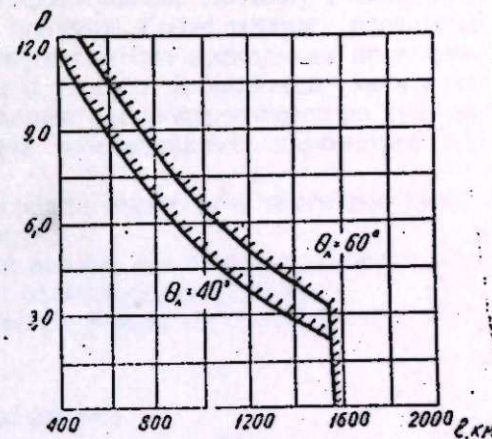


Рис. 3.

Пересечение полученной кривой  $b$  с аналогичной кривой  $b$ , соответствующей условию  $U_1 = U_{доп}$ , показывает предельную длину линии, до которой возможно применение рассматриваемой схемы. При принятых условиях она оказывается равной 1550 км. Путем приравнивания двух выражений  $K$  — из (11) и нижеследующего, полученного из (6),

$$K = \frac{\sqrt{U_{доп}^2 \left(\frac{A_{1/2}}{A_1}\right)^2 - \cos^2 \theta_n/2}}{\sin \theta_n/2}, \quad (12)$$

можно определить максимальное емкостное сопротивление, допустимое по условиям напряжения в режиме нагрузки. Очевидно, что это макси-



мальное емкостное сопротивление будет соответствовать той предельной мощности, которую возможно при нормальных условиях передать по линии, компенсированной по данной схеме (рис. 3).

Кривые рис. 3 свидетельствуют о том, что условия по режиму напряжения при активной нагрузке линии в данном случае не являются чрезмерно жесткими, поскольку они позволяют передать мощность, превышающую натуральную в несколько фаз. Ясно также, что значение угла  $\theta_d$  в рассматриваемой области не оказывает большого влияния на положение кривых предельной мощности.

В заключение хотелось бы отметить, что рекомендуемый нами метод анализа режимов компенсированной передачи может найти применение и в случае конечного значения перепада напряжения. Однако процесс выполнения расчета при этом более сложен.

Транспортно-энергетический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
20/IV 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Б. Заславская, О техническом пределе пропускной способности компенсированной линии электропередачи. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 3, 1957.

К. К. АБРАМОВ, А. А. ИЛЬИН

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ШАХТЫ

Начало серийного изготовления аппаратуры электропроводной высокочастотной связи, работающей по контактными сетям (КС) шахты, вызвало необходимость разработки общей методики расчета КС как линии связи [1]. Чтобы в дальнейшем успешно пользоваться такой методикой, нужно уметь рассчитывать по заданному профилю КС ее электрические параметры. Однако конструкция линии, геометрические размеры выработки, произвольно расположенные в ней дополнительные проводники, трубы, кабели и т. д. резко отличают КС шахты как линию электрической связи не только от обычных линий, но и от контактной сети метрополитена (стенки шахты из естественного грунта, а тоннель метрополитена выложен чугунными тубингами), параметры которой исследованы с учетом высокой проводимости стенок тоннеля [2].

Указанные обстоятельства не позволяют при расчетах параметров КС шахты пользоваться известными формулами. Поэтому необходимо детально исследовать этот вопрос и получить более точные расчетные формулы. Поскольку контактная сеть состоит из нескольких проводников (троллей, рельсы, трубы, кабели и т. д.) т. е. является многопроводной линией, а электромагнитные волны распространяются по ней как по однопроводной линии [3], то задача исследования параметров КС разбивается на две части:

- 1) на основании уравнений Максвелла определить частичные параметры КС как многопроводной линии;
- 2) найти, используя сделанный анализ, некоторые эквивалентные параметры КС, определяющие ее как однопроводную линию;

Цель настоящей работы заключается в решении первой части указанной задачи.

#### Постановка задачи

Частичные параметры многопроводной линии можно определить, если известны соотношения между токами в проводниках линии [4]. Учитывая это, задачу построим следующим образом.

Используя уравнения Максвелла, найдем соотношения между токами в проводниках  $m$ -проводной линии, помещенной в тоннель (рис. 1). Проводники и тоннель круглого сечения и бесконечно длинные, изменение поля во времени периодическое, режим установившийся. Одна часть проводников изолирована, другая лежит на грунте. Введем обозначения. Среды, соответствующие проводникам, обозначим соответственно номерами 1, 2, 3..., грунт — нулевым номером, а среду диэлектрика — буквой  $d$ . Буквами  $a_0, a_1, a_2, a_3...$  будем обозначать соответственно радиусы выработки и проводников,  $d_{ik}$  — расстояние между  $i$ -ой и  $k$ -ой осями,  $h_i$  — наименьшее расстояние  $i$ -го проводника до стенки,

$\psi_{ik}$  — угол, под которым видна ось  $k$ -го проводника из точки, соответствующей оси  $i$ -го проводника.

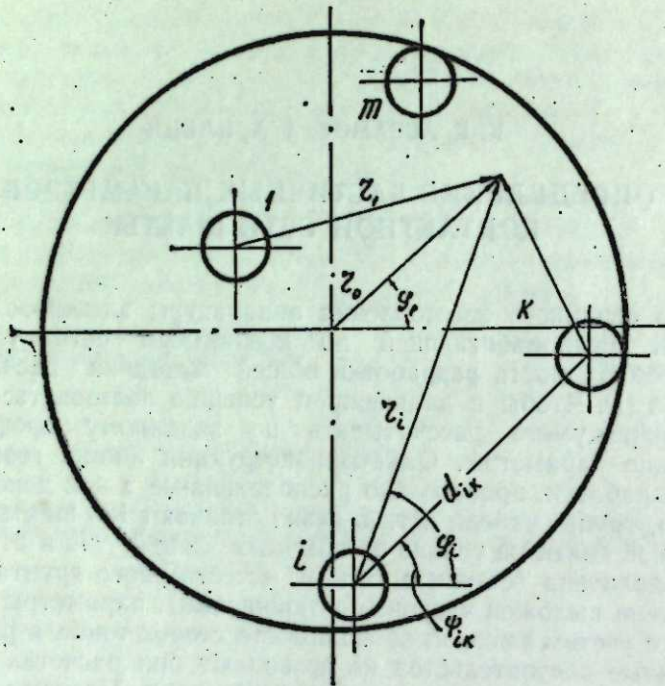


Рис. 1.

В основу исследования поля положим уравнения Максвелла, которые для гармонического изменения записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{rot } H &= (\sigma + j\omega\epsilon) \bar{E}, \\ \text{rot } \bar{E} &= -j\omega\mu \bar{H}. \end{aligned} \quad (1)$$

В нашем случае удобнее всего решать эти уравнения в полярной цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ . При этом осевые составляющие  $E_z, H_z$  определяются из решения волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \kappa^2 \psi, \quad (2)$$

где под функцией  $\psi$  понимается та или другая осевая составляющая поля.

$$\kappa^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon), \quad (3)$$

где  $\mu, \epsilon, \sigma$  — магнитная и диэлектрическая проницаемость и проводимость среды.

Общее решение уравнения записывается в виде бесконечной суммы:

$$\psi = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [A_n I_n(\sqrt{k^2 - \gamma^2} r) + B_n K_n(\sqrt{k^2 - \gamma^2} r)] e^{in\varphi \pm \gamma z}, \quad (4)$$

где  $I_n, K_n$  — видоизмененные функции Бесселя,  
 $n$  — целые числа,

$\gamma$  — постоянная распространения линии.

Остальные составляющие выразим с помощью уравнений (1) через  $E_z$  и  $H_z$ ;

$$\begin{aligned} E_z &= \frac{k^2}{k^2 - \gamma^2} \frac{1}{(\sigma + j\omega\epsilon)r} \left[ \frac{\partial H_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{r\gamma}{j\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial r} \right], \\ E_\varphi &= \frac{k^2}{k^2 - \gamma^2} \frac{1}{(\sigma + j\omega\epsilon)} \left[ \frac{\partial H_z}{\partial r} + \frac{\gamma}{j\omega\mu r} \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} \right], \\ H_\varphi &= \frac{1}{j\omega\mu} \left( \frac{\partial E_z}{\partial r} - \frac{\partial E_r}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

### Построение общих решений для различных сред

В настоящей работе не ставится задача дать точное решение уравнений Максвелла для рассматриваемой линии. Мы ищем решение, которое позволило бы с достаточной для инженерных расчетов точностью оценить электромагнитные процессы в контактной сети. Поэтому при построении общих решений и далее вводится ряд приближенных соотношений.

Из-за большой проводимости металлов, а также сравнительно высокой проводимости прунта положим:

$$\sqrt{k_i^2 - \gamma^2} \approx k_i, \quad i = 0, 1, 2, 3 \dots m. \quad (6)$$

По этой же причине примем  $E_r^{(i)} \approx E_\varphi^{(i)} \approx 0$ , так как внутри проводников существенной может быть лишь осевая составляющая  $E_z^{(i)}$ .

Проводники линии расположены на значительных расстояниях друг от друга, а плотность тока вблизи поверхности выработки вследствие слабо выраженного поверхностного эффекта в грунте не может быть большой, поэтому влиянием вторичных полей на распределение тока внутри проводников пренебрегаем, т. е. считаем, что ток распределен симметрично относительно оси каждого из проводников.

Общие выражения для интересующих нас составляющих с учетом сказанного запишутся в следующем виде:

а) внутри проводников

$$E_z^{(i)} = M_{0i} I_0(k_i a_i), \quad H_\varphi^{(i)} = \frac{k_i}{j\omega\mu_i} M_{0i} I_0'(k_i r_i) \quad (7)$$

б) в грунте

$$E_z = M_{00} K_0(k_0 a_0) + \sum_{\nu=1}^{\infty} (M_{\nu 0} e^{i\nu\tau_0} + M_{-\nu 0} e^{-i\nu\tau_0}) K_\nu(k_0 a_0), \quad (8)$$

$$H_\varphi = \frac{k_0}{j\omega\mu_0} \left\{ M_{00} K_0'(k_0 a_0) + \sum_{\nu=1}^{\infty} (M_{\nu 0} e^{i\nu\tau_0} + M_{-\nu 0} e^{-i\nu\tau_0}) \cdot K_\nu'(k_0 a_0) \right\}.$$

в) для диэлектрика аргументы  $\sqrt{k_0^2 - \gamma^2} 2a_0$  в рассматриваемом диапазоне много меньше единицы. Это позволяет заменить функции Бесселя первыми членами разложения в ряд, причем функции, определяющие  $E_z^0, H_z^0$ , станут решениями уравнения Лапласа. Искомая функция должна иметь  $m$  полюсов в точках, соответствующих областям проводников, и один в бесконечности, т. е.

$$\left. \begin{aligned} E_z &= \sum_{i=1}^m B_{0i} \ln \frac{2}{\gamma_0 \sqrt{k_0^2 - \gamma^2} r_i} + B_{00} + \sum_{\nu=1}^{\infty} (B_{\nu 0} e^{i\nu\tau_0} + B_{-\nu 0} e^{-i\nu\tau_0}) \frac{r_0^\nu}{a_0^\nu} \\ H_z &= C_{00} + \sum_{\nu=1}^{\infty} (C_{\nu 0} e^{i\nu\tau_0} + C_{-\nu 0} e^{-i\nu\tau_0}) \frac{r_0^\nu}{a_0^\nu} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

### Граничные условия. Уравнения, связывающие токи в проводниках

Граничные условия позволяют определить постоянные интегрирования. Когда эффект близости не учитывается (поверхность проводников), граничные условия достаточно представить двумя равенствами:

$$\left. \begin{aligned} E_z^{(0)}(a_1) &= E_z^{(0)}(a_1), \\ H_\varphi^{(0)}(a_1) &= H_\varphi^{(0)}(a_1). \end{aligned} \right\} (10)$$

Если же эффект близости играет существенную роль, то в качестве граничных условий следует рассматривать равенство всех четырех тангенциальных составляющих:

$$\left. \begin{aligned} E_z^0(a_0) &= E_z^{(0)}(a_0), \quad 0 \approx E_\varphi^{(0)}(a_0), \\ H_\varphi^0(a_0) &= H_\varphi^{(0)}(a_0), \quad H_z^0 = H_z^{(0)}(a_0). \end{aligned} \right\} (11)$$

При этом, так как для нас не существенны значения  $E_\varphi$  на поверхности проводников ( $E_\varphi = 0$ ) и зависимость  $H_\varphi^{(0)}(a_0)$  от  $\frac{\partial H_z^{(0)}}{\partial \varphi}$ , выполнение последнего равенства необязательно.

В нашей задаче, кроме этих условий, нужно учесть, что часть проводов лежит на грунте. Поэтому осевую составляющую электрического поля на поверхности таких проводников в силу непрерывности следует принять равной составляющей  $E_z^{(0)}(a_0 \varphi_0)$ , которая существует в точках соприкосновения проводника и поверхности выработки.

При построении общих решений составляющую  $E_z^{(0)}$  мы определили с помощью четырех систем координат. Такая запись не позволяет выполнить граничные условия и составить уравнения для нахождения постоянных интегрирования, — необходимо преобразование координат.

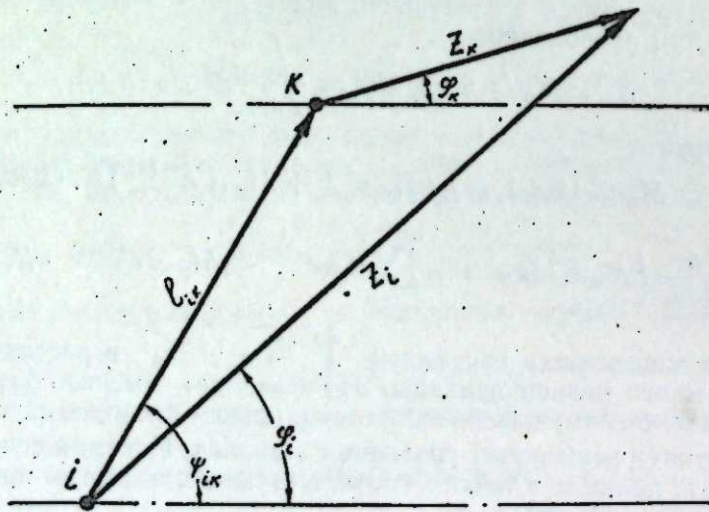


Рис. 2.

Представим  $r_i e^{i\varphi_i}$  в виде комплексного аргумента  $\omega$  (рис. 2), тогда

$$\omega = l_{ik} + \omega_k, \text{ т. е. } r_i e^{\pm i\varphi_i} = d_{ik} e^{\pm i\varphi_{ik}} + r_k e^{\pm i\varphi_k}. \quad (12)$$

Такая подстановка довольно легко позволяет записать составляющие поля с помощью желаемых координат [4]. После подстановки (12)

полученные выражения для составляющих необходимо разложить в ряд по степеням  $r_k e^{i\varphi_k}$ . Так, для составляющих  $E_z^{(0)}$ ,  $H_\varphi^{(0)}$ ,  $E_\varphi^{(0)}$  на поверхности выработки получим следующие выражения:

$$E_z^{(0)} = \sum_{l=1}^m B_{0l} \ln \frac{2}{\gamma_0 \sqrt{k_0^2 - \gamma^2 r_0}} + B_{00} + \sum_{v=1}^{\infty} \left\{ \left[ B_{v0} \frac{r_0^v}{a_0^v} + A_{v0} \frac{a_0^v}{r_0^v} \right] e^{i v \varphi_0} + \left[ B_{-v0} \frac{r_0^v}{a_0^v} + A_{-v0} \frac{a_0^v}{r_0^v} \right] e^{-i v \varphi_0} \right\},$$

и далее при  $r_0 = a_0$ .

$$H_\varphi^{(0)} = \frac{-k_0^2}{(k_0^2 - \gamma^2) j \omega \mu_0 a_0} \sum_{l=1}^m B_{0l} + \sum_{v=1}^{\infty} \frac{1}{j \omega \mu_0} \cdot \frac{v}{a_0} \left\{ B_{v0} - A_{v0} - \frac{k_0^2}{k_0^2 - \gamma^2} \cdot \frac{i \gamma}{j \omega \epsilon_0} \left[ C_{v0} + \frac{i \gamma}{j \omega \mu_0} (B_{v0} - A_{v0}) \right] \right\} e^{i v \varphi_0} + \sum_{v=1}^{\infty} \frac{1}{j \omega \mu_0} \times \frac{v}{a_0} \left\{ B_{-v0} - A_{-v0} - \frac{k_0^2}{k_0^2 - \gamma^2} \cdot \frac{i \gamma}{j \omega \epsilon_0} \left[ -C_{v0} + \frac{i \gamma}{j \omega \mu_0} (B_{-v0} - A_{-v0}) \right] \right\} e^{-i v \varphi_0};$$

$$E_\varphi^{(0)} = -\frac{k_0^2}{k_0^2 - \gamma^2} \cdot \frac{1}{j \omega \epsilon_0 a_0} \sum_{v=1}^{\infty} \left\{ \left[ C_{v0} + \frac{i \gamma}{j \omega \mu_0} (B_{v0} + A_{v0}) \right] e^{i v \varphi_0} + \left[ C_{-v0} - \frac{i \gamma}{j \omega \mu_0} (B_{-v0} + A_{-v0}) \right] e^{-i v \varphi_0} \right\},$$

где

$$A_{\pm v0} = \sum_{l=1}^m B_{0l} \frac{(-1)^v}{2^v} \left( \frac{d_{l0}}{a_0} \right)^v e^{\pm i v \varphi_0}. \quad (13)$$

Не останавливаясь на промежуточных преобразованиях, запишем окончательный вид уравнений, полученных с учетом граничных условий:

а) для проводников, изолированных от грунта ( $\kappa = 1, 2, \dots, q$ ):

$$I_k \left\{ \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left[ \ln \frac{a_0}{a_k} + S_1 + S_0 + \sum_{v=1}^{\infty} \frac{S_{v0} - 1}{S_{v0} + 1} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{d_{k0}^{2v}}{a_0^{2v}} \right] - \frac{\ln \frac{a_0}{a_k} \left( 1 - \frac{d_{k0}^2}{a_0^2} \right)}{2\pi \cdot j \omega \epsilon_0} \right\} + \sum_{l=1}^m I_l \left\{ \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left[ \ln \frac{a_0}{d_{lk}} + S_0 + \sum_{v=1}^{\infty} \frac{S_{v0} - 1}{S_{v0} + 1} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{1}{v} \cdot \frac{d_{l0}^v d_{k0}^v}{a_0^{2v}} \cos v (\psi_{l0} - \psi_{0k}) \right] - \gamma^2 \frac{1}{2\pi j \omega \epsilon_0} \ln \frac{a_0}{d_{lk}} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{1 + 2 \frac{d_{l0} d_{k0}}{a_0^2} \cos (\psi_{l0} - \psi_{0k}) + \frac{d_{l0}^2 d_{k0}^2}{a_0^4}} \right\} = 0; \quad (14a)$$

б) для проводников, лежащих на грунте ( $\kappa = q + 1 \dots m$ ):

$$I_k \left\{ \ln \frac{a_0}{a_k} + S_1 + S_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot \frac{d_{k0}^{2\nu}}{a_0^{2\nu}} \right\} +$$

$$+ \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^m I_i \left\{ \ln \frac{a_0}{d_{ik}} + S_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot \frac{d_{i0}^{\nu} d_{k0}^{\nu}}{a_0^{2\nu}} \cos \nu (\psi_{i0} - \psi_{0k}) \right\} = 0, \quad (14б)$$

где

$$S_k = \frac{\mu_k}{\mu_0} \cdot \frac{I_0(k_k a_k)}{k_k a_k I_1(k_k a_k)}, \quad S_0 = \frac{\mu_0}{\mu_0} \cdot \frac{K_0(k_0 a_0)}{k_0 a_0 K_1(k_0 a_0)}, \quad (14в)$$

$$S_{\nu 0} = - \frac{\mu_0 \nu K_{\nu}(k_0 a_0)}{\mu_0 k_0 a_0 K_{\nu}^{\prime}(k_0 a_0)},$$

$I_k; I_i$  — токи в проводниках, с помощью которых мы определили постоянные  $B_{0k}, B_{0i}$ , используя закон полного тока.

### Определение частных параметров КС шахты

Если рассмотреть систему телеграфных уравнений для  $m$ -проводной линии, то путем исключения напряжений и их производных можно получить уравнения вида:

$$I_k \left( Z_k - \gamma^2 \frac{a_k}{j \omega} \right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^m I_i \left( Z_{ik} - \gamma^2 \frac{a_{ik}}{j \omega} \right) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (15)$$

где  $Z_k, Z_{ik}$  — собственные и взаимные сопротивления проводников,  $a_k, a_{ik}$  — потенциальные коэффициенты.

Система (15) эквивалентна системе (14). Путем сравнения этих систем и подбора коэффициентов получаем конкретные формулы для частных параметров рассматриваемой линии:

$$Z_k = \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \frac{a_0}{a_k} + S_k + S_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot \frac{d_{k0}^{2\nu}}{a_0^{2\nu}} \right\},$$

$$Z_{ik} = \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \frac{a_0}{d_{ik}} + S_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1} \cdot \frac{1}{\nu} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{d_{i0}^{\nu} d_{k0}^{\nu}}{a_0^{2\nu}} \cos \nu (\psi_{i0} - \psi_{0k}) \right\}, \quad (16)$$

$$a_k = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{a_0}{a_k} \left( 1 - \frac{d_{k0}^2}{a_0^2} \right),$$

$$a_{ik} = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{a_0}{d_{ik}} \sqrt{1 + 2 \frac{d_{i0} d_{ik}}{a_0^2} \cos (\psi_{i0} - \psi_{0k}) + \frac{d_{i0}^2 d_{k0}^2}{a_0^4}},$$

При этом, если проводник лежит на грунте, следует принять:

$$a_k = 0, \quad a_{ik} = 0. \quad (17)$$

Формулы (16) не дают в точности равенств (17), так как эффект близости в настоящем решении учтен лишь в первом приближении.

### Частотная зависимость частных параметров КС шахты в диапазоне 10—150 кгц

Рассмотрим комплексное сопротивление некоторого  $k$ -го проводника  $Z_k$ .

Первые три члена  $Z_k$  (16) с учетом  $\frac{j \omega \mu_0}{2\pi}$  определяют сопротивление внешней индуктивности, комплексное сопротивление проводника и комплексное сопротивление грунта при соосном расположении проводника и выработки. Четвертый член учитывает увеличение комплексного сопротивления линии вследствие эффекта близости.

В табл. 1 сведены значения отдельных членов выражения  $Z_k$ . Расчет выполнен при следующих условиях: радиус выработки  $a_0 = 1,25$  м, радиус провода  $a_1 = 0,5$  см (медный проллей) или  $a_1 = 3,2$  см (стальной рельс)\*, проводимость грунта принята  $\sigma = 0,1$  1/ом. м.

Таблица 1

$f, \text{ кгц}$	$\ln \frac{a_0}{a_k}$	Медь		Сталь		Грунт			
		$k_k a_k$	$S_k$	$k_k a_k$	$S_k$	$k_0 a_0$	$S_0$	$S'_{\nu 0}$	$S''_{\nu 0}$
10	5,52	10,6	0,067 - j 0,067	284	0,250 - j 0,250	0,13	2,52 - j 0,767	0,004 - j 0,012	—
150	5,52	41,0	0,017 - j 0,017	1100	0,064 - j 0,064	0,50	1,08 - j 0,55	0,07 - j 0,11	0,04 - j 0,03

Примечание. Здесь  $S'_{\nu 0} = \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1}$ .

Первый член от частоты не зависит. В зависимости от  $a_0, a_k$  он может принимать значения в пределах 1—6.

Второй член  $S_k$  — комплексная величина. Ее действительная составляющая определяет индуктивность провода, мнимая — активные потери самого проводника. Так как аргументы функции Бесселя в рассматриваемом диапазоне частот  $|k_k a_k| > 10$ , то приближенно можно принять  $I_0(k_k a_k) \approx I_1(k_k a_k)$ , откуда

$$S_k \approx \frac{\mu_k}{\mu_0} \cdot \frac{1}{(k_k a_k) \sqrt{2}} \cdot (1 - j). \quad (18)$$

Третий член определяет комплексное сопротивление грунта. Так как  $|k_0 a_0|$  для рассматриваемых значений не превышает 0,5, для расчета  $S_0$  можно дать следующую приближенную формулу:

$$S_0 = (1 + |k_0 a_0|^2) \ln \frac{2}{\gamma_0 |k_0 a_0|} - j \frac{\pi}{4} (1 - 0,6 |k_0 a_0|) \quad (19)$$

$$|k_0 a_0| < 0,5.$$

Влияние эффекта близости на комплексное сопротивление  $Z_k, Z_{ik}$  представлено бесконечными суммами. Оценим, каково значение этой суммы при малых аргументах ( $k_0 a_0$ ). С помощью рекуррентных формул, присущих функциям Бесселя [5], представим функции  $S_{\nu 0}$  в виде отношения:

$$S'_{\nu 0} = \frac{S_{\nu 0} - 1}{S_{\nu 0} + 1} = \frac{K_{\nu-1}(k_0 a_0)}{K_{\nu+1}(k_0 a_0)}. \quad (20)$$

\* Эквивалент найден по периметру рельса 0,2 м.

При малых  $(k_0 a_0)$  значения этих отношений примерно следующие:

$$\frac{K_0(k_0 a_0)}{K_2(k_0 a_0)} \approx \frac{(k_0 a_0)^2}{2} \ln \frac{2}{\gamma_0 k_0 a_0}, \quad \frac{K_{\nu-1}(k_0 a_0)}{K_{\nu+1}(k_0 a_0)} \approx \frac{1}{\nu(\nu-1)} \cdot \frac{(k_0 a_0)^2}{4}$$

Сравнивая члены суммы при наиболее опасном случае, когда  $\frac{d_{k_0}}{a_0} = 1$ , видим, что их величина быстро убывает. Следовательно, при расчете эффекта близости в рассматриваемом диапазоне частот достаточно учитывать лишь первый член, а в оценочных расчетах с эффектом близости можно не считаться.

Выражения (16), определяющие потенциальные коэффициенты, достаточно правильны при  $\frac{a_0 - d_{01}}{a_1} > 5-10$ .

Если  $\frac{a_0 - d_{01}}{a_1}$  составляет меньшую величину, необходимо пользоваться точными формулами [6].

Новосибирский электротехнический институт связи  
Институт горного дела  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию

28/II 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ильин, Приближенный анализ контактной сети шахты как линии высокочастотной связи. Тр. Ин-та горного дела СО АН СССР, Углетехиздат, М., 1958.
2. Г. Н. Зражевский, Параметры направляющего провода в индуктивной системе поездной связи в метрополитене. Сб. научных трудов, ЛИИЖТ, вып. 151, 1956.
3. Применение электромагнитной энергии высокой частоты в горной промышленности. Отчет, ЗСФАН СССР, Новосибирск, 1956.
4. К. К. Абрамов, Параметры влияния между цепями в кабеле с биметаллическими проводниками. Дисс., МЭИС, 1955.
5. И. М. Рыжик, И. С. Градштейн, Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений, изд. 3-е, ГИТТЛ, М.—Л., 1951.
6. П. Л. Калантаров, Л. Р. Нейман, Теоретические основы электротехники. Госэнергоиздат, М., 1951.

А. Л. Виноградов

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД ШАХТНОЙ СКИПОВОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ, УПРАВЛЯЕМЫЙ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОСТНОГО РЕОСТАТА

Автоматизация шахтных скиповых подъемных установок позволяет не только повысить производительность, надежность и безопасность работы подъема, но и увеличить срок службы механической части всей установки.

Наибольший практический интерес представляет автоматика подъемных установок с асинхронным приводом, получившим широкое распространение на угольных шахтах Кузнецкого бассейна.

Значительным недостатком в схемах автоматики подъема как при ручном, так и при автоматическом управлении является контакторный пуск асинхронного двигателя. Процесс пуска двигателя сопровождается при этом пиковыми нагрузками, достигающими 230% от номинального значения, что неблагоприятно отражается на механической части машин и не позволяет использовать двигатель с меньшей перегрузочной способностью, т. е. с лучшими энергетическими показателями.

В разработанной нами схеме автоматики подъема для управления асинхронным подъемным двигателем применен жидкостный реостат, позволяющий осуществить плавный разгон системы. Недостаток жидкостного реостата — зависимость сопротивления электролита от его температуры и плотности — в этой схеме сведен до минимума.

Особенностью шахтных скиповых подъемных установок Кузбасса является их большая пружинность и, сравнительно с малой высотой подъема, большая скорость движения сосудов. Это дает возможность почти на всех таких установках бассейна эффективно использовать режим свободного выбега. Поэтому, при разработке схемы автоматизации скиповых подъемных установок для шахт Кузбасса ставилась задача использовать в период замедления свободный выбег, обеспечивающий при высоте подъема примерно 100 ÷ 260 м и колебаниях нагрузки ± 20% от расчетной замедление в пределах от 0,65 до 1,0 м/сек<sup>2</sup>. В схеме предусмотрена подача импульса на ввод системы в режим свободного выбега в момент достижения сосудом определенной точки в стволе. Однако после подачи импульса свободный выбег должен начаться не сразу, а по истечении определенного времени, величина которого будет зависеть от степени загрузки скипа. В конце свободного выбега пруженный сосуд должен подходить к разгрузочным кривым со скоростью  $v_0$ , и дальнейшее его дотягивание в разгрузочных кривых должно производиться в двигательном режиме со скоростью 0,4 ÷ 0,6 м/сек. В конце механическим тормозом подъема производится стопорение машины.

Таким образом, весь цикл подъема при автоматическом управлении состоит из следующих элементов: 1) разгона до максимальной скорости; 2) равномерного движения; 3) свободного выбега; 4) дотягивания; 5) стопорения машины.

На рис. 1 представлена принципиальная схема автоматизированного асинхронного двигателя скиповой подъемной установки, управляемого с помощью жидкостного реостата.

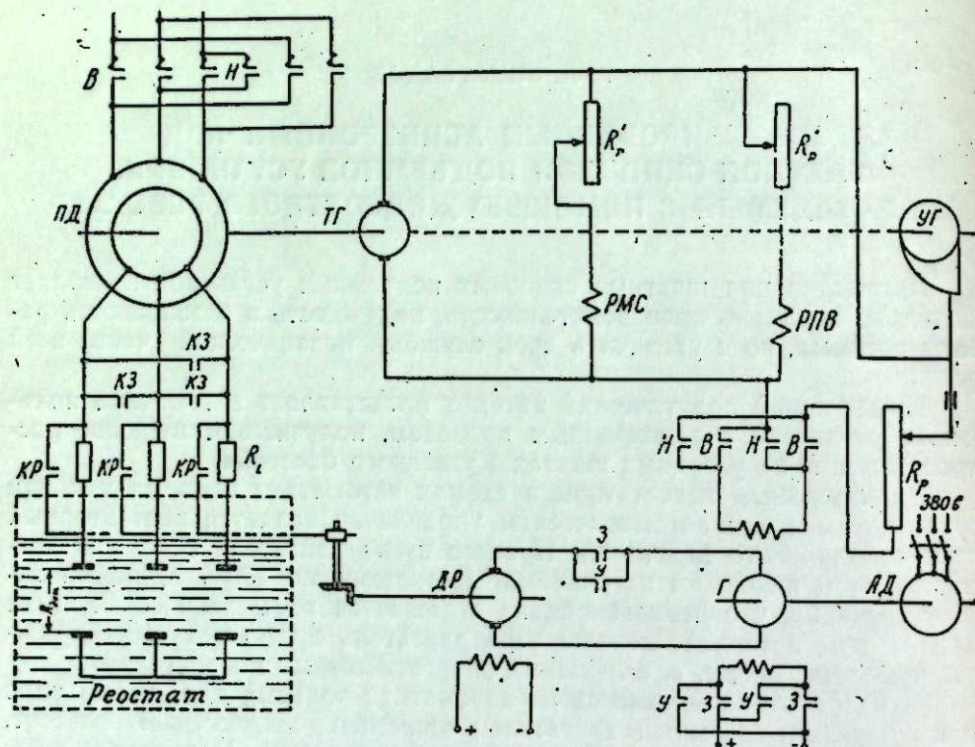


Рис. 1. Схема силовой цепи автоматизированного скипового подъема.

Электроды жидкостного реостата приводятся в движение через две пары конических шестерен и винты с гайками двигателем постоянного тока с независимым возбуждением. Питание двигатель получает от генератора, имеющего две обмотки возбуждения. Одна обмотка возбуждения (первая) питается от постоянного источника тока, а вторая — от тахогенератора, в цепь которого с помощью движка, связанного с указателем глубины, вводится сопротивление. Магнитный поток второй обмотки возбуждения при разгоне подъемного двигателя направлен навстречу магнитному потоку генератора, создаваемому первой обмоткой возбуждения. Э.д.с. тахогенератора пропорциональна действительной скорости, величина сопротивления регулировочного реостата — заданной скорости. Э.д.с. тахогенератора воздействует через генератор на двигатель, перемещающий электроды жидкостного реостата, причем сила этого воздействия определяется величиной отношения э.д.с. к сопротивлению регулировочного реостата. Число оборотов двигателя жидкостного реостата, а, следовательно, и скорость опускания электродов будут зависеть от величины э.д.с. генератора.

Таким образом, в рассматриваемой схеме автоматического подъема в период разгона влияние возмущающих воздействий на величину скорости подъема компенсируется регулированием по отклонению скорости от ее заданного значения.

Расстояние электродов реостата до его звезды в момент начала движения подъемных сосудов будет зависеть главным образом от температуры электролита и величины поднимаемого груза. Так, при подъеме

недогруженного скипа и повышенной температуре электролита это расстояние будет больше, чем при подъеме перегруженного скипа и пониженной температуре электролита.

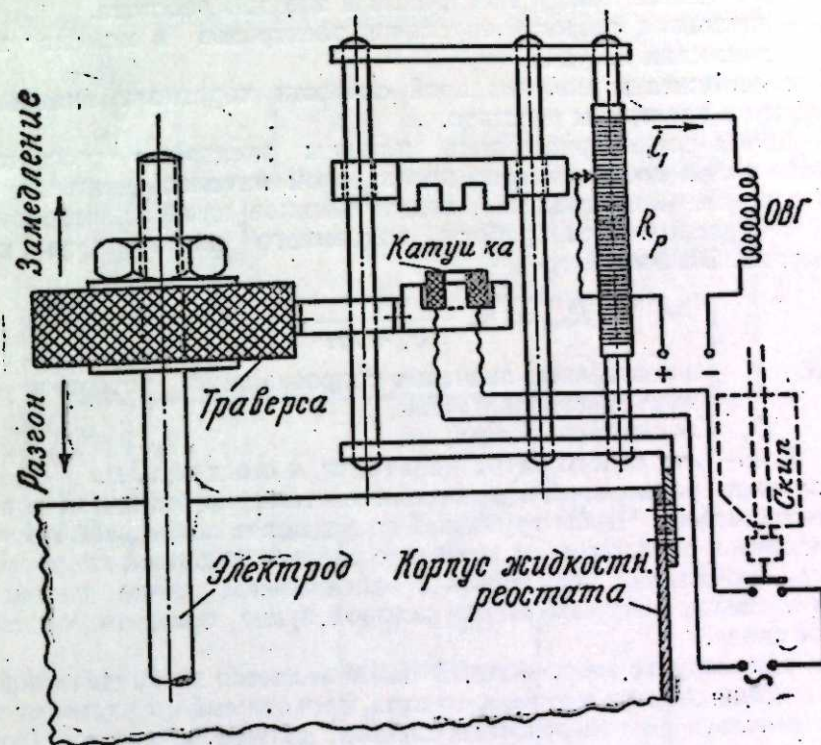


Рис. 2. Схема приспособления для автоматического подбора силы тока в первой обмотке возбуждения генератора.

Чтобы время разгона подъемной машины независимо от колебаний удельного сопротивления электролита и поднимаемого груза было постоянным, необходимо автоматически устанавливать «начальную» скорость опускания электродов. Установка «начальной» скорости осуществляется с помощью специального корректирующего устройства (рис. 2). Воздействуя на величину регулировочного сопротивления, включенного последовательно с обмоткой возбуждения генератора, такое устройство устанавливает нужную «начальную» скорость опускания электродов в момент начала движения подъемных сосудов.

Конструктивно корректирующее устройство представляет собой разъемный магнитный сердечник, на нижней части которого помещена катушка. Верхняя часть сердечника связана с движком регулировочного сопротивления, нижняя — с траверсой подъемного двигателя траверса реостата. В момент подачи импульса на пуск подъемного двигателя траверса реостата начнет опускаться, при этом в цепь катушки будет подано напряжение, верхняя и нижняя части сердечника начнут вместе опускаться, вводя сопротивление в цепь обмотки возбуждения. В момент начала движения сосудов разрывается цепь катушки и верхняя часть сердечника останавливается. Дальнейшее регулирование скорости опускания электродов осуществляется за счет обратной связи по скорости вращения подъемного двигателя. Величина регулировочного сопротивления должна изменяться в функции расстояния электродов от звезды так, чтобы обеспечивалось условие

$$t_1 = \frac{h}{v_{II}}$$

где  $t_1$  — заданное время разгона подъемного двигателя,  
 $h$  — расстояние между электродом и звездой реостата,  
 $v_{II}$  — начальная скорость опускания электродов в момент начала движения сосудов.

При достижении максимальной скорости короткозамыкателем КЗ шунтируются электроды реостата.

Во время равномерного хода машины электроды реостата поднимаются вверх до положения, при котором началось движение подъемных сосудов. Сопротивление, подготовленное при равномерном движении, необходимо для работы подъемного двигателя в период дотягивания. Величина его

$$R_{\text{дот}} = R_{II} \frac{F_{II}}{KQ_{II} + PH}$$

где  $R_{II}$ ,  $F_{II}$  — номинальные значения сопротивления ротора и усилия подъемного двигателя,

$Q_{II}$  — поднимаемый груз, кг,

$P$ ,  $H$  — вес одного метра каната, кг, и его длина, м.

По окончании равномерного движения система переводится в режим свободного выбега. Чтобы пружинный сосуд мог в конце свободного выбега подойти к разгрузочным кривым с заранее заданной скоростью  $v_0$ , двигатель необходимо отключать в определенной точке нахождения сосудов в стволе, местоположение которой будет зависеть от степени загрузки скипа.

Так как импульс на свободный выбег подается в определенной точке нахождения сосудов в стволе, то путь, проходимый сосудами от точки подачи импульса до разгрузочных кривых, должен оставаться (независимо от степени загрузки сосуда) постоянным (рис. 3). Из этого усло-

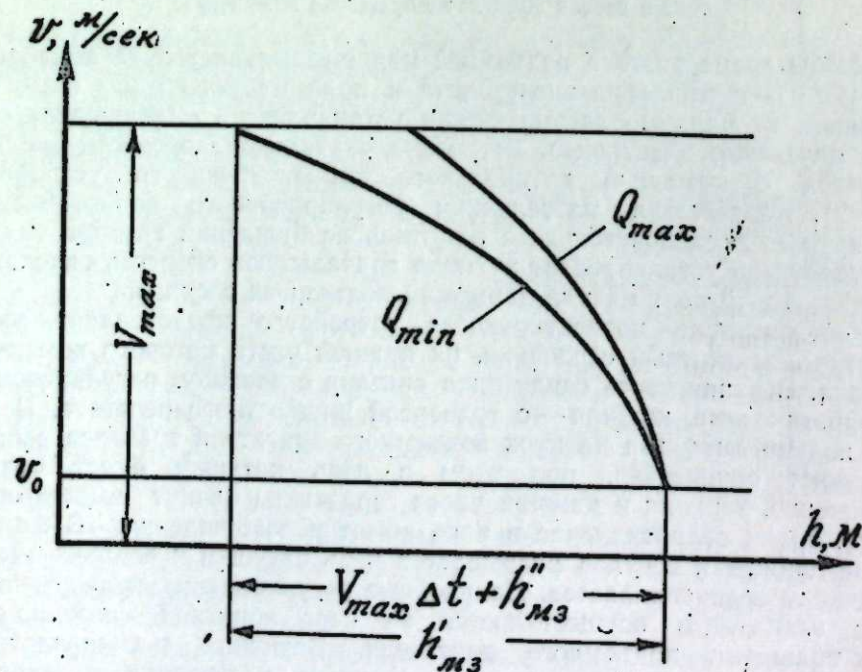


Рис. 3. К определению времени запаздывания.

вия определяются время запаздывания ввода системы и режим свободного выбега в зависимости от степени загрузки скипа.

После подачи импульса на отключение подъемного двигателя начало свободного выбега определяется уставкой электронного реле времени. На рис. 4 представлена электрическая схема электронного реле

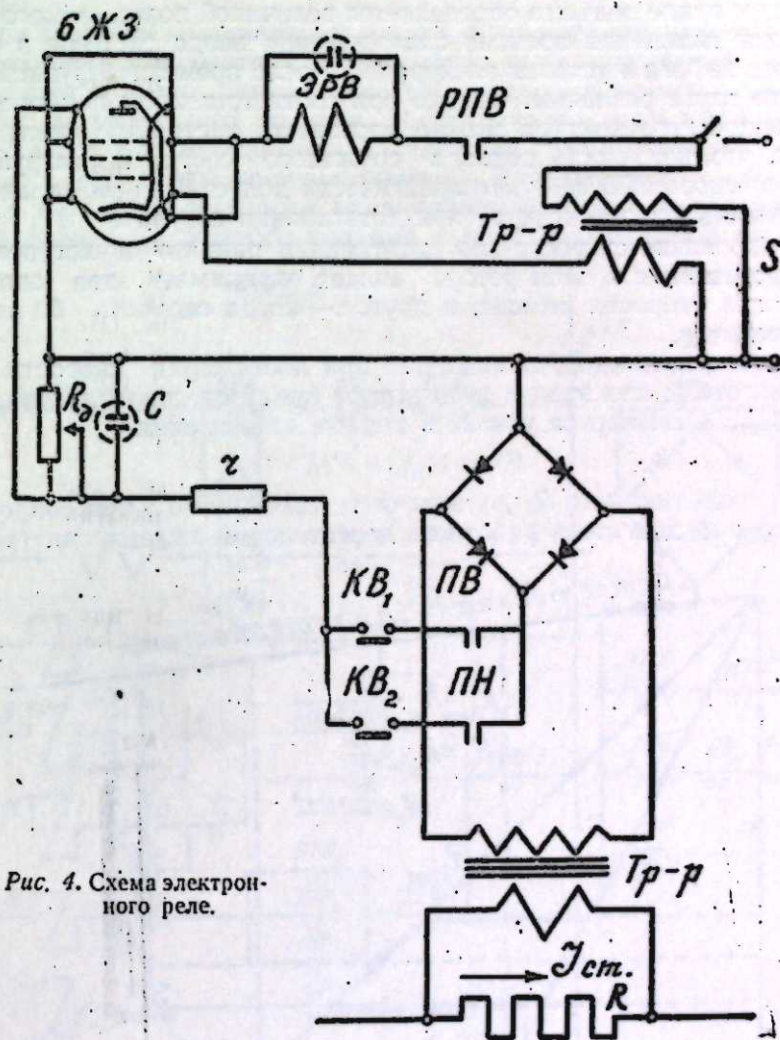


Рис. 4. Схема электронного реле.

времени, в цепи которого имеется емкостный контур. На сетку лампы и на емкостный контур подается отрицательный потенциал от твердого выпрямителя, включенного на вторичную обмотку трансформатора напряжения. Первичная обмотка трансформатора включена параллельно активному сопротивлению  $R$ , находящемуся в цепи в одной из фаз статора подъемного двигателя. Падение напряжения на зажимах этого сопротивления в период равномерного движения (колебание напряжения в сети исключается) будет изменяться по закону, близкому закону прямой в функции нагрузки, т. е.:

$$\Delta U \approx KQ_{II} + \Delta U_{II}$$

где  $\Delta U_{II}$  — напряжение на сетке электронной лампы при перегоне по ложных скипов.

При размыкании концевого выключателя КВ конденсатор разря-

жается на сопротивление  $R_0$ , при этом потенциал на сетке электронной лампы снижается. При каком-то критическом значении  $\Delta U_{кр}$  откроется лампа и сработает реле ЭРВ, в результате чего отключится от сети подъемный двигатель и начнется свободный выбег.

Таким образом, величина уставки электронного реле времени при каждом цикле подъема определяется величиной поднимаемого груза.

Законы изменения времени запаздывания ввода системы в режим свободного выбега и уставки электронного реле времени, в функции поднимаемого груза различны. Однако при соответственном подборе параметров емкостного контура можно произвести настройку электронного реле так, что неточность подхода груженого сосуда к разгрузочным кривым со скоростью  $v_0$  будет практически допустима. (В дальнейшем эта неточность компенсируется при дотягивании сосуда).

Регулирование скорости при дотягивании принято двухступенчатое, т. е. сопротивление в цепи ротора может принимать два значения: одно, — когда скорость меньше, и другое, — когда скорость больше заданных величин.

В конце маховичного замедления при достижении скорости включается двигатель, при этом в цепь ротора вводится сопротивление  $R_0 = R_1 + R_{дот}$ . Статическое усилие в период дотягивания

$$F_{ст} = KQ_n - PH.$$

Величина сопротивления  $R_1$  должна быть такой, чтобы при сопротивлении в роторе  $R_0$  двигатель работал в двигательном замедлении (рис. 5).

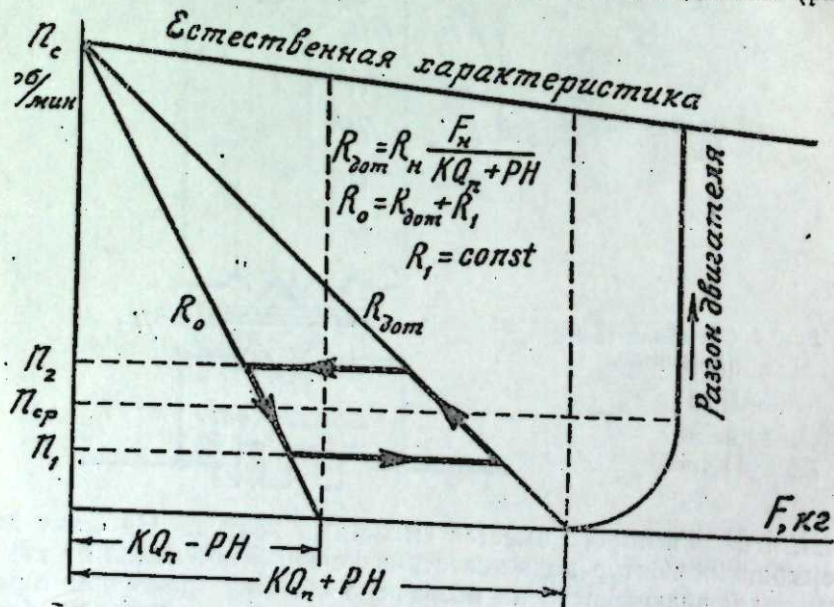


Рис. 5. К определению допустимой величины недогрузки скипа.

При достижении минимальной скорости дотягивания включением контактора КР (см. рис. 1) выбрасывается сопротивление  $R_1$  и двигатель переходит в режим разгона. При достижении максимальной скорости дотягивания контактор КР размыкается и вновь в ротор вводится сопротивление  $R_0$ . Двигатель переходит в двигательное замедление.

Управление контактором КР осуществляется реле РПВ, подключенным к зажимам тахогенератора. Таким образом, в период дотягивания применена релейная схема регулирования числа оборотов асинхронного подъемного двигателя.

Характерно, что при регулировании скорости дотягивания величины сопротивлений  $R_0$  и  $R_{дот}$ , благодаря применению жидкостного реостата, в зависимости от степени загрузки скипа подбираются автоматически.

При подходе подъемных сосудов к крайнему положению срабатывает концевой выключатель, в результате чего подъемный двигатель переводится в двигательное замедление и подается импульс на срабатывание механического тормоза. Накладывание тормозного момента производится при неотключенном двигателе. Только после остановки машины с выдержкой времени двигатель отключается от сети.

На рис. 6 представлена принципиальная схема управления автоматизированного скипового подъема шахты Абашевская-2 треста Куй-

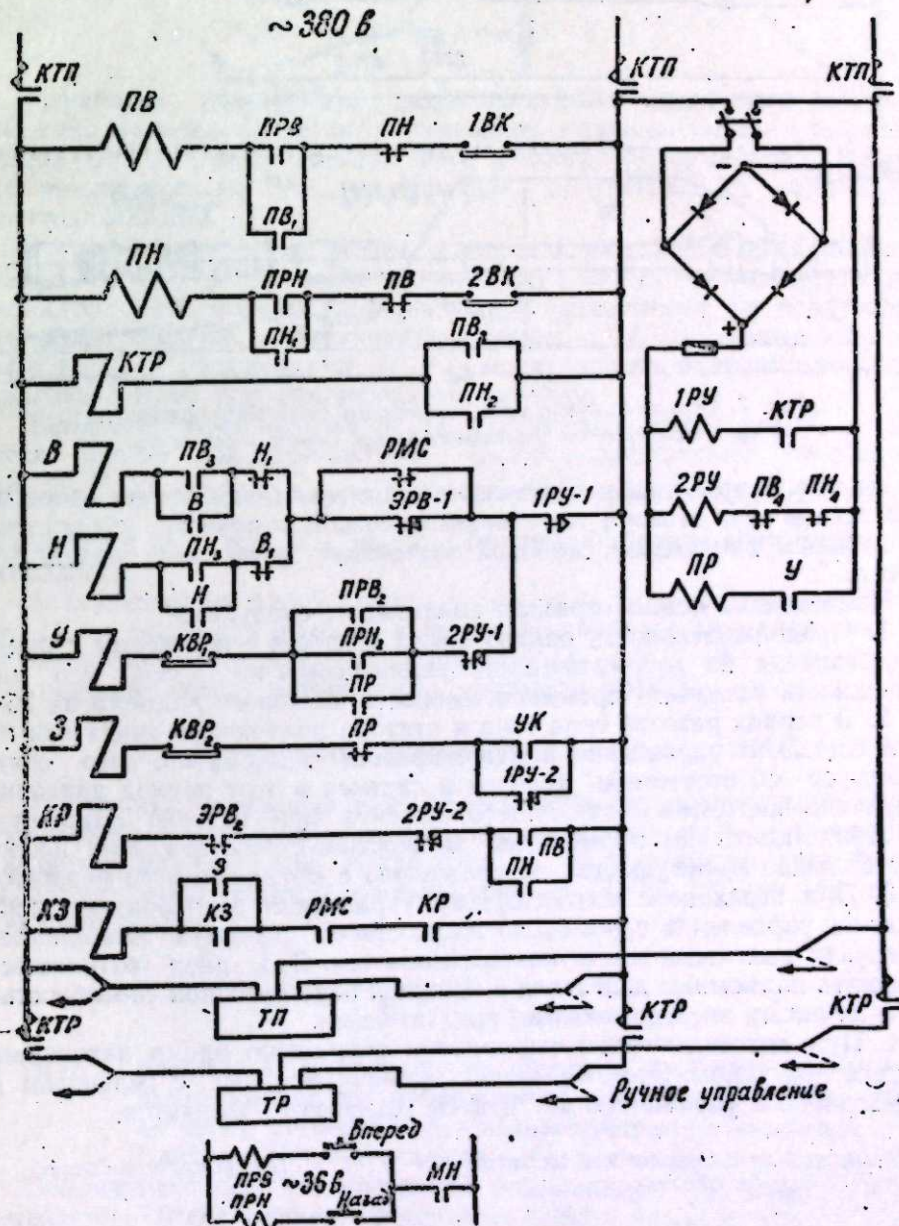


Рис. 6. Схема управления автоматизированного скипового подъема.



бышевуголь комбината Кузбассуголь (без цепи защиты). Пуск подъемного двигателя осуществляется нажатием кнопок «вперед» или «назад», установленных в здании подъемной машины. Пуск может быть произведен и без участия машиниста. В этом случае импульс на включение двигателя подается специальными датчиками, замыкание контактов которых происходит под действием верхнего уровня угля загружающихся скипов.

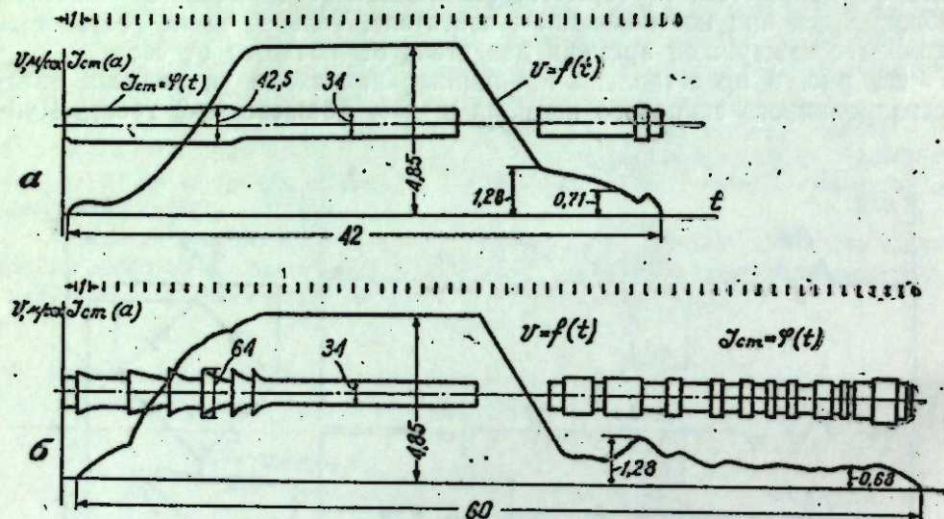


Рис. 7. Осциллограммы тока и скорости скипового подъема: а) при автоматическом управлении; б) при ручном управлении.

На рис. 7 приведены осциллограммы скорости движения сосудов и силы тока в цепи статора при автоматическом и ручном управлениях асинхронным двигателем скиповой подъемной установки шахты Абашевская-2.

Приведенные осциллограммы показывают следующее:

1. Продолжительность одного цикла подъема с переводом с ручного управления на автоматическое уменьшилась на 18 сек., что дает возможность увеличить производительность скипового подъема на 25%.
2. В период разгона сила тока в статоре подъемного двигателя при автоматическом управлении поддерживается постоянной, что свидетельствует об отсутствии толчков в системе в этот период движения. Получение постоянного движущего момента при разгоне подъемного двигателя благодаря применению жидкостного реостата дает последнему большие преимущества по сравнению с металлическим реостатом.
3. При переходе с контакторного управления асинхронным двигателем на управление с помощью жидкостного реостата коэффициент перегрузки двигателя значительно снижается. Это дает возможность применять подъемные двигатели с меньшей перегрузочной способностью, т. е. с лучшими энергетическими показателями.
4. При автоматическом управлении сокращено время нахождения реостата под током. Это позволяет утверждать, что с переводом на автоматическое управление к.п.д. всей установки увеличится.

Сибирский металлургический институт  
(г. Сталинск)

Поступила в редакцию  
2/III 1959

Е. Ф. ДОИЛЬНИЦЫН

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АНАЛИЗАТОРА РАДИОЧАСТОТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

### Введение

Разработка конструкций радиочастотных масс-спектрометров РМС типа Беннетта [1—8] ограничивалась в лучшем случае настройкой прибора для получения спектра масс и иногда [9] сравнением спектра масс, полученного на РМС, со спектром, полученным на статическом масс-спектрометре.

Начали создаваться и теперь успешно используются промышленные образцы РМС [10]. Но недостаточная изученность аналитических возможностей РМС работы анализатора в зависимости от произвольно изменяемых величин — тормозного потенциала ( $U_{top}$ ), потенциала смещения ( $U_{cm}$ ) и тока эмиссии ( $I_{эм}$ ) — могут создать неправильное представление о РМС как аналитическом приборе.

Например, предполагалось [7, 11], что при изменении  $U_{то}$  изменяется только ток коллектора —  $I_{кол}$  и разрешающая способность РМС —  $\frac{M}{\Delta M}$ . Величина тока коллектора рассматривалась в зависимости от изменения  $U_{top}$ , или  $U_{cm}$ , или  $I_{эм}$ . Взаимное влияние этих величин не учитывалось.

Цель настоящей работы выяснить влияние  $U_{top}$ ,  $U_{cm}$  и  $I_{эм}$  на величину  $I_{кол}$  и настройку прибора в целом. Ионный ток измерялся на 5- и 4-ступенчатых РМС с числом циклов 5—9—4—7 и 11—8—5 по стрелочному прибору электрометрического усилителя ЭМУ-3.

### Влияние тормозного потенциала на настройку РМС

При оценке разрешающей способности радиочастотного масс-спектрометра в зависимости от тормозного потенциала за изменяющиеся величины брались ток коллектора и разрешающая способность. Последняя, таким образом, рассматривалась [7, 11; 12] как величина, пропорциональная

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{U_{top}}{2nU_f}}}$$

где  $2n U_f$  — максимальное приращение энергии, получаемое синхронными ионами при прохождении анализатора. Оно зависит от числа ступеней —  $n$ , заложенных в анализаторе, и амплитуды в. ч. потенциала —  $U_f$ .

Подразумевалось, что настройка анализатора при изменении  $U_{top}$  не меняется. Чтобы удобнее представить работу анализатора РМС в зависимости от  $U_{top}$ , рассмотрим частную задачу, количественного изо-

топического анализа аргона. Для разделения изотопов аргона  $Ag^{40}$  и  $Ag^{36}$  достаточно разрешение МС порядка 25. Имея РМС с разрешением  $\approx 50$ , естественно, выгоднее получить большие ионные токи, заглубив прибор до величины, необходимой при измерении изотопов аргона.

Быстрое варьирование разрешающей способностью  $\frac{M}{\Delta M} = f(U_{\text{тор}})$  делает РМС более универсальным по сравнению со статическим МС при измерениях «легких» и «тяжелых» масс различных количеств газа. Первоначально, когда измерения  $Ag^{36}$  и  $Ag^{40}$  проводились при постоянных  $U_p$  и  $U_{\text{см}}$  и изменяющемся  $U_{\text{тор}}$ , отношение  $Ag^{36}/Ag^{40}$  оказывалось непостоянным и менялось в недопустимых пределах — от 1/190 до 1/450 при действительном отношении 1/295. Отсюда следует, что причина дискриминации «малого» и «большого» пиков при различных  $U_{\text{тор}}$  кроется в селективной настройке спектра масс в зависимости от изменения  $U_{\text{тор}}$ .

Для проверки этого положения были сняты характеристики РМС. На рис. 1 показан характер изменения настройки РМС в зависимости от  $U_{\text{тор}}$ . Точки графика получены следующим образом. Согласно формуле настройки РМС

$$M = \frac{aU_p}{s^2 f^2},$$

где  $a$  — коэффициент, зависящий от формы в. ч. потенциала,  
 $U_p$  — разгоняющее напряжение в в,  
 $s$  — расстояние между сетками в см,  
 $f$  — амплитуда в. ч. потенциала в в,

получаем значение разгоняющего напряжения  $U_p$  для  $M = 40$  м. е. — оно равно 185 в. Но известно, что формула дает не совсем точное местонахождение массового пика по шкале масс. Оно зависит, в частности, от качества сборки анализатора. Поэтому при исследовании взят диапазон разгоняющих напряжений несколько шире, т. е. от 180 до 192 в. Настройка РМС осуществлялась на каждое выбранное  $U_p$  потенциалом смещения.

При установке  $U_p = 180$  в (см. рис. 1, линия V) и  $U_{\text{тор}} = 50$  в РМС, путем подбора  $U_{\text{см}}$ , настраивали на максимум. Затем, изменяя  $U_{\text{тор}}$  до 64 в, получили ряд максимумов уже при других  $U_{\text{см}}$ . Ряд параллельных измерений при данном  $U_p$  получен путем изменения  $R_g$ ,  $P$ ,  $I_{\text{эм}}$ . Амплитуда в. ч. потенциала везде сохранялась равной 9,3 в.

Таким образом, мы получили пять наклонных линий, показывающих, как меняется настройка РМС при различных  $U_p$  в зависимости от изменения  $U_{\text{тор}}$ . Наибольшие высоты пиков получались при напряжении  $U_p = 186$  в (линия III). Остальные максимумы показывают, что при измерениях определенных масс при неправильно выбранном  $U_p$  мы можем настроить анализатор  $U_{\text{см}}$  или, наоборот, получить ложные максимумы, заведомо меньшие действительного. Поэтому, если при  $U_p$ , отвечающем формуле настройки  $M = \frac{aU_p}{s^2 f^2}$ , равном в нашем случае

186 в ( $M = 40$  м. е.), изменять произвольно  $U_{\text{тор}}$  с целью «вытягивания» или «зажимания» массовых пиков (что вполне возможно при работе с отношением масс  $M_1/M_2 \leq 300$ ), то изменится настройка РМС. Пики сместятся по шкале масс, исказив их истинную величину, и мы не получим действительного отношения  $M_1/M_2$ . В приведенном примере (рис. 1, линия III,  $U_p = 186$  в), изменяя  $U_{\text{тор}}$  от 50 до 64 в, мы должны изменить  $U_{\text{см}}$  примерно от 62 до 74 в соответственно, чтобы получить истинную картину величин пиков различных масс или их отношений.

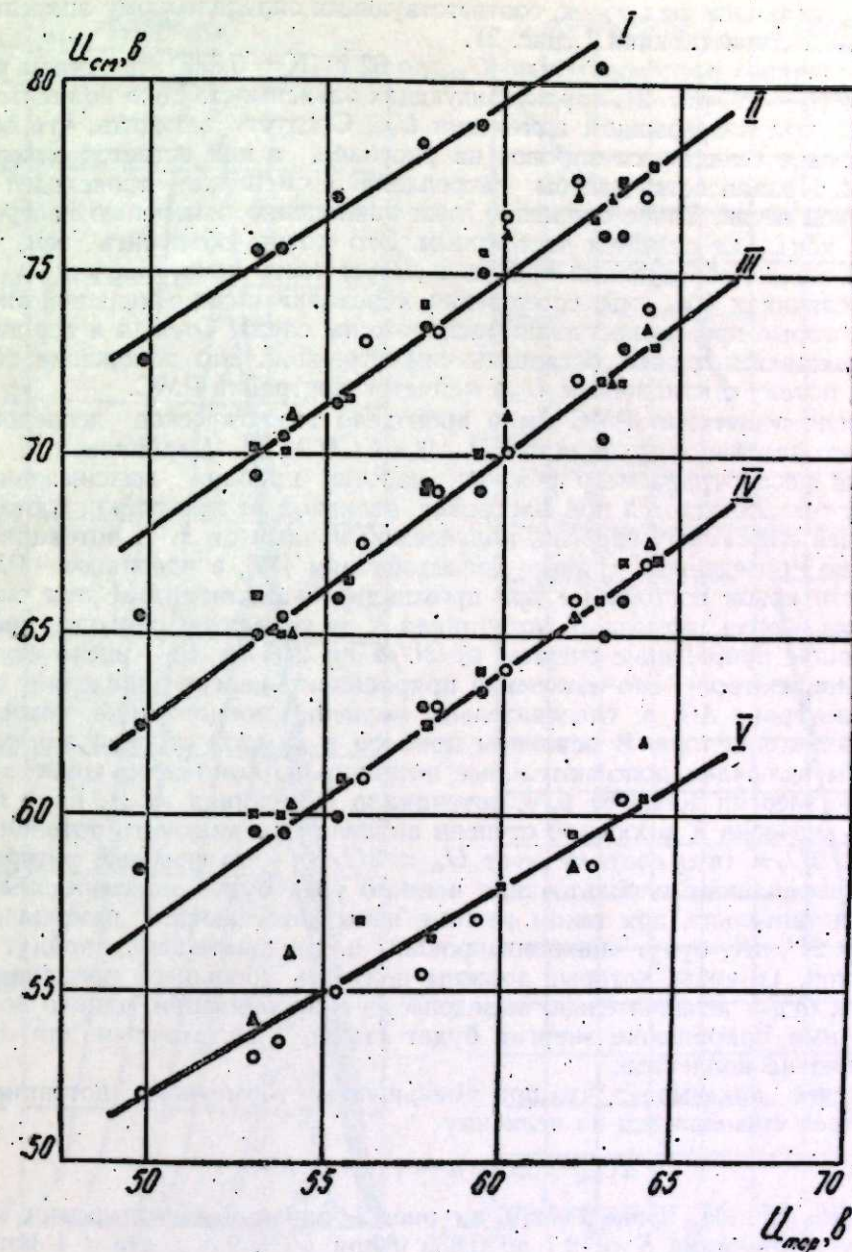


Рис. 1. Взаимное влияние  $U_{\text{тор}}$  и  $U_{\text{см}}$  при различных  $U_p$ :  
 I — 192 в; II — 189 в; III — 186 в ( $U_{\text{кол}} = \text{max}$ ); IV — 183 в; V — 180 в. Точки получены при различных  $R_g$  коллектора,  $I_{\text{эм}}$  и  $P$ .

Чтобы выяснить причину необходимости изменения  $U_{\text{см}}$  при изменении  $U_{\text{тор}}$ , был снят ряд кривых (рис. 2), показывающих смещение вершин пиков в зависимости от тормозного потенциала.

Кривые получены следующим образом. Давление в ионном источнике, выбранное произвольно, равнялось  $8,6 \cdot 10^{-6}$  мм Hg и регулируемой напуска аргона поддерживалось постоянным. Разгоняющее напряжение выбрано из графика рис. 1 (линия III) и равнялось 186 в.  $U_f = 9,3$  в. Устанавливая  $U_{\text{тор}} = 52$  в,  $K = \frac{U_{\text{тор}}}{2nU_f} = 0,7$ , путем измене-

ния  $U_{см}$  получаем ряд точек, соответствующих определенному значению тока коллектора (кривая I, рис. 2).

Увеличивая последовательно  $U_{тор}$  до 62 в ( $K = 0,835$ ), получаем ряд кривых (I — VI, рис. 2), характеризующих зависимость тока коллектора от  $U_{тор}$  при непрерывном изменении  $U_{см}$ . Следует заметить, что вершины пиков смещаются вправо (на рисунке), а пик остается симметричным. Правая ветвь как бы закреплена, а смещение происходит за счет левой ветви. Такое смещение пика равноценно изменению настройки, так как  $U_{см}$  не остается постоянным. Это можно объяснить тем, что энергия ионов, образующих правую и левую части пика, различна.

Увеличивая  $U_{тор}$ , мы, естественно, «срезали» ионы с меньшей энергией, которые преимущественно расположены слева. Отсюда и вершина пика смещается вправо, оставаясь симметричной. Это положение объясняет, почему с изменением  $U_{тор}$  меняется настройка РМС.

После испытания РМС было проведено теоретическое исследование этого явления сотрудником СО АН СССР М. Я. Щербаковой.

Для рассматриваемого режима работы прибора максимальный ионный ток достигается при настройке, отличной от настройки, соответствующей максимуму энергии, получаемой ионами от в. ч. потенциала. Согласно проведенным ранее исследованиям [11], в идеальном РМС (скорости ионов постоянные при прохождении анализатора) при определенном уровне тормозного потенциала  $K$  на коллектор проходят ионы, получившие приращение энергии от  $2U_f n$  до  $2U_f n K$  ( $n$  — число ступеней в анализаторе). Это изменение приращения энергии определяет фазовый интервал  $\Delta\theta$ , а следовательно, величину ионного тока, который достигает коллектора. В реальном приборе в каждой ступени анализатора мы включаем дополнительные потенциалы, компенсирующие приращение энергии ионов от в. ч. потенциала (потенциал  $U_{см}$ ). Если при данном значении  $K$  в каждой ступени анализатора включить потенциал, равный  $2U_f K$  (что соответствует  $U_{см} = 2U_f K n$ ), то фазовый интервал  $\Delta\theta$  и коэффициент использования ионного тока будут максимальными.

Действительно, при таком режиме ионы, получающие приращение энергии  $2U_f n K$ , будут синхронизированы и, следовательно, пройдут на коллектор. Те ионы, которые должны получить большее приращение энергии, будут незначительно выведены из синхронизации, однако полученное ими приращение энергии будет также достаточным для прохождения на коллектор.

Расчет показывает, что при уменьшении тормозного потенциала  $U_{см}$  будет уменьшаться на величину

$$\Delta U_{см} = 2U_f(n-1)(1-K).$$

Согласно данным, приведенным на рис. 2, при изменении уровня тормозного потенциала  $K$  от 0,7 до 0,835 и при  $U_f = 9,3$  в, а  $n = 4$  потенциал  $U_{см}$  изменился на 8 в (от 64 до 72). Теоретическое значение изменения  $U_{см}$  будет следующим:

$$\Delta U_{см} = 2 \cdot 9,3 \cdot 3 [(1-0,7) - (1-0,835)] \approx 7в,$$

что достаточно хорошо согласуется с экспериментальной величиной.

Чтобы понять, при каком изменении  $U_{тор}$  можно уверенно работать, не прибегая каждый раз к подстройке  $U_{см}$ , начертим дополнительный график зависимости  $I_{кол} = f(U_{тор})$ .

На рис. 3 по оси ординат отложены проценты изменения  $I_{кол}$  в зависимости от  $U_{тор}$ . Из анализа графика видно, что изменение тока коллектора от почти полного запаривания —  $K = 0,89$  до  $K = 0,81$  — идет линейно. Сравнивая эти данные с данными рис. 2, видим, что кривые

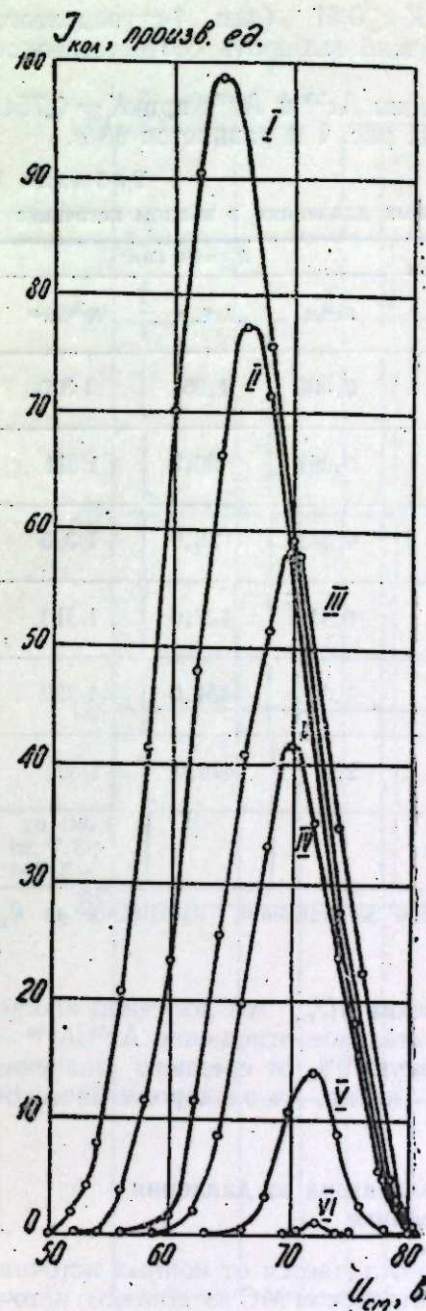


Рис. 2. Влияние  $U_{тор}$  на местоположение пика по шкале масс:  
 $M = 40$  м. с.,  $U_p = 186$  в,  $U_f = 9,3$  в,  $I_{эм} = 3$  мА,  $P = 8,6 \cdot 10^{-6}$  мм Нг, значения  $U_{тор}$ : I — 52 в, II — 54 в, III — 56 в, IV — 58 в, V — 60 в, VI — 62 в.

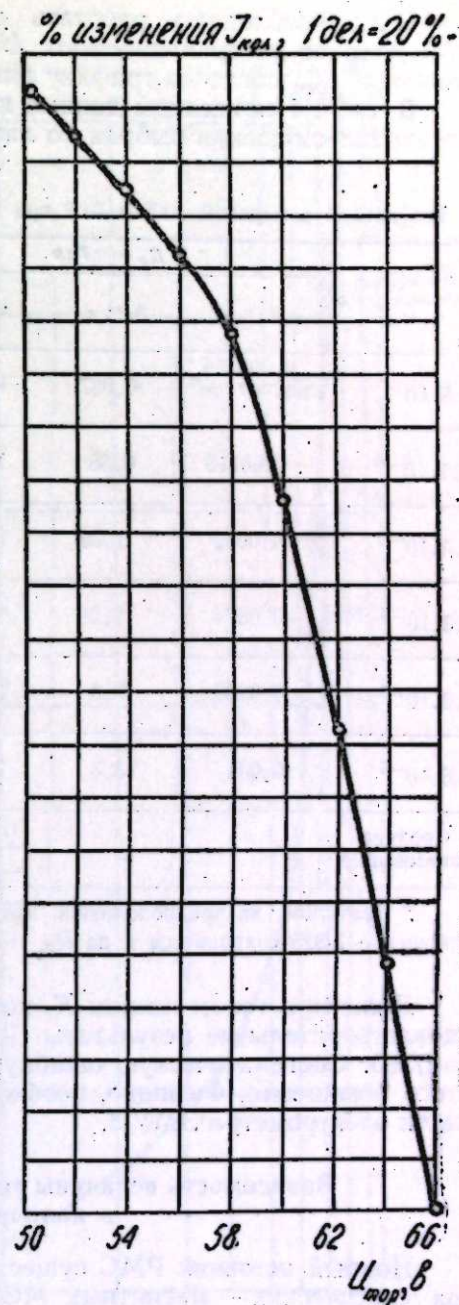


Рис. 3. График зависимости  $I_{кол}$  от уровня  $U_{тор}$ :  
 $P = 7,6 \cdot 10^{-6}$  мм Нг,  $I_{эм} = 4,2$  мА,  $U_f = 9,2$  в.

V и VI уже не имеют смещения вершин пиков по шкале масс. Отсюда следует вывод, что РМС может работать без изменения настройки, когда  $K \geq 0,81$  (для 4-ступенчатого масс-спектрометра). Естественно, чем больше число ступеней, тем уже рабочий диапазон  $U_{тор}$ , при изменении которого еще не нужно вводить  $\Delta U_{см}$ .

Если необходимо работать при  $K < 0,81$ . (для 4-ступенчатого РМС), то от устанавливаемого  $U_{\text{тор}}$  нужно выбирать соответствующее значение  $U_{\text{см}}$  согласно графику рис. 1.

В табл. 1 приведены данные измерения  $\text{Ar}^{36}$  и  $\text{Ar}^{40}$  при  $K = 0,754$ ; потенциал смещения выбран по линии III рис. 1 и равняется 66 в.

Таблица 1.

Результаты измерений  $\text{Ar}^{36}$  и  $\text{Ar}^{40}$  при различных давлениях в ионном источнике

P в ионном источнике, мм Hg	$R_{G_1} = 10 \text{ Гом}$			$R_{G_2} = 680 \text{ Гом}$		
	$\text{Ar}^{36}, a$	$\text{Ar}^{40}, a$	$\text{Ar}^{36}/\text{Ar}^{40}$	$\text{Ar}^{36}, a$	$\text{Ar}^{40}, a$	$\text{Ar}^{36}/\text{Ar}^{40}$
$8,8 \cdot 10^{-7}$	0,000114 расчетное*	0,037	1/324	0,006	1,95	1/325
$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,00115	0,38	1/330	0,061	20,2	1/331
$5,3 \cdot 10^{-6}$	0,0042	1,36	1/324	0,243	78,9	1/325
$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,0074	2,29	1/310	0,41	127,0	1/310
$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,0235	7,8	1/335	1,36	451,0	1/332
$5,6 \cdot 10^{-5}$	0,051	15,3	1/300	2,9	870,0	1/300
Среднее отклонение			1/321 от +4,7 до -3,7%			1/321 от +3,7 до -3,7%

\* Расчетное, из предположения, что при том же давлении измеренное на  $R_{G_2}$  отношение 1/325 сохраняется и на  $R_{G_1}$ .

Даже при таком низком  $K$ , но с учетом  $\Delta U_{\text{см}}$  мы получили вполне удовлетворительные результаты. Действительное отношение  $\text{Ar}^{36}/\text{Ar}^{40} = 1/295$ . Систематическую ошибку, равную 9%, от среднего значения этого отношения, очевидно, необходимо искать в электрометрической части электрометра ЭМУ-3.

#### Зависимость величины тока коллектора от давления в ионном источнике

Ионный источник РМС существенно отличается от ионных источников статических — магнитных МС. В статическом МС из ионного источника исследуемый газ и образующиеся ионы могут выйти только через щели, т. е. имеется дросселирование.

В РМС, ввиду специфики устройства анализатора, перепада давления в ионизаторе и анализаторе практически нет. Поэтому максимальное давление, допустимое в ионизаторе, ограничивается работой анализатора, т. е. необходимо, чтобы длина свободного пробега молекулы газа была много больше длины рабочей части анализатора.

Таким образом, для различных РМС, по нашим данным, рабочее давление может быть от  $10^{-3}$  мм Hg [6] до  $10^{-7}$ . Нижний предел давления будет зависеть также от чувствительности электрометров, измеряющих ток коллектора.

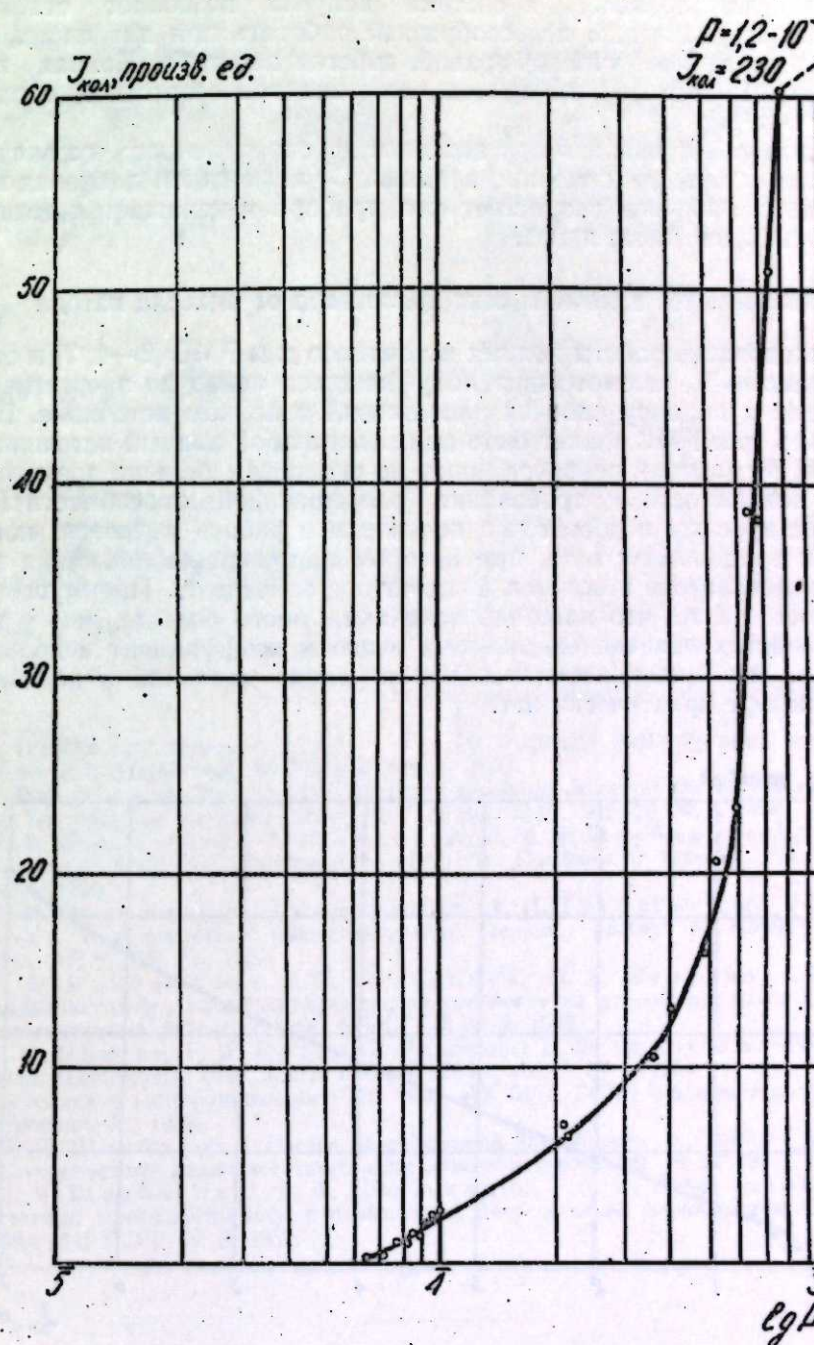


Рис. 4. Зависимость  $I_{\text{кол}}$  от  $P$ :  
 $I_{\text{эм}} = 0,3 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{тор}} = 64 \text{ в}$ ,  $U_f = 9,2 \text{ в}$ .

График зависимости тока коллектора от  $P$  в ионном источнике показан на рис. 4. Из графика видно, что при количественных измерениях лучше пользоваться давлениями, показанными в левой части кривой, при которых случайное изменение давления в ионном источнике в процессе работы не так резко скажется на величине пика. При этом мы, естественно, теряем в чувствительности. Там, где необходима макс-

мальная чувствительность, а система напуска позволяет стабильно поддерживать давление; целесообразней работать при давлениях, приведенных на правом участке кривой, избегая перегиба. Кривая получена с ионным источником продольного типа при остаточном давлении  $4 \cdot 10^{-6}$  мм Hg.

На настройку анализатора давление до определенного его значения не оказывает непосредственного влияния. С увеличением давления выше возможного, рабочего, возрастает фон прибора и искажается величина соотношений массовых пиков.

#### Зависимость величины тока коллектора от эмиссии катода

Исследование работы ионных источников для РМС [2—4, 7] в основном сводилось к рассмотрению получающихся ионов по энергетическому уровню и подбору рабочих напряжений в ионном источнике. Принципиально для РМС может быть применен любой ионный источник, безусловно, не дающий разброса ионов по скоростям больше допустимого [7, 4] в зависимости от требования разрешающей способности РМС. Наиболее простым и достаточно надежным в работе является ионный источник продольного типа, при котором направления движения электронов в ионизаторе и ионов в анализаторе совпадают. Преимуществом его является и то, что площадь ионизации много больше, чем у поперечных ионных источников, поэтому выше и коэффициент использования газа. Это существенно, так как перепада давлений в ионизаторе и анализаторе практически нет.

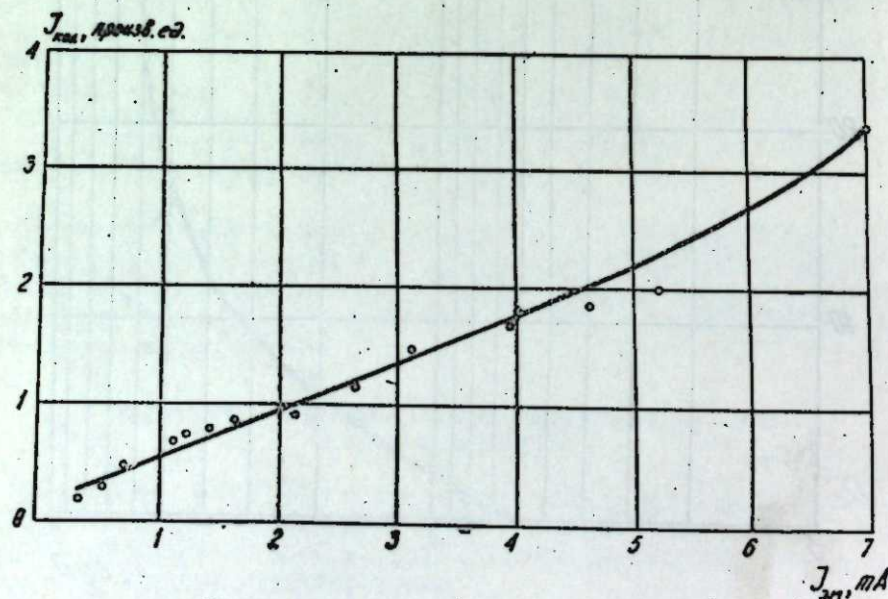


Рис. 5. Изменение  $I_{кол}$  в зависимости от  $I_{эм}$ :  
 $P = 2,5 \cdot 10^{-5}$  мм Hg,  $U_{тор} = 64$  в,  $U_f = 9,2$  в.

На рис. 5 показано изменение тока коллектора в зависимости от эмиссии катода —  $I_{эм}$ . Давление  $P = 2,5 \cdot 10^{-5}$  мм Hg выбрано по графику рис. 4 (на правой ветви кривой). Изменение  $I_{кол}$  идет линейно до  $I_{эм} = 5$  мА. Предположение [10], что при токах эмиссии  $> 2$  мА наступает насыщение образующихся ионов, не совсем правильно. Насыщение зависит от конструкции катода и ионного источника.

#### Выводы

1. Настройка анализатора зависит от изменения тормозного потенциала. Величина подстройки  $\Delta U_{см}$  тем больше, чем ниже  $K$ , и различна для РМС с разным числом ступеней. При равном числе циклов, но с меньшим числом ступеней, заложенных в анализаторе,  $\Delta U_{см}$  будет меньше при равных  $K$ .

2. Ток коллектора в зависимости от давления в ионном источнике имеет два линейных участка. Имеющуюся нелинейность — перегиб желательно избегать при аналитических работах.

3. Следует работать при максимально допустимых токах эмиссии, тем самым повышая чувствительность РМС. Оптимальную величину тока эмиссии необходимо подбирать, соотносясь с существующей конструкцией ионного источника.

Институт геологии и геофизики  
 Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
 17/II 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ф. Доильницын, А. И. Трубецкой, М. Я. Щербакова, Радиочастотный масс-спектрометр. ЖТФ, № 2, 1957.
2. W. H. Bennett, Radiofrequency mass spectrometer, Journ. of Appl. Phys., 21, 143, 1950.
3. I. W. Townsend, Radiofrequency mass spectrometer for upper air research. Rev. of Sci. Instr., 23, 538, 1952.
4. I. Dekleva, Metallic construction of high frequency Bennetts mass spectrometer. Reports I. Stefan Inst. of Physics, vol. 1, 1953.
5. I. Dekleva, A. Peterlin, Improved resolving power of the rf. mass spectrometer by changing the signal shape. Rev. of Sci. Instr., vol. 26, № 4, 1955.
6. Е. Ф. Доильницын, А. И. Трубецкой, М. Я. Щербакова, Миниатюрный радиочастотный масс-спектрометр — РМС-М. Приборы и техника эксперимента, № 2, 1959.
7. А. Н. Ворсин, Е. Ф. Доильницын, А. И. Трубецкой, М. Я. Щербакова, Радиочастотный масс-спектрометр (теория, расчет и конструирование). Изд. АН СССР, М., 1959.
8. Е. Ф. Доильницын, А. И. Трубецкой, М. Я. Щербакова, Испытание радиочастотного масс-спектрометра, настроенного на второй максимум избирательности ступени. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 9, 1958.
9. T. C. Wherry, F. W. Kagasek, Performance of the nonmagnetic radio-frequency mass spectrometer tube, Journ. of Appl. Phys., vol. 2, № 6, 1955.
10. Описание и конструирование РМС типа МХ 6401, ГСКБ аналитического приборостроения. Л., 1958.
11. М. Я. Щербакова, Расчет разрешающей способности и выбор циклов для 3-ступенчатого радиочастотного масс-спектрометра. ЖТФ, № 3, 1957.
12. М. Я. Щербакова, Е. Ф. Доильницын, А. И. Трубецкой, Радиочастотный масс-спектрометр с повышенной разрешающей способностью. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 9, 1957.

А. К. ШАРОВА, А. П. ШТИН

### О ФОСФОРНОКИСЛОЙ СОЛИ НИОБИЯ

Об условиях осаждения фосфорнокислой соли ниобия из сернокислых растворов сведений очень мало. Состав фосфорнокислых солей зависит от кислотности раствора. При содержании серной кислоты в растворе от 15 до 9,7 г-экв/л выделенная и затем прокаленная соль соответствует составу  $Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ ; при более низком содержании кислоты состав соли отвечает формуле  $2Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ . Избыток осадителя в молярном отношении  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$  от 1 : 12 до 1 : 50 не влияет на состав соли  $2Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ . Фосфорнокислая соль ниобия количественно осаждается из сернокислых растворов, содержащих до 15 г-экв/л серной кислоты. При более высоком содержании серной кислоты наблюдается неполное осаждение ниобия [1].

В данной работе показана возможность осаждения ниобия из сернокислых растворов (с содержанием 190—200 г/л  $H_2SO_4$ ) при меньших молярных отношениях ниобия к фосфору (от 1 : 0,5 до 1 : 10). Исследовалось осаждение фосфорнокислой соли ниобия из солянокислых растворов. Испытана возможность выделения фосфорнокислой соли ниобия из фосфорнокислых растворов. Выяснено действие орто-, пиро-, метафосфатов на осаждение ниобия. Изучено взаимодействие гидроокиси ниобия с раствором фосфата в кислой среде. Определена летучесть и термическая прочность прокаленной фосфорнокислой соли ниобия.

#### Исходные растворы и реактивы

Для изучения осаждения фосфорнокислой соли ниобия брались растворы ниобия в серной, соляной и фосфорной кислотах. Для приготовления растворов служила чистая пятиокись ниобия. Тантал химическим методом анализа в ней не был обнаружен. Реакция с перекисью водорода в кислой среде показывала в  $Nb_2O_5$  следы двуокиси титана. Для перевода в растворимое состояние пятиокись ниобия сплавлялась с пиросульфатом калия. После охлаждения измельченный сплав растворялся в серной кислоте. Из этого раствора ниобий осаждался аммиаком. Осадок гидроокиси ниобия промывался на фильтре до удаления сульфат-ионов и растворялся при нагревании в соответственной кислоте.

Литературные данные указывают, что растворимость гидроокиси ниобия в кислоте зависит от концентрации кислоты, температуры, а главное, от характера гидроокиси (свежеосажденная, высушенная и т. д.). Р. Ф. Вейнланд и Л. Шторц (см. [2]) получали в концентрированной соляной кислоте, насыщенной хлором, 1% раствор гидроокиси ниобия. По данным Д. И. Курбатова и Н. В. Деменева [3], растворимость гидроокиси ниобия в растворе соляной кислоты концентрации 450 г/л равняется 4,836 г/л при 20° С. А. В. Лапицкий, Л. А. Поспелова, Е. П. Артамонова [4], изучавшие растворимость свежеосажденной пятиокиси ниобия в соляной кислоте различной концентрации, нашли, что в 8 н.  $HCl$  рас-

творяется 419 мг/л. В литературе есть указание, что пятиокись ниобия растворима в фосфорной кислоте [5]. Количественные же данные по растворимости ниобия в фосфорной кислоте отсутствуют.

Для получения растворов ниобия нами применялась свежееосажденная гидроокись ниобия. Использовавшиеся кислоты имели спецификацию химически чистых. В качестве осадителя служил однозамещенный фосфорнокислый аммоний марки ЧДА.

#### Экспериментальная часть

Чтобы выяснить условия полного выделения ниобия, проводилось осаждение его из сернокислых растворов при различных молярных отношениях  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$ . Кислотность растворов и содержание в них пятиокиси ниобия оставались постоянными, а содержание фосфорного ангидрида менялось. Осадитель вводился в виде твердой соли. Осаждение проходило при комнатной температуре. Результаты опытов представлены на рис. 1. Как видим, для практически полного осаждения ниобия необходим 5—10-кратный избыток осадителя.

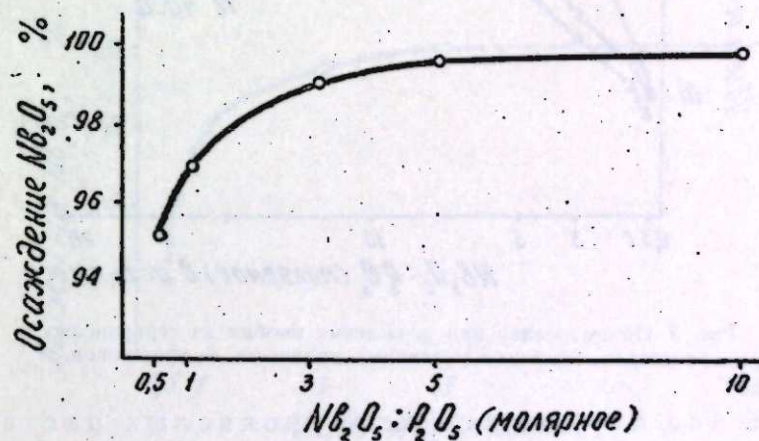


Рис. 1. Осаждение ниобия из сернокислых растворов действием различных количеств фосфат-ионов.  
Концентрация в растворе:  $H_2SO_4 = 2,14$  моль/л;  $Nb_2O_5 = 4,59 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

Измерялся объем осадков, выпадающих при осаждении ниобия действием различных количеств фосфат-ионов. В градуированные цилиндры емкостью 100 мл вводились растворы ниобия и  $NH_4H_2PO_4$  с таким расчетом, чтобы общий объем составлял 90 мл. Во всех смесях количество  $Nb_2O_5$  было постоянным и равнялось  $4,59 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Объем осадка измеряли по границе, отделяющей твердую фазу от жидкой. Полученные данные изображены на рис. 2. Опыты показывают ход изменения объема осадка. Согласно данным об осаждении ниобия при действии фосфат-ионов, выделение  $Nb_2O_5$  возрастает при увеличении молярного отношения  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$ . Избыток фосфорного ангидрида не влияет на состав фосфорнокислой соли ниобия. Ход кривых изменения объема осадков во времени хорошо согласуется с проведенными опытами.

Исследовалось действие других фосфатов на сернокислые растворы ниобия. Опыты показали, что гексаметафосфат натрия не осаждает ниобий. Гексаметафосфат натрия был получен нагреванием однозамещенного фосфата натрия  $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$  в платиновой чашке при

620°С в течение 15—20 минут и последующим быстрым охлаждением образующегося расплава. Водные растворы гексаметафосфата натрия довольно устойчивы на холоде, но при нагревании или подкислении они подвергаются гидролизу [6, 7]. Поэтому при стоянии сернокислого ниобийсодержащего раствора с введенным гексаметафосфатом наблюдается опалесценция раствора, а затем выпадение осадка. Пирофосфаты калия и натрия осаждают ниобий из сернокислых растворов. От применяемого для осаждения ортофосфата состав фосфорнокислой соли ниобия не зависит. Прокаленная соль соответствует составу  $2\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ . Эта же соль осаждается при выделении ниобия фосфорной кислотой.

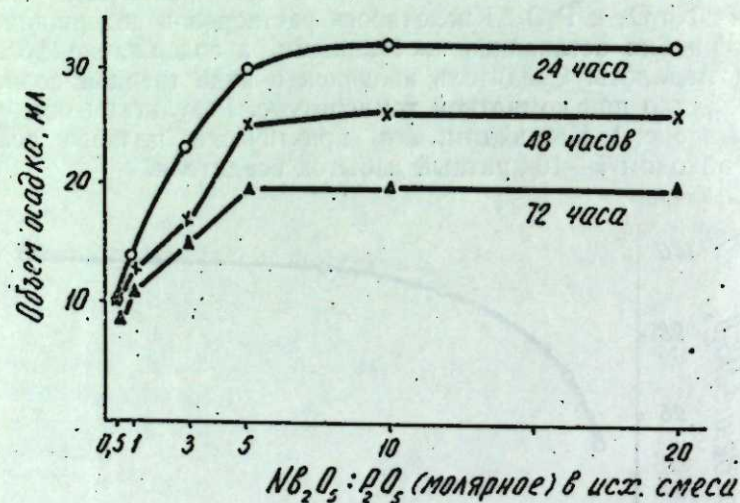


Рис. 2. Объем осадка при осаждении ниобия из сернокислых растворов действием различных количеств фосфат-ионов.

#### Осаждение ниобия из фосфорнокислых растворов

Для приготовления раствора бралась свежесаждаемая гидроокись ниобия и растворялась при нагревании в 78% фосфорной кислоте. Пятиокиси ниобия в растворе содержалось 19,02 г/л. Для осаждения ниобия определенный объем исходного раствора разбавлялся дистиллированной водой в 5, 10, 50, 100 раз. Количество вводимого однозамещенного фосфата аммония было постоянным и составляло 15-кратный избыток в молярном отношении  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  к  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Осадитель вводился в виде твердой соли. Опыты показали, что ниобий из фосфорнокислых растворов не осаждается; нагревание и длительное выдерживание также не дают желаемых результатов. Состав и природа фосфорнокислых растворов ниобия неизвестны. В настоящее время нами проводится исследование системы  $\text{Nb}_2\text{O}_5 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{H}_2\text{O}$ .

#### Осаждение ниобия из солянокислых растворов

Впервые Бломстрандом было сообщено о возможности получения фосфорнокислой соли ниобия при добавлении фосфата натрия к водному раствору оксихлорида ниобия (см. [8]). Однако данные о точном составе осадка не были представлены.

Нами при изучении осаждения фосфорнокислой соли ниобия в солянокислых растворах различной концентрации устанавливался

состав выделяемых солей и выяснялось влияние различных факторов на образование соли (количество осадителя, температура, кислотность растворов и т. д.). Солянокислый раствор ниобия готовился растворением свежесаждаемой пятиокиси ниобия в 12 н. соляной кислоте при нагревании. Содержание в полученном растворе  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  составляло 4,61 г/л. Осаждение фосфорнокислой соли ниобия проводилось при комнатной температуре и при нагревании растворов до 60—65°.

В первой серии опытов изучалось влияние концентрации соляной кислоты в растворе на осаждение фосфорнокислой соли ниобия. Определенный объем исходного раствора разбавляли дистиллированной водой и получали растворы с соответственным количеством кислоты и  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Солянокислые растворы ниобия были стабильны и гидролизу не подвергались. Осаждение производилось введением однозамещенного фосфата аммония в виде твердой соли. Во всех опытах вводился 15-кратный избыток осадителя в молярном отношении  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  к  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Опыты показали, что при содержании в растворе 1,2; 2,4; 3,0; 4,0; 6,0; 9,0; 12,0 н.  $\text{HCl}$  происходит полное осаждение фосфорнокислой соли ниобия.

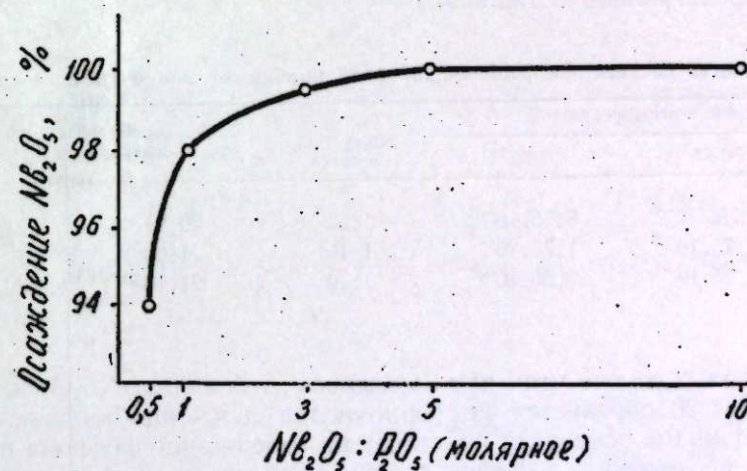


Рис. 3. Осаждение ниобия из солянокислых растворов действием различных количеств фосфат-ионов.

Вторая серия опытов была поставлена для выяснения влияния различных количеств фосфат-иона на полноту осаждения ниобия. Использовался 2,4 н. солянокислый раствор, содержащий  $1,75 \cdot 10^{-3}$  моль/л  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Количество вводимого осадителя в молярном отношении  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  к  $\text{P}_2\text{O}_5$  повышалось от 1 : 0,5 до 1 : 20. На рис. 3 представлены данные проведенных опытов. Они показывают, что практически полное выделение ниобия достигается при введении в раствор 3—5-кратного избытка осадителя. После добавления фосфат-иона сначала появляется опалесценция раствора, затем выпадает аморфный сильно гидратированный осадок. Нагревание и перемешивание раствора ускоряют процесс осаждения фосфорнокислой соли ниобия.

#### Определение состава фосфорнокислой соли ниобия

В результате анализов было установлено, что прокаленная фосфорнокислая соль ниобия, полученная из растворов с невысокой концентрацией соляной кислоты (2—3 н.), содержит в среднем 20,97%  $\text{P}_2\text{O}_5$

и 79,03%  $Nb_2O_5$ , что приближается к теоретическому составу соли  $2Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$  (21,07%  $P_2O_5$  и 78,93%  $Nb_2O_5$ ). Результаты определения состава прокаленной фосфорнокислой соли ниобия приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Состав прокаленной фосфорнокислой соли ниобия

Оксид	Содержание, %				Теоретический состав соли $2Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ , %
	опыт № 1	опыт № 2	опыт № 3	среднее	
$P_2O_5$	20,81	20,87	21,23	20,97	21,07
$Nb_2O_5$	79,19	79,13	78,77	79,03	78,93

Чтобы выяснить влияние количества осадителя на состав прокаленных осадков, проводилось осаждение ниобия при различных молярных отношениях  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$ . Количество фосфорного ангидрида бралось в таком отношении, чтобы полностью выделить ниобий в виде фосфорнокислой соли. Кислотность растворов оставалась постоянной. Опытные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Зависимость состава фосфорнокислой соли ниобия от концентрата осадителя

Содержание в растворе, моль/л			М. о. $Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ в смеси	Содержание $P_2O_5$ в осадке, %	Отношение Nb:P в осадке
HCl	$Nb_2O_5$	$P_2O_5$			
2,4	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$8,75 \cdot 10^{-3}$	1:5	20,91	2:1
2,4	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	1:10	21,60	2:1
2,4	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$3,50 \cdot 10^{-2}$	1:20	21,13	2:1

Из табл. 2 видно, что при молярном отношении  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$  от 1:5 до 1:20 образуется фосфорнокислая соль ниобия постоянного состава. Избыток осадителя не влияет на содержание фосфора в осадке.

Было исследовано действие других фосфатов на солянокислые растворы ниобия. Гексаметафосфат натрия, введенный в виде водного раствора или твердой соли, осаждает ниобий. При добавлении первых же капель реактива наблюдаются опалесценция раствора и выпадение осадка. Пирофосфаты калия и натрия также осаждают ниобий из солянокислых растворов.

#### Взаимодействие осадка гидроокиси ниобия с фосфат-ионами

Чтобы выяснить механизм образования фосфорнокислой соли ниобия, исследовалось взаимодействие гидроокиси ниобия с фосфат-ионами в кислой среде. В нейтральных или слабокислых растворах соединения ниобия подвергаются гидролизу. Освобождающаяся ниобиевая кислота находится в состоянии коллоидного раствора. Р. Ф. Вейнланд и Л. Шторц (см. [2]) при обработке гидроокиси ниобия дымящей соляной кислотой на холоде получали 7% коллоидный раствор ниобиевой кислоты. Е. И. Крылов с сотрудниками [9, 10] получили коллоидный раствор ниобиевой кислоты, основой которого является гидратированная хлор-окись ниобия. А. В. Лапчик, Л. А. Поспелова и Е. П. Артамонова [4], проводившие измерение вязкости, коэффициента светорассеивания и ультрамикроскопическое исследование соляно- и сернокислых

растворов пятиоксида ниобия, пришли к выводу, что по степени дисперсности коллоидные растворы приближаются к истинным. Исследование знака заряда, произведенное ими, показало, что золь пятиоксида ниобия несет отрицательный заряд. В. И. Парамонова и С. А. Бергелев [11], изучавшие состояние ниобия в растворах серной и хлорной кислот, установили, что ниобий может находиться в этих растворах в виде заряженных, нейтральных и коллоидных частиц. Другие исследователи [12, 13] также указывают на образование ниобием коллоидных растворов.

Если добавление фосфат-иона вызовет коагуляцию золя ниобия, то выделяющийся гель может адсорбировать из раствора фосфат-ионы. Гидроокись ниобия получалась гидролизом сернокислой соли при вливании в воду. Опытные данные показали, что гидроокись ниобия в зависимости от условий проведения эксперимента адсорбирует то или иное количество фосфат-ионов. Продукт взаимодействия раствора фосфата со свежеполученной ниобиевой кислотой содержит в среднем 20,9%  $P_2O_5$ . По содержанию фосфорного ангидрида в осадке он приближается к составу фосфорнокислой соли ниобия, осаждаемой непосредственно из кислых растворов. Количество поглощенного фосфат-иона зависит от степени дисперсности гидроокиси ниобия; его больше при взаимодействии раствора со свежеполученной гидроокисью и меньше при взаимодействии с «постаревшей» гидроокисью. «Старение» осадка вызывалось или нагреванием его в течение 1,5—2 часов или выдерживанием в течение 1—7 суток. Данные опытов представлены в табл. 3.

Таблица 3  
Взаимодействие раствора однозамещенного фосфата аммония с гидроокисью ниобия в кислой среде

Гидроокись ниобия (состояние)	Содержание в растворе $Nb_2O_5$ , г	М. о. $Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$	Вес прокаленного продукта, г	Содержание $P_2O_5$ (по разности)		
				г	%	среднее, %
Свежесаждаемая	0,0564	1:15	0,0712	0,0148	20,78	20,93
	0,0564		0,0714	0,0150	21,09	
«Постаревшая» при нагревании в теч. 1,5 час.	0,0564	1:15	0,0640	0,0076	11,87	11,96
	0,0564		0,0642	0,0078	12,05	
«Постаревшая» при стоянии в теч. 1 суток	0,0564	1:15	0,0700	0,0136	19,42	19,30
	0,0564		0,0698	0,0134	19,19	
«Постаревшая» при стоянии в теч. 7 суток	0,0564	1:15	0,0684	0,0120	17,54	17,90
	0,0564		0,0690	0,0126	18,26	

Процесс взаимодействия фосфат-ионов с осадком гидроокиси ниобия в кислой среде происходит в первые 16—18 часов и в течение суток в основном заканчивается. Опытные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4  
Скорость взаимодействия раствора однозамещенного фосфата аммония с осадком гидроокиси ниобия

Время взаимодействия	Содержание в растворе $Nb_2O_5$ , г	М. о. $Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$	Вес прокаленного продукта, г	Содержание $P_2O_5$ , %
16 часов	0,0282	1:15	0,0343	17,78
1 сутки	0,0282	1:15	0,0357	21,00

Таким образом, в кислой среде гидроокись ниобия с фосфат-ионами образует продукт, приближающийся по составу к фосфорнокислой соли ниобия, выделяемой из растворов. Ниобиевая кислота является реак-



ционнспособной. На активность ее указывали А. Розенгейм и Е. Рерих [14]. Чем больше развита удельная поверхность гидроокиси ниобия, тем сильнее адсорбция ею из раствора фосфат-ионов и благоприятнее условия диффузии их внутрь частиц гидроокиси. Адсорбционная способность ниобиевой кислоты зависит от роста размеров частиц и их агрегатов при «старении» осадка. В кислой среде процесс укрупнения и агрегатного образования гидроокиси ниобия особенно заметен, так как в первое время она находится в состоянии коллоидальной дисперсности, а не в виде хлопьев, как «постаревшая» гидроокись ниобия.

На основании проведенных исследований можно сделать заключение, что образование фосфорнокислой соли ниобия возможно в следующих случаях:

- 1) при непосредственном взаимодействии в растворе ионов ниобия и фосфат-ионов;
- 2) при коагуляции золя ниобиевой кислоты из растворов под действием фосфат-ионов с образованием геля гидроокиси ниобия и последующей хемосорбцией фосфат-ионов.

#### Термическая прочность и летучесть фосфорнокислой соли ниобия

Летучесть и термическая прочность прокаленной фосфорнокислой соли ниобия определялись в трубчатой печи при 1000°. Навеска прокаленной соли помещалась в фарфоровую лодочку и нагревалась в течение суток. Через каждые 6 часов лодочка взвешивалась. Опыты показали, что при данной температуре фосфорнокислая соль ниобия термически прочна и летучестью не обладает. При нагревании она приобретает желтый цвет. Охлажденная соль теряет окраску и превращается в белый порошок.

#### Выводы

1. Показана возможность выделения ниобия из сернокислых растворов при молярных отношениях  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$  от 1 : 0,5 до 1 : 10.
2. Установлено, что метафосфаты не осаждают, а пирофосфаты осаждают ниобий из сернокислых растворов.
3. Установлено, что из фосфорнокислых растворов ниобий не осаждается при действии фосфат-иона.
4. Изучены условия осаждения ниобия из солянокислых растворов в виде фосфорнокислой соли действием фосфат-ионов:
  - а) при введении 5-кратного избытка осадителя в молярном отношении  $Nb_2O_5$  и  $P_2O_5$  происходит полное выделение ниобия из солянокислых растворов;
  - б) состав фосфорнокислой соли ниобия, прокаленной при 900°, соответствует формуле  $2Nb_2O_5 \cdot P_2O_5$ . Избыток осадителя при молярном отношении  $Nb_2O_5$  к  $P_2O_5$  от 1 : 5 до 1 : 20 не влияет на состав осаждаемой соли.
5. Установлено, что осадок гидроокиси ниобия способен поглощать фосфат-ионы. В результате происходящей хемосорбции получается продукт, близкий по составу к фосфорнокислой соли ниобия, осаждаемой из растворов.
6. Определено, что прокаленная фосфорнокислая соль ниобия термически прочна и летучестью не обладает.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Курбатов, Н. В. Деменев, Об условиях образования фосфорнокислых солей ниобия в сернокислых растворах. ЖПХ, т. 29, вып. 11, 1956.
2. J. W. Mellor, A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry, vol. IX, p. 879. Longmans, Green and Co, London — New York — Toronto, 1929.
3. Д. И. Курбатов, Н. В. Деменев, О растворимости гидроокиси ниобия в минеральных кислотах. ЖПХ, т. 29, вып. 6, 1956.
4. А. В. Лапчик, Л. А. Поспелова, Е. П. Артамонова, Исследование растворяющего действия воды и минеральных кислот на пятиокись ниобия и тантала. ЖНХ, т. 1, вып. 4, 1956.
5. Ф. П. Тредвелл, В. Т. Голл, Качественный анализ. Госхимиздат, М., 1946.
6. А. Х. Бронников, В. Ф. Постников, Получение гексаметафосфата натрия. ЖПХ, т. 11, вып. 9, 1938.
7. А. В. Памфилов, Н. М. Домбровский, О гексаметафосфате натрия. ЖОХ, т. 23, вып. 8, 1953.
8. R. V. Nahn, Phosphates of niobium and tantalum. J. Amer. Chem. Soc., 73, 11, 1951.
9. С. И. Соловьев, Е. И. Крылов, В. Ф. Дегтярев, Состав и свойства солянокислого раствора пятиокиси ниобия. ЖОХ, т. XXV, вып. 4, 1955.
10. С. И. Соловьев, Е. И. Крылов, О природе солянокислых растворов пятивалентного ниобия, ЖНХ, т. III, вып. 11, 1958.
11. В. И. Парамонова, С. А. Бергнев, Применение полного обмена к изучению состояния вещества в растворе, III. Изучение форм существования ниобия в растворах серной и хлорной кислот. ЖНХ, т. III, вып. 2, 1958.
12. В. И. Сницин, Н. А. Преображенский, Хлорирование ниобия и его соединений. ЖОХ, т. X, вып. 9, 1940.
13. I. H. Kanzelmeyer, J. Ryan, H. Freund, The nature of niobium (V) in hydrochloric acid solution. J. Amer. Chem. Soc. 78, 1956.
14. A. Rosenheim, E. Roehrich, Inner komplexe Verbindungen des fünfwertigen Niobds und Tantalts. Z. anorg. Chem., 204, 1932.

В. П. ЛАТЫШЕВ, Н. И. ПОПОВА

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА  
КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ПРОПИЛЕНА

Сообщение 3.

О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКРОЛЕИНА  
В ПРОДУКТАХ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ  
ПРОПИЛЕНА НАД МЕДНЫМ КАТАЛИЗАТОРОМ\*

В последние годы изучению процесса окисления пропилена в акролеин уделяется все большее внимание. Для оценки результатов окисления как в исследовательских целях, так и при организации производства необходим точный учет выходов акролеина. Существует ряд методов количественного определения этого вещества в смесях с другими карбонильными соединениями: бромид-броматный [1], полярографический [2, 3], спектрофотометрический [4]. Целью данной работы было сравнение этих трех методов в идентичных условиях.

Описание методик

Полярографический анализ смесей карбонильных соединений, образующихся при окислении пропилена, производился на саморегулирующем полярографе СГМ-8. В качестве фона применялась 0,1 н. HCl. Период падения капель ртути из капилляра равнялся 2,4 сек., чувствительность шунта была 1 : 500, соотношение объемов полярографического фона и определяемого раствора — 1 : 1. Акролеин, применявшийся для построения калибровочной прямой и приготовления искусственных смесей, был перегнан в вакууме на колонке в 15 л. т.

Спектрофотометрически акролеин определялся на спектрофотометре СФ-4 по методу, описанному ранее [4].

Широко применяемый при определении непредельных альдегидов бромид-броматный метод [1] основан на реакции бромирования двойной связи.

Полярография искусственных смесей

Чтобы определить влияние на точность определения акролеина различных примесей, являющихся компонентами, сопровождающими акролеин в продуктах окисления пропилена, полярографическим методом были проведены анализы нескольких искусственных смесей карбонильных соединений (табл. 1).

\* Сообщения 1 и 2 напечатаны в № 7 и 9 «Известий Восточных филиалов АН СССР» за 1957 г.

Таблица 1

Результаты анализов искусственных смесей карбонильных соединений

Состав смеси	Взято, г/л	Определено, г/л	Ошибка определения, г/л	Ошибка определения, %
Акролеин	1,22	1,20	-0,02	1,6
Пропионовый альдегид	2,43	—	—	—
Акролеин	0,51	0,52	+0,01	1,9
Ацетальдегид	2,70	—	—	—
Акролеин	0,52	0,52	0,00	0,0
Глицериновый альдегид	1,50	—	—	—
Акролеин	1,24	1,20	-0,04	3,0
Метилглиоксаль	5,00	—	—	—

Как видно из табл. 1, даже значительные количества ацетальдегида, пропионового альдегида, глицеринового альдегида и метилглиоксаля не снижают значительно точности определения акролеина. Это объясняется тем, что перечисленные альдегиды не дают полярографической волны в кислой среде. Кроме того, было показано, что полимеры, выделенные из продуктов окисления пропилена, не мешают определению акролеина, так как их потенциал выделения (восстановления) значительно более положительный.

Определение акролеина в продуктах каталитического окисления пропилена

Для сравнения было проведено большое количество определений акролеина в водных растворах продуктов окисления пропилена над медными катализаторами. При этом анализы проводились не позднее, чем через 6—8 часов после получения карбонильных соединений, так как акролеин в водных растворах с течением времени полимеризовался в дисакрил [5], что искажало данные анализов.

Результаты более 80 определений показали, что данные, полученные тремя указанными выше методами, значительно различаются (табл. 2). Бромид-броматный метод систематически дает завышенные результаты по сравнению со спектрофотометрическим и полярографическим методами и, следовательно, не может быть применен для количественного определения акролеина. Это, по-видимому, объясняется тем, что при

Таблица 2

Результаты определения акролеина в продуктах каталитического окисления пропилена

Концентрация акролеина в г/л, определенная			Концентрация акролеина в %, определенная		
полярографически	спектрофотометрически	бромид-броматным методом	полярографически	спектрофотометрически	бромид-броматным методом
9,8	8,7	13,7	100	88	139
4,6	3,5	7,0	100	80	152
2,2	1,96	3,47	100	89	157
0,72	0,61	0,9	100	85	125
0,5	0,5	11,7	100	100	232
0,36	0,38	0,56	100	105	163
0,2	0,21	0,39	100	104	195
0,18	0,17	0,50	100	94	274
0,09	0,085	0,16	100	94	178
0,07	0,06	0,108	100	87	154

использовании этого метода помимо присоединения по двойной связи происходит реакция замещения. Кроме того, пропилен, который в подобных случаях обычно присутствует в карбонильных соединениях, также бромруется, что приводит к завышению результатов.

Данные определений акролеина полярографически и спектрофотометрически близки, однако следует отметить, что в большинстве случаев, особенно после хранения растворов в течение некоторого времени, спектрофотометрический метод дает несколько заниженные результаты. Это, по-видимому, связано с большей скоростью полимеризации акролеина в нейтральных растворах, в которых он обычно определяется спектрофотометрически, чем в кислых, являющихся фоном при полярографическом анализе акролеина.

Определять акролеин спектрофотометрически в кислых средах невозможно, так как соляная кислота обладает способностью поглощения в этих областях (220—350 мμ). Кроме того, при малых концентрациях акролеина в растворе (меньше 0,1 г/л) прибор СФ-4 работает на верхнем пределе чувствительности, в результате чего возникают отклонения от закона Ламберта — Беера ( $C = \kappa \cdot D$ ) и анализы становятся недостаточно точными.

Исследование продуктов разгонки (перегонка велась из колбы с елочным дефлегматором) карбонильных соединений, полученных при окислении пропилена на катализаторе — закис меди на карбиде кремния (табл. 3), подтвердило данные предыдущих опытов.

Таблица 3

Результаты разгонки продуктов окисления пропилена над медными катализаторами

№ фракции	Вес фракции, г	Т. кип., °С	C <sub>1</sub> акролеина, г/л, спектрофотометрически	C <sub>2</sub> акролеина, г/л, полярографически	C <sub>3</sub> акролеина, г/л, бромид-броматным методом	$\frac{C_1 - C_2}{C_2} \cdot 100\%$
I	0,46	20—26	0,56	0,53	—	+5,6
II	4,45	50—54	2,69	2,72	—	-1,1
III	1,80	56—59	1,13	1,10	—	+2,7
IV	0,08	59—60	—	2,10	—	—
конденсат	6,79	—	0,59	0,58	0,67	+1,7

Как видно из табл. 3, при анализе конденсата бромид-броматный метод по сравнению с полярографическим и спектрофотометрическим дал завышенные результаты. Данные полярографического и спектрофотометрического методов близки, исключением являются данные для фракции IV, представляющей собой смесь акролеина и его полимеров. В этом случае определено акролеина 2,1 г/л, кривая же поглощения в ультрафиолете не имела максимума, характерного для акролеина.

Следовательно, для анализа кубовых остатков ректификации акролеина спектрофотометрический метод не может быть применен, полярографический же имеет универсальное применение.

### Выводы

1. Проведено сравнение трех наиболее распространенных методов определения акролеина: бромид-броматного, полярографического и спектрофотометрического.

2. Показано, что полярографический метод дает высокую точность определения акролеина во всевозможных смесях продуктов, образу-

ющихся при окислении пропилена; спектрофотометрический метод при наличии в смеси полимеров акролеина дает заниженные результаты.

3. Установлено, что бромид-броматный метод мало пригоден для количественного определения акролеина (ошибка определения колеблется от 30 до 80%).

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
16/IV 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. К. Бауэр, Анализ органических соединений, изд. 2-е. М., ИЛ, 1953.
2. М. И. Гербер, А. А. Добринская, М. Б. Нейман, Полярографическое определение альдегидов. Тр. Всес. конф. по аналитич. химии, вып. 2. Изд. АН СССР, М.—Л., 1943.
3. А. С. Кириллова, И. А. Коршунов, Определение акролеина в продажном глицерине, ЖАХ, № 6, 1951.
4. Н. И. Попова, Е. Е. Вермель, Изучение процесса каталитического окисления пропилена. Сообщ. 2. Анализ смесей карбонильных соединений спектрофотометрическим методом. Изв. Вост. филиалов АН СССР, № 9, 1957.
5. H. Schulz, H. Wagner, Synthese und Umwandlungsprodukte des Acroleins. Angewandte Chemie, 7, 1950.

И. Л. КОТЛЯРЕВСКИЙ, Е. К. ВАСИЛЬЕВ, Л. И. ВЕРЕЩАГИН

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
2-МЕТИЛ-6-R-ПИРИДИНОВ

Ранее нами было показано, что при каталитическом взаимодействии винилацетиленовых спиртов с аммиаком [1] или винилацетилена с метилкетонами и аммиаком получают пиридиновые основания. Синтез пиридинов был осуществлен на катализаторе  $Cd_3(PO_4)_2/Al_2O_3$  при температурах 350—400° и объемной скорости подачи реакционной смеси 1,3—1,4 л/л · час. Скорость подачи аммиака 30 л/час. Молярное отношение винилацетилена и метилкетона от 1 : 2 до 1 : 4.

Взаимодействием винилацетилена и аммиака с ацетофеноном, п-метилацетофеноном, п-этилацетофеноном и пинаколином получены соответственно 2-метил-6-фенилпиридин, 2-метил-6-(п-метилфенил)-пиридин, 2-метил-6-(п-этилфенил)-пиридин и 2-метил-6-трет. бутилпиридин, а из метилэтилкетона — 2-метил-6-этилпиридин, 2, 3, 6-триметилпиридин и в небольшом количестве 2, 3, 5, 6-тетраметилпиридин.

Нами были определены ультрафиолетовые спектры перечисленных выше пиридиновых оснований и рентгенометрические константы их пикратов, а также 2, 3, 5, 6-тетраметилпиридина.

Настоящая работа является продолжением нашего исследования некоторых физических констант пиридиновых оснований (см. [1]).

Образцы для получения ультрафиолетовых спектров очищались многократной разгонкой в вакууме индивидуальных веществ, выделенных из продуктов реакций. Константы полученных и исследованных оснований приведены в табл. 1.

Спектры поглощения сняты на кварцевом спектрофотометре СФ-4 в области спектра 230—300 мμ.

Источник света — водородная лампа с естественным охлаждением. Толщина поглощения слоя 1 см. Рабочая концентрация ~ 0,04 г/л. В качестве растворителя применялся спирт. Ультрафиолетовые спектры приведены на рис. 1—3.

Рентгенографирование пикратов и 2, 3, 5, 6-тетраметилпиридина проводилось по методу Страуманиса в модификации Вильсона [2] в порошковых камерах типа РКД с эффективным диаметром образцов 0,4 мм. Съёмка проводилась на К-излучении хромового антикатада в условиях, описанных в предыдущей работе [1].

Рентгенометрические константы приведены в табл. 2. Относитель-

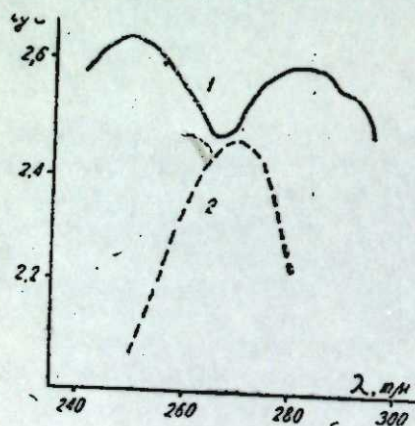


Рис. 1. Ультрафиолетовые спектры:  
1 — 2-метил-6-(п-метилфенил)-пиридина,  
2 — 2, 3, 6-триметилпиридина.

Таблица 1

Вещество	Экспериментальные данные				Литературные данные				Литературные источники
	т. кип., °С/мм	$n_D^{20}$	$d_4^{20}$	т. пл. пикрата, °С	т. кип., °С/мм	$n_D^{25}$	т. пл. пикрата, °С	т. кип., °С	
2-метил-6-этилпиридин	158—161/740	1,4940	—	126—127,0	160	$n_D^{25}=1,492$	126—127	126—127	[3—5]
2,3,6-триметилпиридин	168—170/730	1,5030	—	177	173/743	—	177—178	177—178	[5]
2,3,5,6-тетраметилпиридин (т. пл. 79—80°)	195—203/730	—	—	173—174	197—198	—	173,5	173,5	[5]
2-метил-6-трет. бутилпиридин	174/730	1,4850	0,8913	158,5—159	179/760	—	—	—	[5]
2-метил-6-фенилпиридин	125—126/5	1,6057	1,0598	141—142	97—100/1,5	—	135	135	[4]
2-метил-6-(п-метилфенил)-пиридин (т. пл. 22°)	139—140/3	1,6030	1,0372	151	—	—	—	—	—
2-метил-6-(п-этилфенил)-пиридин	145—146/2	1,5812	1,0085	146—147	—	—	—	—	—

Рентгенометрические константы исследованных веществ (основные линии и их интенсивности выделены черным)

Пикрат 2,3,6-триметилпиридина		Пикрат 2,3,5,6-тетраметилпиридина		Пикрат 2-метил-6-этилпиридина		Пикрат 2-метил-6-(п-метилфенил)пиридина		Пикрат 2-метил-6-(п-этилфенил)пиридина		Пикрат 2-метил-6-трет.бутилпиридина		2,3,5,6-тетраметилпиридина		Пикрат 2,6-диметилпиридина		Пикрат 2,4-диметилпиридина		Пикрат 2,4,6-триметилпиридина	
I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)	I	d(кx)
10	8,1	3	7,99	10	8,9	10	8,4	10ш	8,9	3	9,79	4p	9,79	6	6,93	7	10,7	6	6,89
4	7,40	4	7,57	8	7,7	4	7,30	8	7,7	3	7,34	4p	8,31	6	4,68	7	9,7	7	3,56
10	7,00	4	6,26	5	6,4	8	6,61	5	6,4	10	6,48	5	5,90	6	3,56	7ш	6,73	10	3,44
3	6,14	3	5,78	8	5,78	5	5,43	8	5,05	4	5,99	5	6,81	8	3,49	9	3,28	6	3,36
5	5,43	3	4,99	4p	5,05	5	4,92	4p	5,05	4	5,03	7	6,54	7	2,126	10	3,19	9	3,21
5	4,92	3	4,20	3	4,25	7	4,70	3	4,72	10	5,03	6	6,23	6					
8	3,93	1	4,59	6	4,06	3	4,50	6	4,26	6	4,68	6	5,25	6					
6	3,91	1	4,47	3	3,86	5	4,27	5	3,86	4	4,26	6	4,58	2p					
9	3,63	2	4,34	4	3,67	4	4,13	9	3,67	4	4,04	7	4,24	2p					
6	3,55	1	4,26	3	3,54	4	3,86	3	3,54	4	3,85	4	4,03	2p					
6	3,36	10	3,95	5	3,41	5	3,64	3	3,41	9	3,69	10	3,87	5					
5	3,18	9	3,85	2	3,14	3	3,51	5	3,24	7	3,49	5	3,48	8					
3	2,85	8	3,59	3	3,06	3	3,41	2p	3,06	2	3,37	5	3,17	3					
3	2,80	1p	3,57	4	2,76	5	3,30	1	2,91	9	3,23	8	2,82	2					
3	2,77	2p	3,10	2	2,63	4	3,07	4p	2,76	3	3,15	3	2,63	3					
3	2,67	4	2,88	2	2,56	2	2,78	2	2,63	4	2,90	3	2,66	3					
4	2,57	2	2,70	2	2,65	3	2,65	2	2,56	3	2,73	3	2,380	3					
1	2,479	2	2,61	1	2,488	1	2,259	1	2,256	2	2,58	3	2,385	3					
1	2,428	1	2,498	1	2,281	1	2,154	1	2,107	2	2,430	4	2,202	4					
1	2,381	1	2,397	1	2,206	1	2,059	2	2,107	2	2,333	2	2,162	2					
1	2,280	1	2,266	1	2,076	1	2,059	3p	2,056	2	2,333	4	2,033	2					
1	2,217	1	2,185	1	2,019	1	1,977	2p	1,896	2	2,286	3	1,764	3					
2	2,076	1	2,132	1	1,957	1	1,907	1	1,775	2	2,189	2	1,712	2					
2	2,028	1	2,061	1	1,898	1	1,775	1	1,722	1	2,090	2	1,694	1					
1	1,941	1	2,037	1	1,845	1	1,756	1	1,972	1	2,027	1	1,600	1					
1	1,847	1	1,766	1	1,756	1	1,674	1	1,910	1	1,941	1	1,241	1					
1	1,681	1	1,685	1	1,598	1	1,521	2	1,783	1	1,741	1	1,231	1					
1		1		1	1,521	1		1	1,693	1	1,693	1	1,204	1					

Примечание: ш — широкая линия, р — размытая линия.  
\*Проводятся только основные линии и их интенсивности.

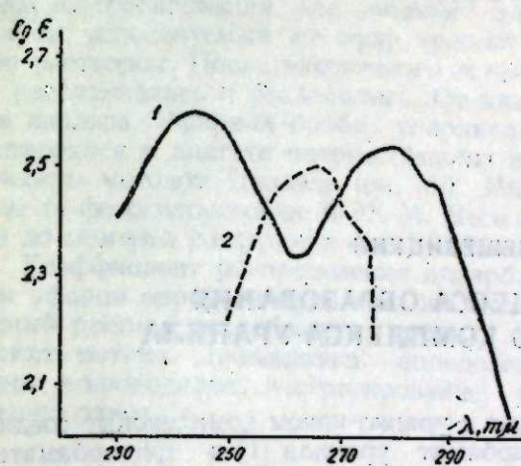


Рис. 2. Ультрафиолетовые спектры: 1 — 2-метил-6-фенилпиридина, 2 — 2-метил-6-этилпиридина.

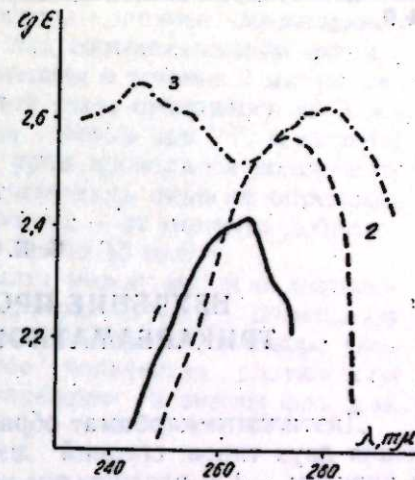


Рис. 3. Ультрафиолетовые спектры: 1 — 2-метил-6-трет.бутилпиридина, 2 — 2,3,5,6-тетраметилпиридина, 3 — 2-метил-6-(п-этилфенил)пиридина.

ные интенсивности линий оценены визуально по десятибалльной шкале, межплоскостные расстояния измерены в кx-единицах.

При сравнении наиболее интенсивных линий оказалось возможным идентифицировать исследованные пикраты в смесях друг с другом.

Выводы

Новым методом синтезирован ряд пиридиновых оснований и определены их ультрафиолетовые спектры и рентгенометрические константы.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
4/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

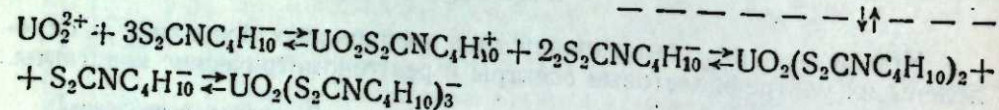
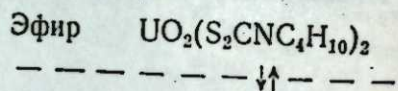
1. Л. И. Верещагин, Е. К. Васильев, А. С. Нахманович, И. Л. Котляревский, Некоторые физические характеристики 2, 6- и 2, 4, 6-диметилпиридина и 2, 4, 6-триметилпиридина. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 6, 1959.
2. A. J. C. Wilson, Straumanis method of filmshrinkage correction modified of use without high angle lines. Rev. Sci. Instr., vol. 20, 831, 1949.
3. И. Хейльброн, Г. Бенберн, Словарь органических соединений; т. II. ИЛ, М., 1949.
4. I. Michalski, S. Studniarski, Badania nad syntezą winylopyridin. Roczn. Chem., vol. 29, 1141, 1955.
5. M. Ferles, J. Jizba, Chemie pyridinu, Praha, 1957.

Б. И. ПЕЩЕВИЦКИИ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ  
ТРИКАРБАМАТНОГО КОМПЛЕКСА УРАНИЛА

Диэтилдитиокарбамат образует с уранил-ионом комплексные соединения двух типов: средний дикарбамат уранила [1] и трикарбаматы с зарядом —1 и различными катионами внешней сферы [2—4].

Нами было обнаружено, что простые эфиры не обладают способностью растворять соли трикарбамата, но растворяют средний, незаряженный комплекс. Это свойство может быть использовано для изучения процесса комплексообразования карбаматов уранила путем наблюдения за изменением концентрации дикарбамата в эфире по мере увеличения в водной фазе концентрации карбамат-иона. Схематически данный процесс можно представить как равновесие



Однако вопрос усложняется тем, что уранил-ион не может существовать одновременно с карбамат-ионом на «водном фоне». При низких значениях *pH* наблюдается разложение карбаминовой кислоты, при высоких же значениях — ион уранила подвергается гидролизу. Обойти эту трудность можно, используя, например, «ацетатный фон» — раствор с избыточной концентрацией ацетата натрия.

Экспериментальная часть

В работе использовались следующие реагенты: ацетат уранила ХЧ, диэтилдитиокарбамат натрия ЧДА, перекристаллизованный из спирта и дважды из спирто-эфирной смеси, ацетат натрия ЧДА, дважды перекристаллизованный, уксусная кислота ХЧ, хлористый натрий ХЧ перекристаллизованный, диэтиловый эфир Ч перегнанный, промытый 4—5 раз равными объемами воды и ацетатным рабочим раствором.

Процесс извлечения проводился при 18° в видоизмененном (для вакуума) экстракторе Кирка и Даниэльсона [5]. В экстракционную колбу помещалось 5 мл раствора ацетата натрия с *pH* = 7, содержащего определенное количество урана. Добавлялось 5 мл ацетатного буфера с определенным содержанием карбамата натрия и 10 мл диэтилового эфира. Постоянная ионная сила поддерживалась добавлением хлорида натрия. Карбамат натрия вводился в буфер непосредственно перед проведением опыта. Чтобы предотвратить изменение объемов фаз в про-

цессе экстрагирования, все водные растворы заранее насыщались эфиром, используемый же эфир хранился над соответственным ацетатным раствором. После энергичного встряхивания в течение 2 минут фазы расслаивались и разделялись. От каждой фазы отбиралось по 5 мл для анализа. Эфирная проба упаривалась досуха при 25°, и остаток растворялся в ацетате натрия. Анализ на уран проводился колориметрическим методом Джонса (см. [6]). Интенсивность окраски определялась на фотоколориметре ФЭК-М. Весь процесс — от момента добавления до момента разделения фаз — занимал около 15 минут.

Коэффициент распределения дикарбамата между водой и диэтиловым эфиром определялся в том же экстракторе. В колбу помещался водный раствор дикарбамата уранила в одномольном растворе хлористого натрия. Добавлялось определенное количество диэтилового эфира и проводилось экстрагирование, разделение и анализ фаз, как сказано ранее.

Результаты и обсуждение

По описанной методике была определена степень извлечения урана в эфир по мере увеличения концентрации карбамата натрия в водной фазе для растворов с общей концентрацией по ацетат-иону 0,10; 0,20; 0,50 и 0,99 моль/л. Концентрация 0,2 моль/л была наименьшей, при которой еще не наблюдался гидролиз урана. Опыты проводились при *pH* = 7. В этих условиях время полуразложения диэтилдитиокарбамино-вой кислоты составляет, по данным Боду [7], 8,3 часа. За 15 минут, таким образом, разложение карбамата составило менее 2%, так как связывание карбамата в комплекс значительно увеличивает его устойчивость. Во всех случаях поддерживалась постоянная ионная сила благодаря совокупности концентраций ионов ацетата, карбамата, натрия и хлора. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Извлечение карбамата уранила эфиром  
(объемы фаз — 10 мл; ионная сила — 1,0; концентрация урана — 1,05 · 10<sup>-3</sup> моль/л; температура 18°)

Концентрация		Степень экстракции	Концентрация		Степень экстракции
ацетата, моль/л	карбамата, моль/л · 10 <sup>-3</sup>		ацетата, моль/л	карбамата, моль/л · 10 <sup>-3</sup>	
0,10	1,0	0,383	0,50	1,0	0,300
0,10	2,5	0,770	0,50	2,0	0,520
0,10	3,0	0,764	0,50	3,0	0,620
0,10	5,0	0,681	0,50	3,5	0,626
			0,50	4,0	0,600
0,20	1,0	0,347	0,50	5,0	0,560
0,20	1,55	0,592	0,50	6,0	0,516
0,20	2,05	0,713	0,50	6,5	0,468
0,20	3,0	0,735	0,50	7,5	0,414
0,20	4,1	0,704	0,50	9,0	0,360
0,20	5,1	0,660	0,50	10,0	0,334
0,20	7,42	0,493			
0,20	8,0	0,461	0,99	1,0	0,139
0,20	10,0	0,383	0,99	2,0	0,390
0,20	14,0	0,306	0,99	3,0	0,447
0,20	20,0	0,248	0,99	4,0	0,464
0,20	22,0	0,245	0,99	5,0	0,405
0,20	30,0	0,200	0,99	8,0	0,324
0,20	40,0	0,148	0,99	10,0	0,260
0,20	60,0	0,100	0,99	14,0	0,210



Таблица 2  
Извлечение дикарбамата уранила диэтиловым эфиром из раствора хлористого натрия 1 моль/л (температура 18°)

Объемы фаз, мл		Концентрация урана, моль/л · 10 <sup>-3</sup>		Коэффициент распределения
вода	эфир	до экстракции	после экстракции	
10,0	10,0	2,00	0,312	5,42
30,0	10,0	2,00	0,723	5,30
10,0	10,0	1,10	0,172	5,37
20,0	10,0	0,52	0,141	5,39
50,0	10,0	0,10	0,049	5,28

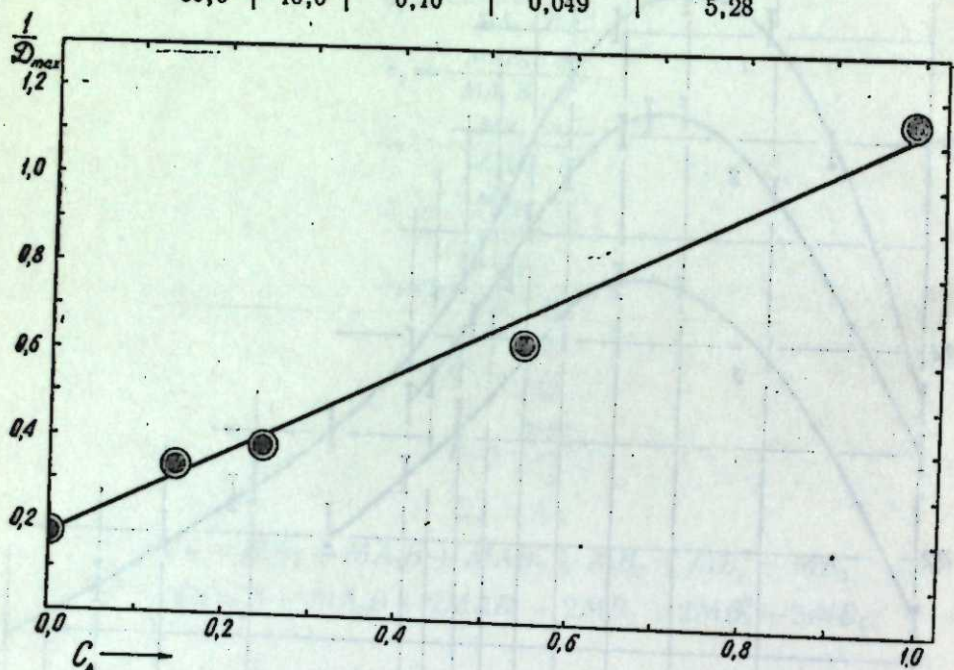


Рис. 2. Функция  $1/D_{\max}$  в зависимости от концентрации ацетата натрия.

нона. Экспериментально полученная линейная зависимость подтверждает правильность предложенного выше объяснения механизма извлечения урана. Единственный недостаток такого предположения — допущение об отсутствии извлечения урана в форме  $MAB$  (за счет диссоциации  $MA_2V$  до  $MAB$  и  $A$ ). Однако для правой ветви кривой это является обоснованным, так как правее максимума существует доминирование двух форм:  $MAB_2$  и  $MB_3$ . Сопоставлением уравнений (3—10) легко показать, что правая ветвь должна подчиняться равенству:

$$C_B = \frac{a}{E} - dE + q, \quad (12)$$

где

$$a = \frac{P}{b_3}; \quad d = C_M \cdot \left( \frac{1+P}{P} + \frac{A}{P \cdot k_1} \right); \quad q = 3C_M - \frac{ad}{C_M}$$

Для нахождения констант  $k_1$  и  $b_3$ , входящих в коэффициенты уравнения (12), был применен метод последовательного приближения. В качестве величин первого приближения для  $k_1$  использовалось значение

тангенса угла наклона прямой (см. рис. 2), значение же  $b_3$  находили из таких соображений. При условии равенства концентраций  $MB_3$  и  $MB_2$  равновесная концентрация карбамат-иона выразится уравнением:

$$B_0 = C_{B_0} - C_M \cdot (2 + E_0).$$

Степень экстракции для этого случая может быть вычислена из соотношения:

$$\frac{1}{E_0} = 2 + \frac{1}{D_{\max}}$$

Зная ее, легко найти  $C_{B_0}$  из экспериментальной кривой. При этом  $b_3 = P/B_0$ .

В табл. 3 приведены величины, полученные из опытных данных, и значения  $k_1$  и  $b_3$ , рассчитанные по уравнению (12) путем коррекции величин первого приближения тремя последовательными приближениями с использованием всей правой ветви кривой. Из значений  $k_1$  и  $b_3$  находим  $b_3 = k_1 \cdot b_3 = 330 \pm 210$ . Первая же константа диссоциации (по принятой нами терминологии первая константа диссоциации равна обратной величине последней константы образования) трикарбамата уранила равна  $(1,13 \pm 0,12) \cdot 10^{-3}$ .

Таблица 3  
Результаты обработки экспериментальных данных

A, моль/л	$\frac{1}{D_{\max}}$	$E_0$	$C_{B_0}$ , моль/л · 10 <sup>-3</sup>	$k_1$	$b_3$
0,99	1,16	0,313	8,20	$0,20 \pm 0,10$	$900 \pm 100$
0,50	0,60	0,385	8,50	$0,40 \pm 0,30$	$900 \pm 100$
0,20	0,36	0,424	8,72	$0,45 \pm 0,25$	$850 \pm 90$
среднее значение				$0,35 \pm 0,10$	$900 \pm 100$

Хотя нами получены термодинамические величины констант, постоянство ионной силы и малые различия в константах для концентраций ацетата 0,2 и 0,5 моль/л позволяют провести ориентировочную оценку изменения свободной энергии. Рассчитанные величины приведены в табл. 4; они отличаются от термодинамических постоянным слагаемым, не выходящим, вероятно, за пределы ошибки опыта.

Из сравнения строк 1 и 2 табл. 4 вытекает, что карбамат дает значительно более прочные комплексы, чем ацетат. Изменение свободной энергии на  $\sim 3000$  кал/моль больше при присоединении карбамата.

Различие же  $\Delta F$  для реакций 1 и 3 составляет почти 2000 кал. Иными словами, наблюдается ослабление связи третьего (с точки зрения присоединения) аддента в комплексе  $MAB_2$  по сравнению с триацетатом. Подобное, очевидно, происходит и в соединении  $MB_3$ , так как разница в изменении энергий реакций 2 и 3 равна всего лишь 1300 кал/моль. На основании этого можно предполагать для частных констант диссоциации трикарбамата уранила соотношение:  $k_1^b > k_2^b \approx k_3^b$ , в отличие от триацетата:  $k_1^a \approx k_2^a > k_3^a$  [8], и оценить порядок константы

Таблица 4  
Вычисленные изменения свободной энергии

Реакция	$\frac{1}{K}$	$\Delta F$ , кал/моль
$MB_2 + A = MAB_2$	2,8	-600
$MB_2 + B = MB_3$	900	-3800
$MA_2 + A = MA_3$ [8]	96	-2500
$MAB_2 + B = MB_3 + A$	330	-3200



полного замещения ацетата на карбамат как  $10^{10}$ ; иначе полная константа диссоциации трикарбамата на «водном фоне» с учетом константы диссоциации триацетата должна иметь порядок  $\sim 10^{-16}$ .

Вместе с тем известно [9], что триацетат уранила кристаллизуется в безводной форме; диацетат образует кристаллы формулы  $UO_2Ac_2 \cdot 2H_2O$ . Чисто формально, в соответствии с реакцией  $[UO_2 \cdot (H_2O)_6]^{2+} + 3Ac^- = UO_2Ac_3 + 6H_2O$ , можно считать, что в данном случае координационная емкость ацетата равна 2, т. е. как для диацетата, так и для триацетата уранила можно принять 8-координационную структуру. То же справедливо для ацетатдикарбамата, а равно и для трикарбамата уранила, ибо карбамат-ион в абсолютном большинстве комплексных соединений [10] занимает 2 координационных места. Существование безводного дикарбамата [1] связывается обычно с переменной координационного числа урана от 8 до 6. Однако в соответствии с отмеченным выше ослаблением связи последнего адденда можно рассматривать этот вопрос под несколько иным углом зрения. В то время как к диацетату возможно присоединение двух молекул воды с сохранением формального координационного числа, для дикарбамата подобный процесс оказывается энергетически невыгодным. Иначе: комплекс  $MV_2$  насыщен относительно воды, но не насыщен в других средах, например, в ацетатной. Можно полагать, что подобные эффекты будут наблюдаться в случаях с сильно трансвлияющими аддендами.

Отмеченный выше факт не позволяет окончательно формулировать высказанные здесь положения, которые являются скорее гипотезой.

В заключение отметим, что постановка опыта по определению констант замещения одного адденда другим требует, как правило, больших ионных сил. Этот недостаток компенсируется до некоторой степени тем, что реакция замещения (см. схему на стр. 58) оказывается изоэлектрической, а константа ее безразмерна. Такие исследования кажутся многообещающими с точки зрения количественного выяснения трансвлияния.

Институт неорганической химии  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
18/IV 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. L. Malatesta, Ditiocarbamates of metals of the sixth group. Gazz. chim. ital., vol. 69, № 11, p. 752, 1939.
2. R. A. Zingaro, The Reaction of uranyl ion with Xanthates and Dithioditiocarbamates. J. Am. Chem. Soc., vol. 78, № 15, p. 3568, 1956.
3. Исследование в области геологии, химии и металлургии. Доклады советской делегации на Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, стр. 21. Изд. АН СССР, М., 1955.
4. H. Albers, S. Lange, Formation of alkylammonium uranilditiocarbaminates from U (IV) compounds. Berichte, Bd. 85, № 4, S. 278, 1952.
5. P. Kirk, M. Danielson, A. liquid-liquid microextractor for solvents lighter than water — use in phosphate analysis. Analit. Chem., vol. 20, p. 1122, 1948.
6. Аналитическая химия урана и тория, стр. 151. ИЛ, М., 1956.
7. Bode, Systematische Untersuchungen über die Anwendbarkeit der Diäthylthiocarbaminat in der Analyse Mitteilung f. Die Beständigkeit des Natrium-Diäthylthiocarbaminates und seine Extrahierbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert der Lösung. Z. Anal. Chem., Bd. 142, № 6, 414, 1954.
8. S. Ahrlund, Complex chemistry of the uranyl ion. Acta Chem. Scand., № 5, p. 199, 1951.
9. Analyt. chem. of Manhattan Projekt. N-Y, Toronto, London; McGraw-Hill B. C., 1950.
10. H. Malissa, F. F. Miller, Use of disubstituted dithiocarbamates in microanalysis. Mikrochem., vol. 40, № 1, p. 63, 1952.

С. С. БАЦАНОВ, Ю. А. ЛИТВИН

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РОДАНИДА МЕДИ С ГАЛОГЕНАМИ

Сообщение I

Химия меди представлена, как известно, обширным классом соединений одно- и двухвалентного металла общей формулы  $CuX$  и  $CuX_2$ . Однако до настоящего времени практически не описаны смешанные соединения типа  $CuXY$ , существование которых вполне оправдано с точки зрения независимых валентностей. Объяснение такому положению не дается ни в научной, ни в учебной литературе; вероятно, предполагается, что оно является очевидным с точки зрения ионных представлений.

В самом деле, при действии окислителей на соли меди строения  $Cu^+X^-$  логично ожидать окисления и замены аниона на элемент, обладающий большей окислительной способностью. Следовательно, согласно ионным представлениям, при такого рода реакциях не должно получаться новых соединений.

Концепция электроотрицательностей утверждает другое распределение зарядов в кристаллических соединениях «неблагородногазовых» элементов, показывая наличие в ряде случаев эффективных отрицательных зарядов на атомах металлов [1—4]. В этих случаях при действии окислителей должно происходить в первую очередь повышение валентности металла и лишь затем окисление аниона.

Решение таких вопросов химическими методами требует тщательного изучения продуктов и хода реакций; поэтому в дальнейшем изложении этому будет уделено значительное внимание.

В качестве первого объекта исследования мы выбрали роданистую медь, так как SCN-группа занимает по своей окислительной способности (электроотрицательности) промежуточное положение среди галогенов, что облегчает интерпретацию опытных данных.

Для выяснения распределения зарядов в кристаллических соединениях реакции окисления, очевидно, не следует проводить в водном растворе, где в результате полной или частичной диссоциации произойдет иное распределение зарядов. Окисление следует вести сухим способом (по схемам газ — кристалл или жидкость — кристалл) или в спиртовой суспензии, которая растворяется при повышении валентности металла. Методически второй путь более удобен, так как он позволяет легко контролировать процесс и определять время его окончания. Поэтому мы решили начать исследование механизма окисления кристаллических соединений одновалентной меди именно таким образом.

Действие газообразного хлора на порошок роданистой меди, помещенный в колбу со спиртом, сразу же приводит к растворению вещества. При упаривании спиртового раствора выделяются бледно-зеленые кристаллы, имеющие удельный вес 2,28 и показатели преломления  $N_g = 1,621$ ,  $N_m = 1,583$  и  $N_p = 1,509$ .

Анализ на медь (роданидным методом) дает среднее ее содержание 30,52%. Анализ на серу (в виде сульфата) сплавлением навески со

смесью соды и селитры дает 10,95%. Однако реакция с хлористым барием происходит и без предварительного сплавления образца с окислителем, причем анализ дает практически такой же результат — 10,81% серы. Отсюда следует, что вся сера в данном соединении находится в виде сульфат-иона, т. е. роданогруппа полностью разрушена. Наконец, анализ на хлор дает в среднем 12,25%.

Результаты анализа приводят к формуле  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; найдено (%): Cu — 30,52, S — 10,88, Cl — 12,25; вычислено (%): Cu — 31,89, S — 10,73, Cl — 11,86.

Зная молекулярный вес, можно определить молекулярную рефракцию:  $R_D = 86,0 \text{ см}^3$ . Сумма ионных рефракций и рефракции кристаллизационной воды равна  $81,0 \text{ см}^3$ , т. е. в пределах 6% совпадает с экспериментальной величиной.

В табл. I приведены результаты рентгенографического исследования исходного  $\text{CuSCN}$  и полученного  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Сравнение последних данных с известными рентгенограммами [5]  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  показывает полную индивидуальность синтезированного нами соединения.

Таблица I

Рентгенограммы роданида и хлорсульфатов меди

CuSCN		$\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$		$\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2$					
Интенсивность, d/n		Интенсивность, d/n		Интенсивность, d/n					
ср.,	9,53	ср.,	1,786	ср.,	12,61	ср.,	1,867	оч. сл.,	5,30
с.,	5,54	сл.,	1,754	>	9,46	сл.,	1,825	>	4,98
оч. сл.,	4,95	ср.,	1,725	с.,	5,66	>	1,793	>	4,67
>	4,40	оч. сл.,	1,688	ср.,	5,16	>	1,745	>	4,33
сл.,	4,05	сл.,	1,669	оч. сл.,	4,84	>	1,706	>	3,855
оч. сл.,	3,806	ср.,	1,592	ср.,	4,56	оч. сл.,	1,672	>	3,608
с.,	3,637	оч. сл.,	1,500	>	4,16	>	1,657	>	3,392
оч. сл.,	3,479	>	1,472	оч. сл.,	3,986	с.,	1,609	сл.,	3,120
ср.,	3,362	сл.,	1,433	>	3,727	сл.,	1,585	>	2,951
оч. сл.,	3,170	>	1,404	>	3,589	ср.,	1,461	>	2,697
с.,	3,064	оч. сл.,	1,362	>	3,496	оч. сл.,	1,410	>	2,548
>	2,913	>	1,335	>	3,366	с.,	1,376	оч. сл.,	2,493
оч. сл.,	2,847	>	1,315	>	3,163	ср.,	1,352	сл.,	2,247
сл.,	2,745	>	1,280	>	2,990	оч. сл.,	1,337	>	2,193
ср.,	2,595	>	1,260	сл.,	2,871	>	1,280	оч. сл.,	2,077
с.,	2,409	>	1,241	>	2,778	>	1,258	сл.,	2,001
>	2,331	>	1,216	ср.,	2,676	>	1,204	ср.,	1,656
оч. сл.,	2,220	>	1,194	сл.,	2,600	сл.,	1,186	сл.,	1,607
ср.,	2,092	>	1,139	>	2,569	оч. сл.,	1,157	оч. сл.,	1,586
оч. сл.,	2,077	>	1,048	>	2,401	>	1,137	сл.,	1,552
с.,	1,863	>	1,016	>	2,317	>	1,119	оч. сл.,	1,513
оч. сл.,	1,812	>	1,004	с.,	2,243	>	1,108	>	1,477
				оч. сл.,	2,167	>	1,096	>	1,461
				>	2,128	>	1,092	>	1,442
				ср.,	1,986	>	1,082	>	1,346
				оч. сл.,	1,964	>	1,005	>	1,259
				>	1,916	>		>	1,243
								>	1,183
								>	1,153

При нагревании до  $110^\circ$   $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  изменяет свой цвет на беловато-коричневый и теряет вес приблизительно на 20%, что соответствует удалению 6 молекул воды. Плотность  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  равняется 2,81, показатель преломления (удается определить лишь среднюю величину)  $1,63 \pm 0,02$ . Молекулярная рефракция равна  $62,0 \pm 1,0 \text{ см}^3$ . Отсюда можно вычислить рефракцию кристаллизационной воды:  $\frac{1}{6} (R_{\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}} - R_{\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}) = 4,0 \pm 0,2 \text{ см}^3$ , что

согласуется в пределах ошибки опыта с обычным значением рефракции воды во многоводных кристаллогидратах [6].

Дальнейшее нагревание (до  $180^\circ$ ) приводит к полному обезвоживанию вещества — потеря веса составляет 7%. Анализ на медь дает 39,8% против 42,04% и анализ на серу — 14,8% против 14,14% для формулы  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2$ . Плотность безводного хлорсульфата равняется 2,90, средний показатель преломления  $1,64 \pm 0,01$ . Молекулярная рефракция  $R_D = 56,4 \text{ см}^3$ , на одну молекулу кристаллизационной воды в  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  приходится  $2,8 \pm 0,5 \text{ см}^3$ , что также в пределах ошибки опыта соответствует стандартному значению  $R_{\text{H}_2\text{O}}$  для маловодных кристаллогидратов [6]. Рентгенограмма безводной соли также приведена в табл. I.

Подводя итоги изучению взаимодействия роданистой меди с хлором, можно сказать, что быстрота протекания реакции говорит в пользу первоначального окисления металла и образования смешанной соли двухвалентной меди, которая сразу же перешла в раствор. Окисление же роданогруппы произошло, по-видимому, уже в растворе. Однако тот факт, что окислился и катион и анион, не позволяет оделать определенного заключения о распределении зарядов в кристаллической роданистой меди.

Поэтому представляет интерес изучение реакций бромирования и йодирования  $\text{CuSCN}$ .

Если высыпать порошок роданистой меди в спиртовой раствор брома, то происходит мгновенное растворение вещества. Спиртовой раствор при осторожном упаривании выделяет черно-фиолетовые кристаллы, имеющие плотность 3,00 и высокие показатели преломления, однако из-за плеохроичности удается измерить только один из них:  $N_D = 2,00$ . Результаты анализа формально соответствуют составу  $\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; найдено (%): Cu — 17,80, S — 8,93, Br — 44,36; вычислено (%): Cu — 17,87, S — 9,02, Br — 44,96. Однако такой состав трудно согласовать с известными валентностями меди, если предполагать, что все анионы дают нормальные связи с катионом. Объяснение может состоять либо в допущении твердого раствора брома в сульфате меди, либо в предположении комплексной кислоты  $\text{H}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Полученное соединение инертно к органическим маслам, легко растворяется в воде, но разлагается спиртом, эфиром и ацетоном; кислоты-окислители при нагревании также разлагают вещество с выделением брома. Интересно отношение этого соединения к щелочам: при их прибавлении к водному раствору полученного вещества выпадение гидроксиды меди происходит лишь при добавлении избытка щелочи. Совокупность химических свойств указывает на отсутствие в синтезированном нами соединении молекулярного брома, а в его водном растворе — иона  $\text{Cu}^{2+}$ .

Таким образом, более предпочтительным является предположение о комплексном строении данного соединения. Составу  $\text{H}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , между прочим, лучше соответствует теоретическое и экспериментально найденное содержание элементов; найдено (%): Cu — 17,80, S — 8,93, Br — 44,36; вычислено (%): Cu — 17,77, S — 8,97, Br — 44,71.

Это же предположение может быть проверено следующим образом. При добавлении к водному раствору бромосульфата меди эквимолекулярного количества KOH происходит частичная нейтрализация кислоты и после упаривания остается зеленый порошок состава  $\text{KHCuSO}_4\text{Br}_2$ . Кристаллы этой соли, под микроскопом совершенно однородные, оказались оптически анизотропными, двусосными. Показатели преломления равны:  $N_g = 1,740$ ,  $N_m = 1,676$  и  $N_p = 1,613$ ; плотность 2,90. Более

подробное исследование полученной соли, как и других соединений типа  $\text{Me}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2$  и  $\text{MeHCuSO}_4\text{Br}_2$ , выходит за рамки настоящей статьи, и мы надеемся посвятить ему специальное сообщение.

Полученная нами дибромосульфатокупрокислота была подвергнута также качественному термическому анализу. Оказалось, что при температурах до  $100^\circ$  образцы практически веса не теряют, выше этой температуры начинается медленная потеря веса; при  $150^\circ$  она едва достигает 20%. Это является лишним аргументом против предположения о молекулярном состоянии брома в синтезированном нами соединении.

Таблица 2

Рентгенограмма  $\text{H}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 

Интенсивность, <i>djn</i>			
сл.,	6,68	с.,	1,915
>	6,03	>	1,782
>	3,379	сл.,	1,679
с.,	3,040	>	1,558
сл.,	2,856	с.,	1,524
>	2,756	оч. сл.,	1,413
с.,	2,477	>	1,311
оч. сл.,	2,111	сл.,	1,294
>	2,021	оч. сл.,	1,268
сл.,		сл.,	1,238
		>	1,222
		оч. сл.,	1,199
		ср.,	1,146
		сл.,	1,124
		>	1,057
		>	0,9738
		>	0,9574

В заключение приведем результаты рентгенографического исследования  $\text{H}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , проведенного в камере РКУ на медном излучении (табл. 2).

Полученное в результате бромирования роданистой меди соединение не позволяет, как и в случае хлорирования, сделать определенный вывод о распределении зарядов в исходном соединении, так как оба предполо-

жения о строении  $\text{CuSCN}$  не противоречат составу полученного смешанного соединения. Проведенная реакция приводит к одинаковым результатам независимо от количества взятого брома. Однако попытка провести присоединение брома к роданистой меди в количестве, точно соответствующем составу  $\text{CuSCNBr}$ , не привела к положительным результатам: полное растворение роданистой меди в спиртовом растворе брома происходит лишь тогда, когда прибавлено достаточное для полного окисления роданогруппы количество брома.

Последний результат можно трактовать в пользу правильности классического представления о распределении зарядов в роданистой меди. Но его можно интерпретировать и в том смысле, что получающийся в начале реакции бромороданид меди не растворяется в спирте и реакция дальнейшего присоединения брома останавливается.

Спиртовый раствор йода оказался инертным по отношению к роданистой меди. Отсутствие реакции присоединения йода к  $\text{CuSCN}$  также не позволяет сделать определенных выводов о распределении зарядов в этом соединении.

Таким образом, проведение реакций галогенирования роданистой меди в спиртовой среде приводит к получению ряда новых соединений, но по их продуктам нельзя сделать однозначных выводов о характере химической связи в кристаллической роданистой меди. Поэтому дальнейшее исследование этого вопроса мы будем проводить путем изучения механизма и продуктов реакций взаимодействия  $\text{CuSCN}$  с окислителями в отсутствии каких-либо растворителей.

### Выводы

1. В результате взаимодействия роданистой меди с хлором в спиртовой среде впервые получены и изучены  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2\text{Cl}_2$ .

2. В результате бромирования  $\text{CuSCN}$  в спиртовой фазе впервые получена и изучена комплексная кислота  $\text{H}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Для дока-

зательства ее строения получена калиевая соль состава  $\text{KHCuSO}_4\text{Br}_2$ . Полученная кислота может служить родоначальником десятков новых комплексных соединений меди.

Институт неорганической химии  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
18/IV 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бацанов, Е. Д. Ручкин, Использование рефрактометрии для количественной характеристики транслюция. ЖНХ, т. 2, № 11, 1957.
2. С. С. Бацанов, Л. И. Горогоцкая, Окси- и галогенсульфиды марганца. ЖНХ, т. 4, № 1, 1959.
3. С. С. Бацанов, Л. И. Горогоцкая, Галогенселениды марганца. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 3, 1959.
4. С. С. Бацанов, Е. Д. Ручкин, Смешанные галогениды платины. ЖНХ, т. 4, № 8, 1959.
5. А. И. Китайгородский, Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. Гостехиздат, М., 1952.
6. Г. Б. Бокий, С. С. Бацанов, О новом методе определения строения комплексных соединений. Вести. МГУ, № 2, 1952.

Е. И. ХАЗАНОВ, Г. В. КУЗЬМИНА

ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА  
НЕФЕЛИНО-СОДОВО-ИЗВЕСТНЯКОВОЙ ШИХТЫ  
ПРИ СПЕКАНИИ В ПРИСУТСТВИИ ВОССТАНОВИТЕЛЯ

Нефелиновые породы Ужурского, Белозиминского и других месторождений Восточной Сибири отличаются повышенным содержанием окислов железа — 6—10%. Переработка этих руд спеканием с содой и известняком осложняется образованием настывлей, а также набуханием шламов, образующихся при выщелачивании спеков содово-щелочными растворами.

При спекании как частично обогащенной, так и необогащенной породы образуются настывли на холодном и горячем концах печи, что снижает выход глинозема и ухудшает другие показатели процесса.

Вредное влияние окислов железа может быть устранено введением в шихту твердого восстановителя [1]. При наличии его в шихте в количестве, достаточном для восстановления окислов железа до металла, температурный интервал спекообразования расширяется, выход глинозема повышается до 94% [2].

Возможный максимум извлечения глинозема и щелочей из продуктов спекания нефелино-известняковых шихт существенно зависит от состава образующихся продуктов и хода кристаллизации в системе  $Al_2O_3 - CaO - SiO_2 - Na_2O - Fe_2O_3$ .

Н. А. Торопов [3] показал, что реакция между нефелином и известняком при спекании может быть выражена следующим образом:  $4CaCO_3 + (Na, K)_2Al_2Si_2O_8 = Na, K)_2Al_2O_4 + 2Ca_2SiO_4 + 4CO_2$ , что подтверждено рентгенографическими и гидрохимическими исследованиями.

Ранее Ф. Н. Спроков [4] утверждал, что основными фазами известняково-нефелинового спека, полученного при температуре около 1300°, являются  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$  и изотропная фаза; последняя представляет собой твердый раствор  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$  и щелочных алюминатов. Н. А. Торопов и О. И. Аракелян [3] установили наличие в спеках  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$  и щелочных алюминатов, которые находятся между собой в эвтектических соотношениях. Они нашли, что изотропная фаза не твердый раствор, а мелкозернистая смесь  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$  с алюминатами, имеющая скрытокристаллическое строение.

Грин и Бог [5] обнаружили в системе  $2CaO \cdot SiO_2 - Na_2O \cdot Al_2O_3$  образование эвтектики состава 39%  $Na_2O \cdot Al_2O_3$  и 61%  $2CaO \cdot SiO_2$  с температурой плавления  $1405 \pm 10^\circ$ .

Степень извлечения глинозема и щелочей в процессе гидрохимической переработки продуктов спекания нефелино-известняковых шихт определяется также характером алюминатной фазы, образующейся в системе  $Na_2O - Al_2O_3 - Fe_2O_3$ .

Н. А. Торопов и Н. А. Шишаков [6] установили, что в системе  $Na_2O \cdot Al_2O_3 - Na_2O \cdot Fe_2O_3$  имеется непрерывный ряд твердых рас-

творов. При недостатке в шихте щелочи, по мнению О. И. Аракеяна [7—9], образуются твердые растворы другого состава —  $pNa_2O \cdot nAl_2O_3 \cdot mFe_2O_3$ .

В отличие от первого типа твердых растворов, легко разлагающихся при гидрохимической обработке спеков содово-щелочными растворами, твердые растворы второго типа не разлагаются, что является причиной снижения выхода щелочей и глинозема.

Иные условия создаются при спекании нефелиновых пород с известняком и содовыми растворами в присутствии восстановителя, так как при этом твердые растворы второго типа не образуются.

Кристаллооптический анализ спеков\*, полученных в лабораторных условиях из нефелиновой породы Ужурского месторождения, известняка и соды в присутствии восстановителя, показал, что они по своему фазовому минералогическому составу и структуре сходны с получающимися на Волховском алюминиевом заводе из нефелинового концентрата Кольского полуострова (содержащего малые количества окислов железа) и состоят в основном из двух фаз:  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$  и  $Na_2O \cdot Al_2O_3$  (табл. 1).

Состав нефелино-известняковых спеков

Таблица 1

Общая характеристика спека	Температура спекания, °С	Выдержка, мин.	Извлечение, %		Кристаллооптическая характеристика спека
			$Al_2O_3$	$Na_2O$	
Получен спеканием нефелина, известняка и соды без восстановителя	1240	60	78,3	97,7	$\beta-2CaO \cdot SiO_2$ ; твердый раствор $Na_2O \cdot Al_2O_3$ и $Na_2O \cdot Fe_2O_3$ , $pNa_2O \cdot nAl_2O_3 \cdot mFe_2O_3$ .
То же в слабовосстановительных условиях	1240	60	83,3	95,7	$\beta-2CaO \cdot SiO_2$ ; образования, идентичные эвтектике $2CaO \cdot SiO_2$ с $Na_2O \cdot Al_2O_3$ , металлическое железо
То же в восстановительных условиях	1200	75	93,15	87,8	Мелкоагрегатные скрытокристаллические прорастания двух фаз: $2CaO \cdot SiO_2$ и $Na_2O \cdot Al_2O_3$ , металлическое железо.
>	1225	60	86,5	83,25	.
>	1225	75	96,5	84,7	.

В указанных спеках двухкальциевый силикат представлен мелкокристаллической агрегацией зерен округлой неправильной формы с показателем преломления  $N_g = 1,730 \pm 0,005$ , умеренным двойным лучепреломлением для мелких зерен и сильным — для крупных.

Алюминат натрия с показателем преломления  $N_g = 1,580 \pm 0,005$  образует весьма тонкие прорастания и каемки, цементирующие зерна,  $\beta-2CaO \cdot SiO_2$ .

Структура исследованных спеков мелкокристаллическая, с частичным образованием эвтектических прорастаний между  $2CaO \cdot SiO_2$  и  $Na_2O \cdot Al_2O_3$ . Кроме  $2CaO \cdot SiO_2$  и  $Na_2O \cdot Al_2O_3$ , в спеках наблюдаются непрозрачные магнитные включения металлического железа. Фаз, содержащих окись железа, не обнаружено.

Следовательно, при спекании нефелиново-известняковых шихт в при-

\* Выполнен под руководством О. И. Аракеяна.

сутствии восстановителя характер образующихся минеральных фаз отвечает бинарной системе  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Исследованные спеки дают высокое извлечение глинозема и щелочи.

Кристаллооптический анализ спеков, полученных спеканием ужурской породы с известняком и содой без восстановителя (см. табл. 1), показал, что окись железа в этом случае вступает во взаимодействие с другими фазами спека. В отличие от спеков, полученных по восстановительной схеме, здесь присутствует твердый раствор алюмината и феррита натрия (зеленые мелкие прорастания и каемки, цементирующие двухкальциевый силикат). Наблюдаются также мелкие прорастания желто-бурых зерен, соответствующих твердому раствору состава  $p\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{Fe}_2\text{O}_3$ , не разлагающемуся при выщелачивании. Силикатная фаза представлена в основной массе  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Указанные спеки в отличие от полученных в восстановительных условиях имеют зерна более крупных размеров, особенно  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , что обусловлено, очевидно, снижением температуры спекообразования (из-за влияния окиси железа). Извлечение глинозема из этих спеков пониженное (78,3%).

Таким образом, присутствие окислов железа в содово-алюминатных шихтах при спекании приводит к образованию твердых растворов состава  $p\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{Fe}_2\text{O}_3$ , сокращающих температурный интервал спекообразования и снижающих выход глинозема.

Введение в шихту восстановителя приводит к восстановлению окислов железа и тем самым изменяет условия кристаллизации и способствует улучшению хода и результатов процесса.

Указанные выводы были проверены исследованием продуктов, полученных при спекании как сырой, так и обогащенной ужурской нефелиновой породы с известняком и содовыми растворами в присутствии восстановителя на полупромышленной аппаратуре. Опыты проводились с материалами, состав которых приведен в табл. 2. В качестве восстановителя использовался бурый уголь из расчета 200% от количества его, необходимого для восстановления окислов железа.

Таблица 2

Состав исходных материалов

Исходный материал	Содержание, %										
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	зола	летучие	влага	C
Нефелиновая порода	22,0	43,0	10,0	8,5	7,5	1,9	—	—	—	—	—
Известняк	0,1	0,2	0,08	55,0	—	—	2,55	—	—	—	—
Уголь	—	—	—	—	—	—	—	29,0	26,0	10,0	35,0
Зола угля	30,0	50,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Доведение материала до заданной крупности ( $-0,063$  мм) осуществлялось в двухкамерных шаровых мельницах в присутствии содовых растворов.

Пульпа измельченных нефелина, известняка и угля смешивалась с таким расчетом, чтобы соблюдались отношения  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 2,1$  и  $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1$  и достигалось восстановление окислов железа до металла.

Примерный состав шихтовой пульпы:  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 9,49\%$ ,  $\text{SiO}_2 - 17,35\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2,96\%$ ,  $\text{TiO}_2 - 0,32\%$ ,  $\text{CaO} - 34,13\%$ ;  $\text{R}_2\text{O} - 5,41\%$ , п. л. п. — 29,48%, C ~ 1,5%.

Ситовой состав шихты в среднем:  $-0,4$  мм — 0,06%,  $0,315$  мм — 0,05%,  $0,25$  мм — 0,08%,  $0,15$  мм — 1,59%,  $0,1$  мм — 4,6%,  $+0,063$  мм — 27,5%,  $-0,063$  мм — 66,10%.

Шихта подавалась в печь наливом.

Для установления характера образующихся фаз, поведения окислов железа в шихте и определения зоны, где заканчивается окисление углерода, в процессе спекания были одновременно отобраны пробы материалов от исходной шихты, на выходе из цепной зоны, в зонах температуры газовой фазы печи  $500-680^\circ$  и  $1000-1100^\circ$ , готового спека.

Исходная пульпа представляла собой однородную смесь отдельных минералов нефелиновой породы, известняка и угля, освобожденных в результате дробления и измельчения.

В цепной зоне пульпа подверглась сушке и образовались гранулы. По внешнему виду проба, взятая от цепной зоны, представляла собой плотные гранулы серого цвета с равномерным распределением материалов шихты.

Проба, взятая в зоне температуры газовой фазы печи  $1000-1100^\circ$ , была представлена слабопористыми гранулами. Центральная часть этих гранул светло-серого цвета, периферийная — желтоватого. Механически гранулы прочные.

Готовый спек представлял собой пористые гранулы черного цвета, механически прочные, однородные по составу.

Общий вид и размеры гранул показаны на рис. 1.

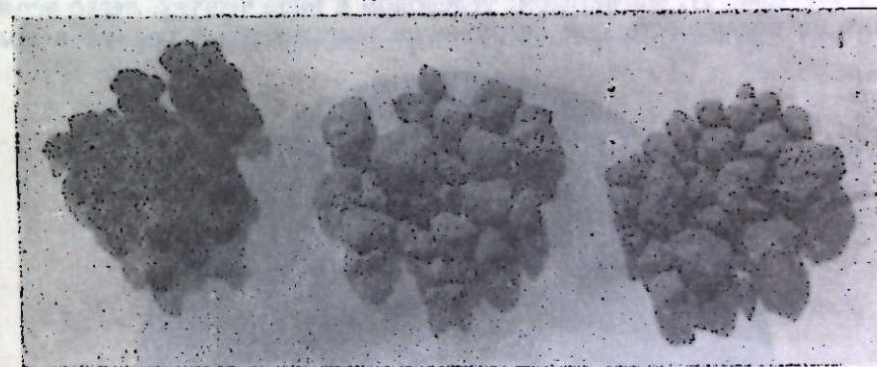


Рис. 1. Общий вид гранул (справа налево): от цепной зоны, от зоны температуры газовой фазы печи  $1000-1100^\circ$  и готового спека (нат. величина).

Для исследования из отобранных проб были выделены мономинеральные фазы центрифугированием в тяжелых жидкостях или магнитным обогащением.

Содержание окислов железа в пробах определялось из магнитных фракций, которые были также подвергнуты рентгеноструктурному анализу\* (табл. 3).

Количество восстановителя в пробах определялось сжиганием в токе кислорода.

Во всех исследованных пробах микрохимической реакцией Уайта свободной окиси кальция не обнаружено.

Микроскопическими исследованиями было установлено, что проба, взятая от цепной зоны, представлена непрореагировавшими составляющими шихты: нефелином в виде кристаллов различной формы без спай-

\* Выполнен С. А. Стахеевой.

Таблица 3

## Данные рентгеноструктурного анализа

Проба от центральной зоны		Проба с 9-го метра печи		Магнетит-определитель [10]		Готовый спек		Железо-определитель [10]	
I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n
6	2,94	6	2,94	6	2,99	6	2,22	4	2,23
4	2,77	4	2,77	5	2,80	10	2,01	10	2,02
10	2,51	10	2,51	10	2,54	7	1,426	7	1,43
1	2,40	1	2,40	3	2,42	3	1,281	3	1,29
2	2,29	2	2,29	3	2,31	8	1,164	8	1,166
6	2,08	6	2,08	7	2,09	5	1,014	3	1,012
2	1,77	2	1,77	4	1,78				
4	1,706	4	1,706	5	1,71				
8	1,606	1	1,606	9	1,612				
9	1,478	9	1,478	9	1,479				
3	1,279	3	1,279	6	1,277				
2	1,208	2	1,208	3	1,209				
2	1,167	2	1,167	1	1,174				
8	1,091	8	1,091	8	1,091				

ности,  $N_g = 1,531 \pm 0,003$ ; плагноклазом с характерным полисинтетическим двойникованием (рис. 2); авгитом зеленого цвета,  $N_g = 1,767 \pm 0,006$ ,  $N_p = 1,737 \pm 0,005$  (рис. 3); кальцитом с характерной спайностью по ромбоэдру и очень высоким двупреломлением,  $N_g = 1,658$ ;  $N_p = 1,490$  (рис. 4); магнетитом; углеродом в виде чешуек, легко всплывающих на поверхность при погружении измельченных гранул в воду.

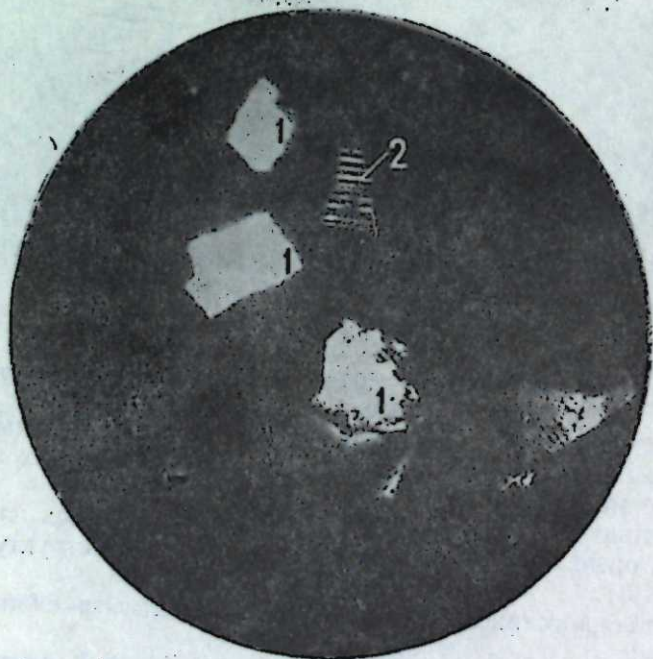


Рис. 2.  
Нефелин — 1, плагноклаз — 2 (николи X; иммерсия  $N = 1,549$ ;  $\times 280$ ).

Содержание углерода в пробах от центральной зоны составляло в среднем 0,92% против введенных в шихту по расчету 1,5—2,0%.  
Проба, взятая в зоне температуры газовой фазы печи 1000—1100°, состояла из двухкальцевого силиката в  $\beta$ -форме с показателями пре-

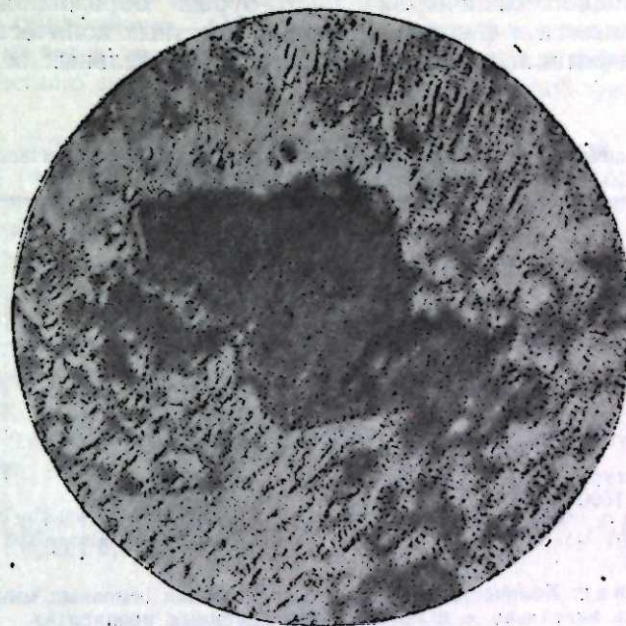


Рис. 3. Авгит пробы от центральной зоны (николи II;  $\times 1000$ ).

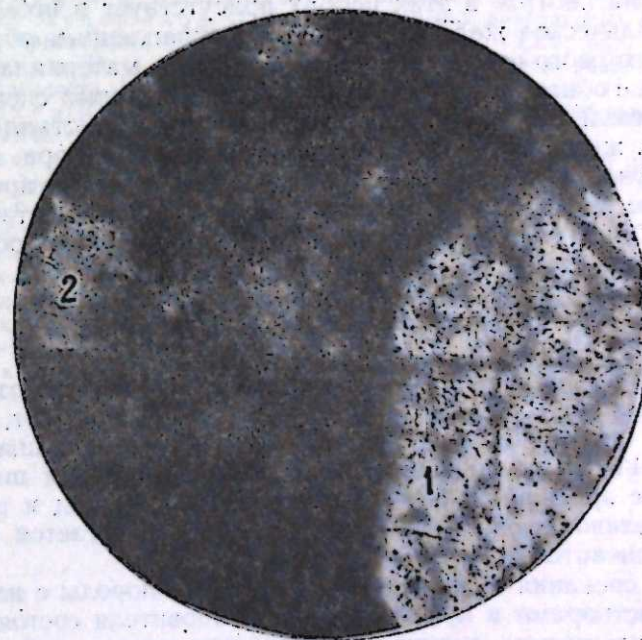


Рис. 4.  
Кальцит — 1 нефелин — 2 (николи X;  $\times 1000$ ).

ломления  $N_g = 1,730 \pm 0,004$  и  $N_p = 1,714 \pm 0,004$ , алюмината натрия в виде отдельных мелких кристалликов, включенных в двухкальциевый силикат, небольшого количества желто-бурых образований твердого раствора алюмината и феррита натрия и заметных количеств непрореагировавших нефелина, плагиоклаза, авгита и отдельных зерен кальцита (табл. 4).

Таблица 4

Примерная количественная характеристика фазового минералогического состава проб, взятых по длине печи

Наименование проб	С о д е р ж а н и е, %								
	нефелин + плагиоклаз	CaCO <sub>3</sub>	авгит	магнетит	углерод	металлическое железо	2CaO·SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	твердый раствор Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и Na <sub>2</sub> O·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Исходная нефелиновая руда	75,0	—	29,0	—	—	—	—	—	—
Шихта на сухой вес	37,0	58,0	5,0	—	1,5	—	—	—	—
От цепной зоны	37,0	58,0	4,5	1,1	0,9	—	—	—	—
В зоне температуры газовой фазы 1000—1100°	20,0	34,0	—	—	—	—	—	—	—
Готовый спек	—	—	2,0	0,7	0,3	0,7 2,5	30,0 60,0	10,0 25,0	3,0 10,0

Примечание: Количественная оценка содержания основных минералов в пробах производилась визуально в шлифах и иммерсионных препаратах.

Остаточный углерод в этой пробе наблюдался в виде чешуек, равномерно распределенных в гранулах.

Наряду с магнетитом в этих пробах присутствует в небольшом количестве металлическое железо в виде тонковкрапленных образований.

В пробах готового спека непрореагировавшего материала и свободного углерода не обнаружено. Основными составляющими спека являются двухкальциевый силикат с включенными в него кристаллами алюмината натрия, желто-бурые образования твердого раствора алюмината и феррита натрия и металлическое железо в форме тонких прорастаний.

Извлечение из исследованных спеков Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O составило соответственно 86,0 и 87%. Аналогично проявила себя шихта, составленная из частично обезжелезенной нефелиновой породы.

### Выводы

Одной из причин, приводящих к снижению выхода глинозема и щелочей при спекании нефелино-содово-известняковых шихт, является присутствие в шихте окислов железа. Оно также нарушает процесс спекобразования из-за снижения температуры плавления шихты.

Устранение вредного влияния окислов железа на ход и результаты спекания нефелино-содово-известняковых шихт достигается введением в шихту восстановителя.

Продукты спекания ужурской нефелиновой породы с известняком и содовыми растворами в присутствии восстановителя состоят в основном из двухкальциевого силиката, алюмината натрия, небольшого количества твердых растворов Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и восстановленного железа.

В процессе спекания по длине печи шихта претерпевает ряд изменений. В цепной зоне пульпа подсушивается и образуются гранулы, заметного химического взаимодействия между элементами шихты в этой

зоне не происходит, наблюдается лишь небольшое выгорание углерода. Химическое взаимодействие между элементами шихты находится в зависимости от разложения известняка. Свободной окиси кальция в пробах гранул не обнаружено. Образование двухкальциевого силиката, алюмината натрия и твердого раствора алюмината и феррита натрия особенно интенсивно протекает при температуре газовой фазы печи выше 1000°.

В готовом спеке, несмотря на наличие окислительной атмосферы при выходе из печи и в процессе охлаждения, заметных количеств свободных окислов железа не обнаружено. Основное количество железа в спеке представлено в тонковкрапленном виде.

Восстановление окислов железа шихты происходит ступенчато с образованием магнетита. Фаялита или других соединений закисного железа в гранулах не обнаружено.

Восстановление окислов железа происходит по всей длине печи вплоть до момента интенсивного образования спека (температура газовой фазы выше 1100°).

В данных условиях спекания заметного увеличения потерь щелочи не наблюдается.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
16/IV 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Хазанов, Роль восстановителя в процессах спекания алюминиевых и титановых руд. Изв. АН СССР, ОТН, № 10, 1957.
2. Е. И. Хазанов, А. Ф. Хлюгина, А. С. Бессонова, Э. М. Шишляникова, П. С. Меньшиков, О спекании ужурских нефелиновых сиенитов с известняком в присутствии восстановителя. Тр. ВСФАН СССР, вып. 13, 1958.
3. Н. А. Торопов, О. И. Аракелян, Кристаллооптический анализ в алюминиевой промышленности. Цветные металлы, № 6, 1952.
4. Ф. Н. Строков, К вопросу о природе изотропной фазы в нефелиново-известняковом спеке. Тр. ГИПХ, вып. 32, 1940.
5. K. T. Green, R. H. Bouge, Equilibrium phases in part of the system Na<sub>2</sub>O—CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>. J. Res. Nat. Bur. Stand. V. 36, II, 185, 1946.
6. Н. А. Торопов, Н. А. Шишаков, Физико-химическое исследование бинарной системы феррит натрия—алюминат натрия. Тр. второго совещ. по эксперимент. минералогии и петрографии, 1936 г. Изд. АН СССР, 1937.
7. О. И. Аракелян, О твердых растворах системы Na<sub>2</sub>O—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Тр. пятого совещ. по эксперимент. и техн. минералогии и петрографии. Л., 1956.
8. О. И. Аракелян, Исследование фазового состава продуктов спекания в глиноземном производстве. Легкие металлы, № 3, 1957.
9. О. И. Аракелян, Исследование фазово-минералогического состава продуктов спекания бокситовой «насыщенной» шихты. Автореф. канд. дисс., ВАМИ, Л., 1958.
10. В. И. Михеев, В. Н. Дубинина, Рентгенометрический определитель минералов, ч. I. Лен. горн. ин-т, Л., 1938.

Б. Г. ИОГАНЗЕН

## СПОРНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Сообщение 2\*

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИИ ОРГАНИЗМОВ СО СРЕДОЙ

Постановка вопроса «организм и среда» порождает возможность различного объяснения причины изменчивости, приспособления и эволюционного развития живых существ. Автогенез ищет их во внутреннем (организме), эктогенез — во внешнем (среде). Биология, опирающаяся в качестве методологической основы на идеализм или механицизм, вынуждена избирать одну из двух названных противоположных позиций.

Диалектико-материалистическая биология нашла новый путь к решению этого важного вопроса, покончив с противопоставлением организма и среды, метафизическим отрывом их друг от друга. Еще в 1850 г. основоположник экологии К. Ф. Рулье [1] говорил о законе общения животного с миром. И. М. Сеченов [2] в 1861 г. утверждал, что организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен. Всю жизнь посвятил разработке этого вопроса И. В. Мичурин. Т. Д. Лысенко в 1948 г. сформулировал основное положение мичуринского учения в следующих словах: «Организм и необходимые для его жизни условия представляют единство» [3, стр. 562].

Эту важнейшую закономерность нельзя подменять пустой фразой о «единстве организма и среды». Факты гибели организмов в неподходящих условиях и исторического вымирания видов свидетельствуют о том, что нередко между организмами и средой бывает не единство, а неразрешимое противоречие.

Особого внимания экологов заслуживает вопрос о характере изолированного и совокупного действия факторов. Как известно, это явления разные, но в исследовательской работе этому не всегда придается должное значение. В лабораторных экспериментах обычно изучается изолированное действие отдельных факторов на организм, тогда как в полевых условиях исследователь всегда имеет дело с организмом, испытывающим совокупное действие многих факторов. Разница между лабораторной и полевой работой биолога не только в том, что первая проще, а вторая сложнее. Принципиально невозможно переносить выводы, полученные при анализе влияния отдельных факторов на организм, на случаи, когда проявляется их комбинированное действие. Это доказывают многочисленные факты, известные гидробиологам, агрономам, физиологам и представителям других наук. Каждый знает, например, как различно действие температуры при ветре и без него, при малой и большой влажности и т. п. Урожайность полей, продукция водоемов опре-

\* Сообщение 1 опубликовано в «Известиях Сибирского отделения Академии наук СССР», № 8, 1959 г.

деляются не столько одним каким-то фактором, сколько совокупным действием ряда факторов.

Сказанное относится также к биотическим воздействиям. Влияние друг на друга организмов, ведущих одиночный образ жизни или обитающих в популяции разной плотности или, наконец, в сообществах с разными видами, будет резко различным.

По вопросу о роли перенаселенности в биологических явлениях в последние годы было много споров. Объективный анализ фактов показывает, что это явление не всеобщее, а возникает при некоторых специфических условиях (например, в изолированных местообитаниях) и ведет к угнетению подвергшихся ему организмов. Ошибочно приписывать перенаселенности прогрессивную роль в видообразовании.

Спорным в экологии является и вопрос о значении плодовитости. Многие биологи, во главе с Дарвином, считают, что плодовитость определяет геометрическую прогрессию размножения, перенаселенность и вытекающую отсюда борьбу за существование, особенно острую среди особой одного вида вследствие наличия у них сходных потребностей и недостатка условий существования. Приводятся подсчеты возможного роста численности организмов: от пары слонов через 750 лет получится 19 млн. слонов; одна инфузория, размножаясь беспрепятственно в течение 7 лет, может дать массу протоплазмы, в 10000 раз превышающую объем Земли, и т. д.

Но все подобные вычисления абстрактны и доказывают лишь, что в природе геометрической прогрессии размножения не существует. Возможность беспрепятственного размножения реализуется крайне редко, лишь в случаях попадания вида в новые и благоприятные для него местообитания, например, при колонизации или интродукции.

Еще А. Н. Бекетов [4] доказал прямую зависимость плодовитости от истребления. В этом истинный смысл большого количества яиц у животных и семян у растений. Это чувствовал уже и Дарвин, но в своей теории он исходил из противоположного предположения. Подлинная сущность мальтузианства и заключается в мысли о том, что плодовитость является источником бедствий для вида. На самом же деле плодовитость представляет собой одно из ведущих приспособлений вида [5], выработавшееся в процессе естественного отбора [6, 7].

Современная экология дает обширный материал в пользу того, что плодовитость является определенным приспособлением к выживанию. Этим объясняются различия в плодовитости разных видов: низкую имеют организмы с наибольшим выживанием потомства (при его охране, живорождении и т. п.), высокую — при малой выживаемости потомства (паразиты и т. п.). Различия в плодовитости внутривидовых форм также объясняются различным уровнем выживания потомства.

Много споров идет вокруг вопроса о причинах изреживания популяций с возрастом. Фитоценологи и лесоводы, наблюдая изреживание с годами древостоя, видят в этом доказательство наличия внутривидовой борьбы за существование. Если на гектаре имеется, например, 100000 всходов сосны, а с годами это количество будет уменьшаться, редеть и через 50 лет останется, допустим, 2000 деревьев, то все это априори, без исследования самого процесса изреживания, объявляется следствием конкурентных внутривидовых взаимоотношений. Т. Д. Лысенко [8], справедливо критикуя эту точку зрения как мальтузианскую, предложил объяснить данный процесс как самозреживание, т. е. в конечном счете с тех же односторонних позиций, имея в виду лишь внутривидовые отношения. Для такого объяснения нет объективных данных, и оно представляется мало убедительным.



Прежде всего следует сказать, что сам процесс сокращения численности особей с возрастом свойствен не только древесным породам или многолетним растениям — это общебиологическое явление. Мы знаем, что если осетр откладывает миллион икринок, то оплодотворены будут не все, а из оплодотворенных в течение первых дней многие погибнут от заплывания, сапролегнии, будут съедены разными рыбами и т. д. На протяжении последующих лет гибель от неблагоприятных абиотических и биотических воздействий будет продолжаться, но внутривидовые отношения будут иметь при этом самое минимальное значение. А в результате через 20—30 лет из миллиона осетровых икринок вырастет только несколько рыб.

Совершенно очевидно, что и процесс изреживания популяции многолетних растений связан не только с перенаселенностью как таковой (в жизни прикрепленных растений это явление играет большую роль, чем у подвижных животных), но с действием других разнообразнейших факторов. Семена, выпавшие на почву, неравноценны по своим качествам; прорастание начинается и происходит в разных условиях — более и менее благоприятных; ослабленные особи могут погибать от резких колебаний температуры, влажности и других факторов, они легче поддаются действию грибных заболеваний и различных паразитов; на разных этапах индивидуального развития подростка идет гибель отдельных растений от их объединения и поедки животными, под тяжестью снега и т. п.; могут иметь место и чисто случайные явления — удар в дерево молнии и т. д. В общем, действуют тысячи разнообразнейших причин, а результат — изреживание как общебиологическое явление, следствие комплекса неблагоприятных абиотических и биотических факторов.

И еще большой вопрос — какая популяция, плотная или редкая, представляет виду наилучшие условия жизни? По мнению ботаников, имеющих дело с прикрепленными растениями, последние якобы всю свою жизнь интенсивно борются с собратьями по виду, уничтожая друг друга и ведя изреживание популяций, которые так и не изреживаются. С этой точки зрения совершенно непонятно, как естественный отбор сохраняет вредное для вида свойство — его высокую плодовитость. Это в корне противоречит учению Дарвина, согласно которому естественный отбор действует лишь на пользу вида. По-видимому, имеющаяся плодовитость многолетних растений является минимальной и едва обеспечивает их выживаемость в условиях межвидовой борьбы за существование и действия неблагоприятных абиотических факторов.

Зоологи, имеющие дело в большинстве с подвижными животными, хорошо знают, что последние часто активно собираются в стаи, косяки, стада и т. п. образования, так как повышенная плотность популяции в известных условиях совершенно необходима для обеспечения жизни.

В общем каждый вид может нормально жить и развиваться лишь при определенном уровне численности и плотности популяции в конкретном биотопе, и вредным для вида является как недостаток, так и избыток особей.

При изучении действия факторов необходимо различать непосредственное влияние и последствие, которые могут быть резко различными, причем первое обычно является единичным (затрагивает отдельный вид), а второе становится всеобщим (изменяет весь биоценоз или всю природу на определенной территории, таковы результаты истребления и вселения видов, распашки целины, создания лесных массивов, осушения, строительства водохранилищ и т. п.).

Особо сложным является разграничение прямого и косвенного действия биотических и антропогенных факторов. Недостаточно четкое и

вдумчивое изучение относящихся к этой области закономерностей приводит к длительной и бесперспективной дискуссии по вопросу о так называемой внутривидовой конкуренции автотрофов из-за абиотических условий жизни.

Всходы растений могут страдать от затенения, происходящего, например, по трем следующим принципиально различным причинам: 1) наличие скалы, 2) присутствие разросшегося дерева и 3) построенный человеком навес. Некоторые биологи лишь первый случай относят к абиотическим факторам, второй рассматривают как пример внутривидовой или межвидовой борьбы, а третий причисляют к антропогенным факторам. Мы считаем подобный подход к разграничению факторов механистическим, субъективистским и антропоморфным (имеющим значение лишь с точки зрения человека, разграничивающего три группы факторов, но безразличным для организма, подвергающегося воздействию, которое в этих условиях качественно однопорядково).

Когда биологически изучается действие факторов, то значение имеет не причина, их породившая, а результат воздействия и ответная реакция организма. Совершенно одинаковый эффект воздействия разлива на животную и растительную жизнь будет наблюдаться в пойме реки, если на ней возникнет плотина вследствие ли естественного обвала берега или постройки ее бобрами или человеком: норы будут затопляться, наземные животные станут искать спасения на возвышенностях и т. п. Растения одинаково будут ощущать недостаток влаги в почве вследствие отсутствия дождя, влияния испарения (при наличии суховея или транспирации других растений), при понижении уровня грунтовых вод в результате лесопосадки, проведения дренажа и т. п., и т. д.

Очевидно, что во всех этих и многих подобных случаях нет совершенно никаких объективных оснований разграничивать здесь три принципиально различные группы факторов — абиотические, биотические и антропогенные. Во всех этих случаях мы видим лишь действие абиотических факторов (затенения, избытка и недостатка влаги и т. п.) и однопорядковую реакцию подвергшихся соответствующему воздействию организмов.

Прямое действие факторов на организмы всегда является специфическим. Так называемое косвенное действие факторов, осуществляемое через среду, является неспецифическим. Косвенное значение антропогенных воздействий заключается в изменении биотических и абиотических условий; косвенное влияние биотических факторов состоит в изменении ими абиотического режима. Абиотические факторы часто производят косвенное действие через другие абиотические условия (муть в воде уменьшает ее прозрачность, от температуры зависит относительная влажность воздуха и т. п.), но все эти явления остаются экологическими однопорядковыми — абиотическими.

Более сложные ступени факторов включают в себя в качестве косвенных влияний предыдущую ступень. Мы полагаем, что подобное разграничение основных групп факторов позволит глубже понять закономерности взаимоотношений организмов со средой и не смешивать причину со следствием, что, к сожалению, имеет место во многих современных экологических работах.

Абиотические воздействия на организмы могут быть трех родов: прямые и преобразованные человеком или прочими организмами; биотические воздействия — двух родов: прямые взаимоотношения организмов между собой и преобразованные человеком; наконец, антропогенные воздействия — одного рода: все прямые влияния человека на живую природу.

Подобное понимание закономерностей отношений организмов и среды позволяет нам найти пути к решению споров о внутривидовой конкуренции, о значении перенаселенности и т. п. Мы видим, что прямое и косвенное влияние абиотических факторов, имеющее решающее значение в жизни растений (меньшее — для животных), лежит за пределами собственно внутривидовых и межвидовых отношений. Настоящая внутривидовая конкуренция имеет меньшее значение в жизни автотрофных организмов и большее для гетеротрофов, у которых повышение плотности популяции будет обострять эти отношения.

Много дискуссионного существует в вопросе о внутривидовых и межвидовых отношениях организмов. Ч. Дарвин не видел между ними принципиальной разницы. Т. Д. Лысенко обратил на эту весьма важную проблему внимание и тем привлек экологов к ее разработке.

Внутривидовые и межвидовые отношения, освобожденные от закономерно присоединенных к ним явлений, связанных с влиянием абиотических факторов, приобретают большую четкость. Становится возможным более углубленное изучение и подразделение этих отношений. Биологи, относившие к биотическим факторам «конкуренцию» из-за недостатка абиотических факторов существования (которая одинакова между особями одного вида или разных видов), затушевывали вопрос о специфике внутривидовых и межвидовых отношений и тормозили его изучение.

Внутривидовые отношения возникают главным образом на почве размножения (отношения полов в процессе оплодотворения, половой отбор, забота о потомстве и т. п.); в меньшей степени они связаны с функциями питания (каннибализм, конкуренция гетеротрофов, паразитизм, «распределение пищи» у некоторых стадных животных и т. д.) и выделения (вред продуктов жизнедеятельности для особей своего вида). Для межвидовых отношений, напротив, характерны главным образом пищевые связи: хищничество, паразитизм, конкуренция, симбиоз и т. п., в меньшей степени — отношения на почве размножения: межвидовая и отдаленная гибридизация (естественная и искусственная). Эти вопросы требуют дальнейшего глубокого изучения и вскрытия специфики соответственных отношений у разных групп животных, растений и микроорганизмов в связи с особенностями их образа жизни и среды обитания.

Принципиальное значение имеет, наконец, вопрос о роли конкуренции между организмами. Некоторые склонны именно в конкуренции видеть движущий фактор развития, однако убедительных доказательств этому не приводят.

В советской биологической литературе достаточно широко и глубоко прошла дискуссия по вопросу о факторах исторического развития организмов, поэтому нет нужды останавливаться на нем подробно. Сторонники неодарвинизма видят источник развития в борьбе за существование, перенаселенности, внутривидовой конкуренции, последователи творческого дарвинизма — в изменении условий жизни и их ассимиляции организмами. Это две принципиально различные концепции, основывающиеся на разной методологии.

Если отбросить так называемую «конкуренцию», за которой, по существу, скрывается действие абиотических факторов, то окажется, что организмы изменяются именно под влиянием условий жизни. Однако сторонники неодарвинизма предпочитают их не видеть и продолжают говорить о имеющей якобы место конкуренции, хотя таковой фактически часто и нет.

Сделанная нами попытка расчленения факторов с учетом специфики их действия позволяет правильно оценить и значение явления конкурен-

ции, которое имеет более узкое распространение, чем полагали раньше, и потому не может рассматриваться в качестве основного источника эволюции. Дивергенция организмов нередко происходит помимо всякой конкуренции в результате прямого влияния среды и последующего отбора (например, образование крылатых и бескрылых форм насекомых на островах под влиянием действия ветра и т. п.). Совершенно ошибочно представление, что конкуренция является источником прогресса в живой природе. Напротив, она может вести к общему угнетению популяции, недоразвитию организмов, которые легче подвергнутся истреблению под влиянием неблагоприятных абиотических факторов и межвидовых отношений.

Конкуренция, усиливающаяся при перенаселении, как правило, обостряет и ускоряет действие тех или иных факторов, но не изменяет направления процессов изменения организмов, происходящих под общим влиянием условий жизни. В случаях культурного содержания организмов конкуренция может противодействовать стремлению человека получить высокую продуктивность животных и растений.

Термин «борьба за существование», которым слишком злоупотребляли в истории биологии, вкладывая в него различное содержание, лучше совершенно оставить, а если уж применять, то в более узком смысле — для характеристики определенной группы антагонистических (внутривидовых и главным образом межвидовых) отношений; необходимо совершенно исключить из него взаимоотношения с абиотическими факторами и явления взаимопомощи организмов, называть которые «борьбой за существование» противоречит здравому смыслу.

Таким образом, совокупное влияние условий жизни на организм и приспособление последнего к ним — таков путь исторического развития живой природы. Под этим углом зрения и должны изучаться закономерности взаимоотношений организмов со средой, исследованные еще очень слабо, познание которых имеет решающее значение для подлинного овладения человеком силами живой природы.

## БИОТОП И БИОЦЕНОЗ

Много спорного в экологии связано с понятием «биотоп» и «биоценоз». Среди зарубежных экологов распространены представления, что эти понятия не имеют никакого реального значения и в природе соответствующих им явлений не существует [9].

Для советских ученых не подлежит сомнению, что биотопы и биоценозы — реальные явления, и задача заключается в их всестороннем изучении и классифицировании с учетом специфики разных сред жизни и качественных особенностей отдельных групп организмов. В настоящее время существуют лишь частные классификации тех и других, выполненные с известными практическими целями.

Биотопы биоценозов и местообитания видов могут находиться между собой в разных соотношениях. Виды стенотопные, с узкими ареалами, могут быть обитателями всего одного биотопа, входя в состав соответствующего ему определенного биоценоза. В этом случае биотоп будет шире или равняться местообитанию. Напротив, виды эвриотопные с широкими ареалами могут быть обитателями нескольких биотопов, входя в состав разных биоценозов. В этом случае местообитание оказывается шире биотопа, включая в себя целиком или частью несколько их.

В природе биотоп, его биоценоз и местообитания составляющих последний видов сливаются воедино, но при изучении природного комплекса эти явления должны быть четко разграничены. Биоценозы — населе-

ние биотопов — характеризуются прежде всего своим видовым составом, численностью и биомассой особей и потому должны называться по преобладающим видам животных и растений [10]. Для биотопов характерна совокупность абиотических условий жизни, которая, например, в водоеме зависит от грунта, прозрачности, термичности, химизма и пр. Местобитания отдельных видов характеризуются физико-химическими особенностями, а также своим растительным и животным населением, которое по отношению к изучаемому виду входит в его среду обитания.

В биоценологии, особенно среди зарубежных экологов, еще распространены формалистические представления, опирающиеся на статистическое изучение состава биоценозов (перечень видов и численность особей) и механистическую идею относительно подвижного равновесия их состава (чередование максимумов и минимумов в численности хищника и его жертвы). Некоторые экологи, игнорируя конкретное влияние условий жизни на организмы, пытаются абстрактно-математически изучать закономерности динамики их численности.

Особо актуальной является в настоящее время критика таких течений в области биоценологии, как рещидив фитосоциологии, представление о биоценозе как организме высшего порядка, изолированное изучение растительных и животных ценозов и др.

В 20-х годах широкое распространение имели идеи фитосоциологии. Фитосоциологи механически переносили внешние социальные закономерности на растительные группировки. Некоторые из них проводили далеко идущие аналогии между законами человеческого общества и закономерностями в растительных группировках, не видя качественной специфики в социальных явлениях.

Биологи, овладевшие диалектическим материализмом, понимают всю абсурдность фитосоциологических идей, но в странах капитала последние продолжают жить и иногда в завуалированной форме проникают в советскую науку.

Другая группа извращений в области биоценологии связана с попыткой рассматривать биоценоз в качестве «организма высшего порядка».

Американский эколог Ф. Клементс [11] сравнивает биоценоз с организмом, а смену биоценозов во времени — явление сукцессии — с возрастными изменениями организма. По мнению этого автора, растительная формация, подобно организму, рождается, растет, созревает и умирает. Завершающая формация — климакс — своеобразная «конечная цель», к которой стремится в своем развитии ряд ассоциаций. Некоторые биологи, особенно фитоценологи, вслед за Клементсом до сих пор считают, что всякая сукцессия прогрессивна и происходит под влиянием причин внутренних, т. е. присущих самому биоценозу закономерностей развития. Этот взгляд отражает неверное представление о развитии организмов как якобы автогенетическом процессе и о биоценозе как особом организме.

Ф. Клементс и В. Шелфорд [12] рассматривают биоценоз как социальный, комплексный организм, который стоит в таком же отношении к отдельному растению или животному, как последние — к одноклеточным. Немецкий гидробиолог А. Тинеман [13] называет биоценоз организмом второго порядка, а совокупность биоценоза и биотопа, например, озеро, — организмом третьего порядка.

Несомненно, что такая точка зрения весьма далека от подлинной науки. В биоценозе нет такой интеграции, такого единства частей, которые являются неотъемлемым качеством всякого организма. Однако отголоски этих взглядов имеют место и среди части ученых СССР. Напри-

мер, некоторые думают, что биологию следует разделить на две частные дисциплины — биологию видов (идиобиологию) и биоценологию, в которой, как и в первой, можно выделить систематику, морфологию, физиологию и т. п. В. В. Алехин [14] говорит об этом применительно к растениям. Попытки выделения биоценологии (или фитоценологии) из экологии и их противопоставление в качестве самостоятельных дисциплин вытекает из этого же взгляда. Но такое противопоставление ошибочно, так как отдельный организм (или вид) и биоценоз не являются аналогичными явлениями.

Ошибочным направлением в биоценологии является попытка обособленного рассмотрения группировок растений, животных и их подразделение на еще более дробные ценозы (ихтиоценозы, энтомоценозы и т. п.). Особенно характерно это направление для ботаников, которые пытаются разрабатывать вопросы «фитоценологии» при полном игнорировании роли животных в биоценозе. «Зооценоз» и «фитоценоз» — это экологические абсурды, как говорит Д. Н. Кашкаров [15].

В природе животные и растения теснейшим образом между собой связаны совместным обитанием, пищевыми цепями, взаимообслуживанием в процессах размножения, расселения и т. п. Животные в конечном счете живут за счет растений, но и последние зависят от первых, хотя эта связь не всегда бросается в глаза. Животные являются не только необходимым звеном в общем круговороте веществ, необходимых для жизни растений, но и важным условием развития многих из них (энтомофилия, распространение семян и т. д.). Известна, например, роль кедровки в возобновлении кедра. Огромную роль играют животные в изменении почвенного и травяного покрова, в явлениях выедания растений, паразитизма на них и т. п.

Изучение биоценоза по самому существу дела не может быть ни ботаническим, ни зоологическим, а должно быть экологическим, т. е. комплексным, и охватывать все его члены в их взаимоотношениях. Лишь по методическим соображениям и принимая во внимание специализацию биологов, исследования часто приходится вести более узкие, изучая часть компонентов биоценоза.

Некоторые фитоценологи, например, С. Я. Соколов [16] допускают борьбу за существование не только между организмами, а также организмами и средой (в смысле Ч. Дарвина), но и между фитоценозами. Описывая «открытую» им межфитоценозную борьбу, названный автор говорит об «агрессивных и агрессивных» фитоценозах, о сфагновых болотах, надвигающихся на соседние луга, и т. п. От этих взглядов очень отдален и фитосоциологией, и представлением о фитоценозе как организме высшего порядка, а самое главное — реальными отношениями организмов между собой и со средой подменяются С. Я. Соколовым совершенно надуманной «межфитоценозной борьбой».

С нашей точки зрения, ошибочно также учение акад. В. Н. Сукачева о биогеоценозах. «Биогеоценоз — растительное сообщество (фитоценоз) вместе с населяющим его животным миром (зооценозом) и соответствующим участком земной поверхности с его особыми свойствами атмосферы (микроклимата), геологического строения, почвы и водного режима» [17].

Из приведенной формулировки может показаться, что В. Н. Сукачев устраняет ошибочность предыдущего направления, разрывающего биоценоз на зооценоз и фитоценоз, тем более, что автор учения о биогеоценозе подчеркивает связь и взаимообусловленность его компонентов. Однако по существу это учение искажает картину отношений организмов и среды. Л. Г. Раменский [18], А. И. Толмачев [19] и другие дали спра-

ведливую критику учения о биогеоценозе, охарактеризовав его как метафизическое и неправильно ориентирующее внимание исследователей.

Основным пороком этого учения является неверная трактовка отношений между организмами и последних со средой. Биогеоценоз рассматривается как комплекс, состоящий из фитоценоза, зооценоза и биотопа. Реальные разнообразные и перекрещивающиеся линии взаимоотношений организмов друг с другом и со средой обитания, что проявляется в определенном типе биоценоза, подменяются В. Н. Сукачевым искусственной группировкой этих отношений по принципу: растение с растением (образуется фитоценоз), животное с животным (возникает зооценоз), ценоз с ценозом (зооценоз квартирует внутри фитоценоза), наконец, ценозы с биотопом (как будто могут быть находящиеся вне биотопа биоценозы и самостоятельные существующие биотопы, лишённые организмов, вроде «лесного места» без деревьев).

Задачей советской биоценологии, как главы экологии, является преодоление указанных и ряда других неверных представлений и разработка учения о биоценозах с позиций диалектико-материалистических представлений о единстве организма с необходимыми условиями жизни.

Мы не можем согласиться с взглядами биологов, допускающих существование организмов вне биоценозов. В. Н. Сукачев и вслед за ним ряд ботаников принимают основным признаком всякого фитоценоза наличие борьбы за существование вследствие перенаселенности. Поэтому, по их мнению, «те растительные группировки, в которых растения растут столь разобщенно друг от друга, что между ними нет совершенно борьбы за существование, не могут называться фитоценозами» (Сукачев [20, стр. 11]). Н. П. Наумов [21] также допускает, что вследствие передвижений (например, вертикальных миграций планктона) или изменений активности (впадение в спячку, сон) те или иные виды животных на время исключаются из биоценоза.

Если встать на подобную точку зрения, то картина живой природы будет иметь весьма странный вид: одна часть организмов входит в состав биоценозов, а другая часть «выключена» из них, т. е. пребывает где-то вне биоценозов. Но где? Неужели можно всерьез полагать, что в пустыне с ее редкой растительностью или зимой с прекращением вегетации растений и впадением части животных в спячку биоценозы прекращают свое существование? Что же это за биоценоз и можно ли составить список входящих в него видов, если всякое заснувшее животное немедленно «выключается» из его состава?

Одна постановка этих вопросов заключает в себе отрицательную оценку рассматриваемого тезиса как совершенно схоластического. Выше мы говорили о неправильной трактовке вопросов, связанных с так называемой внутривидовой борьбой за существование, и потому это явление нельзя считать характерным признаком биоценоза.

Не подлежит сомнению, что биоценоз представляет собой группировку организмов, устойчивость которой находится в зависимости от стабильности условий жизни. Этим группировке могут быть свойственны закономерные суточные и сезонные изменения состава, обусловленные особенностями жизненного ритма входящих в нее организмов, различиями в их активности, продолжительности жизни и т. п. В связи с непрерывным изменением среды, условий существования происходит соответственное изменение видов и численности их населения, проявляющееся в историческом развитии биоценозов (их сукцессии). Климатика не может быть, так как развитие биоценозов не останавливается, но, напротив, всегда несколько отстает от идущего впереди изменения условий среды.

\*\*

Мы коснулись важнейших спорных вопросов современной экологии. Их правильное разрешение имеет существенное значение для будущего биологической науки и для развития ряда отраслей народного хозяйства, связанных с использованием ценных организмов или их свойств и с необходимостью уничтожения вредных.

Экология представляет одно из наиболее актуальных направлений в биологии XX в., которое призвано вскрывать специфические закономерности существования и развития организмов, проявляющиеся во взаимоотношениях их между собой и со средой.

Биохимия, биофизика, как и физиология или генетика, вскрывают закономерности лишь отдельных жизненных явлений. В названных дисциплинах большую роль играют физико-химические методы исследования и разложение жизненных процессов на составные физико-химические явления.

В отличие от них экология, изучая организмы, популяции и биоценозы в природе, выявляет специфические биологические закономерности, не сводимые к физико-химии. Однако этой исключительно сложной задаче экологии не уделяется должного внимания и не придается соответственного значения, и экология продолжает оставаться раздробленной на три формально самостоятельные науки — экологию животных, экологию растений и фитоценологию, что препятствует разрешению общих вопросов и проблем данной науки.

Дальнейшее развитие экологии связано с необходимостью синтеза ее составных частей и создания на их основе общей экологии. Рождению новой биологической науки в большой степени содействовало бы создание Института экологии и организация экологического журнала, проекты которых имелись еще в середине 30-х годов.

Мы полагаем, что Сибирское отделение АН СССР могло бы взяться за решение указанной задачи, так как это в сильной степени содействовало бы осуществлению директив XX съезда КПСС по освоению природных богатств Сибири и развитию науки и культуры на востоке нашей страны.

Томский государственный университет им. В. В. Куйбышева

Поступила в редакцию 20/XII 1957

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. Ф. Рулье, Общая зоология. Избранные биологические произведения, Изд. АН СССР, М., 1954.
2. И. М. Сеченов, Две заключительные лекции о значении так называемых растительных актов в животной жизни. Избранные произведения, т. 1, Изд. АН СССР, М., 1952.
3. Т. Д. Лысенко, О положении в биологической науке. Агробиология, Сельхозгиз, М., 1952.
4. А. Н. Бекетов, Гармония в природе. Русский вестник, т. 30, 1860.
5. Г. В. Никольский, О некоторых закономерностях динамики плодовитости рыб. Очерки по общим вопросам ихтиологии, Изд. АН СССР, М.—Л., 1953.
6. Б. Г. Иоганзен, О специфике внутривидовых отношений у животных. Третья экологическая конференция, Тезисы докладов, ч. 1, Изд. Киевского ун-та, 1954.
7. Б. Г. Иоганзен, Плодовитость рыб и определяющие ее факторы. Вопросы ихтиологии, вып. 3, 1955.
8. Т. Д. Лысенко, Естественный отбор и внутривидовая конкуренция. Агробиология, Сельхозгиз, М., 1952.
9. F. Reus, Auflösung der Begriffe «Biotop» und «Biozönose». Deutsche entomol. Zeitschrift, 1. № 3—5, 1954.

10. Б. Г. Иоганзен, О принципах выделения биоценозов бентоса. Заметки по фауне и флоре Сибири, вып. 18, Изд. Томского ун-та, 1955.
11. F. E. Clements, Plant succession and indicators. New York, 1928.
12. F. S. Clements, V. E. Shelford, Bio-Ecology. New York, 1939.
13. A. Thienemann, Der See als Lebensinheit. Naturwissenschaft, 27, 1925.
14. В. В. Алехин, География растений. Изд. «Сов. наука», М., 1944.
15. Д. Н. Кашкаров, Основы экологии животных. Учпедгиз, Л., 1944.
16. С. Я. Соколов, Типы борьбы за существование среди растений. Сб. «Академику В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения», Изд. АН СССР, М.—Л., 1956.
17. В. Н. Сукачев, Биогеоценоз. БСЭ, 2-е изд., т. 5, 1950.
18. Л. Г. Раменский, О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники. Бот. журнал, т. 37, № 2, 1952.
19. А. И. Толмачев, К вопросу о биогеоценологии. Журнал общей биологии, т. 14, № 4, 1953.
20. В. Н. Сукачев, Что такое фитоценоз? Сов. ботаника, № 5, 1934.
21. Н. П. Наумов, Экология животных. Изд. «Сов. наука», М., 1955.

А. Б. ГУКАСЯН

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА БОРЬБЫ С СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ В ТУВИНСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

Уничтожение сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschty.) — одна из основных проблем, стоящих перед лесным хозяйством Сибири. Широко распространенным методом борьбы с сибирским шелкопрядом является авиационная химическая борьба с помощью 5,5% и 10% дуста (ДДТ). Однако применение одних только химических средств не всегда дает желательные результаты и не может обеспечить полного прекращения массового распространения этого вредителя.

Последняя вспышка массового размножения сибирского шелкопряда охватила такую промадную территорию лесов Сибири — от Урала до Дальнего Востока, что заставила искать более радикальные методы борьбы с вредителем. Для этой цели в различных очагах его действия начали испытывать микробиологический метод борьбы, имеющий ряд преимуществ перед химическим, хотя последний и не исключается, если он хорошо разработан.

Идея использования микроорганизмов против насекомых-вредителей принадлежит выдающемуся русскому микробиологу И. И. Мечникову. Еще в 1879 г. он пытался применить зеленую мускардину для борьбы с личинками хлебного жука [1]. Эту идею Мечникова использовали в своих работах многие отечественные и зарубежные ученые (Поспелов, Красильщик, Метальников, Линдеман, Мережковский, Папо, Уайт, Бар, Туманов и др.); пытавшиеся вызывать искусственное заболевание многих вредных насекомых сельского хозяйства.

Мысль о возможном использовании болезнетворных микробов в качестве источника распространения инфекций среди насекомых-вредителей высказал в 1899 г. И. Мороз. В своей статье, опубликованной в «Лесопромышленном вестнике» по поводу гибели Иркутской тайги [2], он рекомендовал для содействия распространению «фляшерии» производить искусственное заражение здоровых гусениц уколом иглы, смоченной жидкостью из погибших экземпляров, или же создавать сопряженное большое число здоровых гусениц с зараженными или погибшими от «фляшерии», после чего выпускать их в незараженный очаг.

Инфекционные заболевания гусениц сибирского шелкопряда наблюдал в эти же годы И. В. Васильев. Он был свидетелем гибели гусениц в 1898 г. в Шадринской тайге (Иркутской губернии) от какой-то заразной болезни бактериального происхождения, по-видимому, «фляшерии». «Эпидемия была обнаружена, — пишет автор, — в середине июля после дождей, шедших почти непрерывно в течение недели, и проявлялась в том, что гусеницы делались вялыми и дряблыми, переставали есть и наконец погибали, повисая на хвое, ветвях и коре стволов.

При попытках снять с дерева труп какой-либо из погибших гусениц покровы ее рвались, и вытекала бурая, вонючая жидкость.

Особенно губительные последствия болезнь эта имела в садке, где в течение трех дней вымерло от фляшерии почти все население садка, состоящее, по крайней мере, из 200 гусениц [3].

Массовую гибель гусениц сибирского шелкопряда от инфекционных болезней бактериального происхождения в последующие годы отмечали многие исследователи — Д. Н. Флоров [4], Болдоруев [5], П. П. Окунев [6] и др., но возбудители этих болезней им не были известны. Впервые Е. В. Талалаевым в 1955 г. был выделен и описан один из возбудителей болезни сибирского шелкопряда (в лесах Иркутской области), названный им *Bacillus dendrolimus* T a l. [7, 8].

В 1956 г. в таежных лесах бассейна р. Чулым Томской области автор и Н. Г. Коломиец также были очевидцами массовой гибели гусениц сибирского шелкопряда от неизвестной инфекционной болезни [9, 10].

Из трупов погибших гусениц нами была выделена энтомопатогенная культура, которую условно назвали «Причулымский штамм» (*Bacillus* sp.). С этим штаммом в течение трех лет проводились полевые и лабораторные исследования в очагах массового размножения шелкопряда в Томской и Тувинской областях.

Целью нашей работы являлось выяснение эффективности применения микробиологического метода борьбы с сибирским шелкопрядом в естественных условиях леса с помощью «Причулымского штамма» как возбудителя болезни. Полевые испытания этого штамма проводились в очагах сибирского шелкопряда с мая по октябрь, причем как на сибирском шелкопряде, так и на других вредителях леса. В настоящей статье изложены лишь результаты опытов на сибирском шелкопряде.

За указанный срок было поставлено 24 варианта опыта с тремя повторностями. Для опытов были собраны в зеленых хвойных насаждениях гусеницы сибирского шелкопряда всех возрастов (с 1-го по 6-й), отличавшиеся хорошей упитанностью. Всего их использовано более 20 000.

При лабораторном испытании «Причулымского штамма» садочки, в которых были заключены подопытные гусеницы, разбивались на две группы — контрольные и опытные. В контрольных садочках гусениц кормили свежей хвоей с веток, принесенных из леса; в опытных садках им предлагался такой же корм, но смоченный взвесью культуры бактерии «Причулымского штамма». В лаборатории ежедневно производили трехкратный учет влажности и температуры воздуха.

Результаты лабораторных опытов по выкормке гусениц хвоей, зараженной культурой «Причулымского штамма», приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что в то время как развитие взрослых незараженных гусениц протекало до стадии бабочки нормально, лишь с небольшим отпадом, 97% зараженных гусениц погибли, не достигнув стадии куколки. Гусеницы же первого и второго возрастов погибли все.

Получив хорошие результаты в лабораторных условиях, мы перенесли испытание культуры на гусеницах в условия леса. В окрестностях г. Турана в Тувинской автономной области на склоне горы Хойбара было выбрано 20 деревьев, на которых насчитывалось около 15 000 гусениц вредителя. Опыт вначале проводился на гусеницах старших возрастов, а затем (вторая половина июля и августа) — младших (от 1-го до 3-го).

Хвойные деревья для каждого варианта опыта были выбраны одинакового возраста и однородного размещения. Энтомопатогенная культура в виде водной эмульсии питром 2 млрд клеток в 1 мл наносилась на деревья с помощью французского опрыскивателя. Контролем являлись

Таблица 1

Результаты выкормки гусениц сибирского шелкопряда хвоей, зараженной культурой «Причулымского штамма» (*Bacillus* sp.)

Группа	Возраст гусениц	К-во гусениц в опыте	Погибли в стадии гусениц	Остались живыми	Окуклились	Не прерывались в стадии куколки	Погибли в стадии куколки	Вышло бабочек	Процент гибели
Контрольная	VI, V	1000	120	880	800	80	50	750	17
	III	500	60	440	развитие шло нормально				
	II	500	45	455					
	I	500	85	415					
Опытная	VI, V	1000	820	180	170	10	150	20	97
	III	500	450	50					
	II	500	500	—					
	I	500	500	—					
Контрольная	VI, V	5000	200	4800	4500	300	200	4300	9—10
	III	1000	150	850					
	I, II	1000	300	700	развитие шло нормально				
Опытная	VI, V	5000	4000	1000	800	200	800	150	96—97
	III	1000	700	300					
	I, II	1000	1000	—					

окружающие деревья, которые опрыскивали обыкновенной речной водой. Учет павших гусениц производили ежедневно 3 раза в день. Из трупов павших гусениц вновь была выделена на МПА исходная культура, которой также производили заражение здоровых гусениц; исход был летальный — 97%.

Результаты опытов показали, что и в естественных условиях деятельность «Причулымского штамма» столь же эффективна, как и в лабораторных. Смертность вредителей составляла 96—97%. Необходимо отметить, что некоторая часть гусениц, готовясь к окукливанию, в это время не двигалась, не питалась хвоей и тем самым избежала заражения.

Большой интерес для нас представлял вопрос о сроке сохранения патогенности «Причулымского штамма» на хвое в отношении гусениц сибирского шелкопряда. Для выяснения его были выбраны в инфицированных очагах отдельные деревья пихты, кедра, сосны и лиственницы. На инфицированные в мае деревья выпускались гусеницы через определенные промежутки времени — 3, 6, 10, 15, 30, 60, 90, 120 дней. По гибели гусениц судили о сроке сохранения вирулентности на хвое. Наличие возбудителя «Причулымского штамма» на хвое проверяли методом посева инфицированной хвои на МПА с последующим заражением здоровых гусениц.

Заметное снижение вирулентности испытываемой культуры было отмечено на 30-й день, причем на различных породах деревьев неодинаковое: на пихте вирулентность снизилась на 60%, на кедре — 45%, сосне — 50%. Наиболее стойкой вирулентность «Причулымского штамма» оказалась на лиственнице: за 4 месяца она снизилась только на 30% (табл. 2).

Одним из важных вопросов разработки микробиологического метода борьбы с вредителями леса является выяснение возраста культуры, при котором она максимально проявляет свои физиологические свой-

Таблица 2

Сохранение вирулентности «Причудымского штамма» (*Bacillus* sp.) на хвое при однократном внесении инфекции (Томская область)

Порода деревьев	% гибели гусениц на различных деревьях хвой									
	Дни					Месяцы				
	3	6	10	15	30	2	2,5	3	3,5	4
Пихта	97	95	90	60	35	20	15	10	—	—
Кедр	96	96	87	70	50	40	35	30	25	—
Сосна	97	97	95	80	40	40	35	35	30	—
Лиственница	97	97	95	96	95	95	90	90	70	65
Ель	95	95	95	90	90	80	70	—	—	—

ства. Наши опыты, проведенные с испытуемой культурой различного возраста — 14, 16, 18, 24, 36, 48, 64, 96-часовой, — показали, что наилучший эффект получается от культуры, выращенной на МПА в течение 64 часов, в дозе 2 млрд бактериальных клеток в 1 мл жидкости.

При испытании культуры «Причудымского штамма» в полевых условиях была также отмечена зависимость эффективности ее действия от климатических условий и сроков применения. Во влажную погоду гибель гусениц составляет 97%, а в сухую 70—85%. При этом следует отметить, что в сухую жаркую погоду трупы погибших гусениц высыхают и плохо разлагаются. Процент гибели от вторичного инфицирования составлял в наших опытах 30—40%.

Наилучшие результаты дало применение культуры в конце мая — начале июня, т. е. в период выхода гусениц с зимовки, когда гибель вредителя составила 100%. Наоборот, в период ухода гусениц на зимовку (в октябре) процент гибели их был наименьший — 55—60%.

В заключение следует еще отметить, что из других насекомых к действию «Причудымского штамма» оказались весьма восприимчивыми гусеницы соснового бражника, непарного шелкопряда, совок, крапивницы, пилильщики, медведицы и дубоволистого шелкопряда.

### Выводы

1. «Причудымский штамм» (*Bacillus* sp.) следует считать одним из возбудителей болезни сибирского шелкопряда и некоторых других вредителей леса.

2. При опрыскивании хвой водной эмульсией «Причудымского штамма» смертность взрослых гусениц шелкопряда достигает 97%, в то время как химическая борьба при помощи дуста (ДДТ) с гусеницами такого возраста сильно затруднена.

Биологический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
28/V. 1959

### ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Мечников, Болезни личинок хлебного жука. Одесса, 1879.
2. И. Мороз, По поводу гибели Иркутской тайги. Лесопромышленный вестник, т. 51, 1899.
3. И. В. Васильев, Шелкопряды в лесах Иркутской губернии, по наблюдениям 1898 г. Изд. Мин-ва земл. и гос. имущ., Птб, 1899.
4. Д. Н. Флоров, Вредители сибирских лесов. Иркутск, 1948.
5. В. О. Болдоруев, Фенология сибирского шелкопряда в условиях Прибайкалья. Вестн. МГУ, сер. физ.-мат. и естеств. наук, вып. 3, № 5, 1956.

6. П. П. Окунев, Географическое распространение и зоны вредности сибирского шелкопряда. Сб. Географич. вопросы лесного х-ва, т. 5, Изд. АН СССР, М., 1955, т. 25, вып. 1, 1956.
8. Е. В. Талалаев, Бактериологический метод борьбы с сибирским шелкопрядом. Лесное хозяйство, № 1, 1957.
8. Е. В. Талалаев, Бактериологический метод борьбы с сибирским шелкопрядом. Лесное хозяйство, № 1, 1957.
9. А. Б. Гукасян, Инфекционные заболевания гусениц сибирского шелкопряда в Западной Сибири. Изв. АН СССР, сер. биол., № 2, 1958.
10. А. Б. Гукасян, Н. Г. Коломиец, Опыт использования шелкопрядной бактерии в борьбе с сибирским шелкопрядом. Лесное х-во, № 1, 1957.

Е. Х. ЗОЛОТАРЕВ

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О ПРИМЕНЕНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ НАПАДЕНИЯ ГНУСА И КЛЕЩЕЙ\*

Несколько лет назад, руководствуясь стремлением облегчить труд людей, осваивающих таежные просторы нашей Родины, коллектив ученых Московского университета начал работу по созданию эффективных средств индивидуальной защиты людей от гнуса и клещей. В последние два года эта работа (в содружестве с различными организациями) проводилась в Сибири и на Дальнем Востоке, т. е. в районах, для которых этот вопрос особо актуален. Его большое значение для Сибири и Дальнего Востока в полной мере осознается и руководством Сибирского отделения АН СССР, что нашло свое отражение даже в выступлении акад. М. А. Лаврентьева на XXI съезде КПСС.

Именно поэтому Московский университет недавно специально предложил свою помощь и творческое содружество Сибирскому отделению АН СССР в деле решения проблемы защиты людей от гнуса и клещей. Настоящий доклад коллектив ученых МГУ рассматривает как первый шаг к такому содружеству. В нем представлены результаты изыскания средств защиты от гнуса и клещей коллективом химиков и биологов МГУ, работающих под руководством А. Н. Терентьева и Н. П. Наумова, а также сведения об аналогичных исследованиях в других организациях Москвы.

\*\*

Для индивидуальной защиты людей от нападения и укусов гнуса и клещей в настоящее время используются средства механические, химические и комбинированные. К механическим средствам относятся сетки и разного рода защитная одежда, к химическим — различные вещества, отпугивающие гнуса и клещей, к комбинированным — импрегнированная химическими веществами рабочая одежда.

В качестве механических средств защиты людей от укусов гнуса давно используются различные типы головных мускитеров, а от укусов во время сна — полога.

В последние годы вследствие повышения заболеваемости весенне-летним энцефалитом, передаваемым таежными клещами, было предложено несколько новых противоклещевых комбинезонов. Последняя модель этого типа одежды, разработанная Институтом коммунальной гигиены и Центральным институтом малярии, медицинской паразитологии и гельминтологии Министерства здравоохранения СССР, испытывалась в 1958 г. в районе строительства Красноярской ГЭС, а также:

\* По материалам доклада в Постоянной координационной комиссии по проблеме борьбы с гнусом при Президиуме СОАН СССР, 21 апреля 1959 г.

использовалась нами для изучения эффективности противоклещевых репеллентов. Эти комбинезоны с принудительным капюшоном, по нашему мнению, сделаны неудачно. В них жарко и тяжело. К тому же они не исключают необходимости взаимосомотров, достаточно частое проведение которых уже само по себе является хорошей мерой профилактики от присасывания клещей.

Наибольшие надежды в области индивидуальной защиты людей от гнуса и клещей у нас и за границей связываются с разработкой высокоэффективных отпугивающих химических средств — репеллентов.

За границей особо широкий размах работа по созданию репеллентов приобрела в период второй мировой войны и в послевоенные годы. По американским данным, в США до интенсивных исследований военного времени против нападения кровососов существовало 4 стандартных репеллента: цитронелловое масло, диметилфталат, индалон и Руджерс 612 (т. е. 2-этилгександиол-1, 3). Цитронелловое масло как репеллент известно с 1901 г., диметилфталат — с 1929 г., Руджерс 612 — с 1935 г., индалон — с 1937 г. В начале второй мировой войны три последних репеллента были объединены в смесь и использовались в качестве стандартного военного репеллента в соотношении: 6 частей диметилфталата, 2 части Руджерс 612 и 2 части индалона.

Потребность в более эффективном репелленте послужила поводом для более интенсивных поисков новых химических средств индивидуальной защиты от гнуса. Эта работа в США была развернута главным образом в лаборатории Орландо Министерства земледелия США. Здесь между 1942 и 1947 гг. было испытано в указанных целях до 6000 веществ, а через десять лет, к 1956 г., их число достигло уже 20 000.

С методической стороны работа по созданию новых репеллентов пока еще не вышла из области эмпирических поисков лучших средств подобного рода среди большого числа веществ из различных классов химических соединений. Подбор ведется как по эффективности специфического действия вещества как репеллента, так и по безопасности его применения для человека. Соответственно, из упомянутых 20 000 испытанных химических средств индивидуальной защиты менее 10% обнаружили репеллентность не ниже принятого стандарта и только 3% были признаны безопасными для человека.

Практически же к 1956 г. в вооруженных силах США применяли всего два репеллента: 1) для нанесения на кожу — смесь М-2020, состоящую из 40% диметилфталата, 30% Руджерс 612 и 30% диметилкарбата (бицикло-(2.2.1)-5-гептен-2, 3-дикарбоновой кислоты, диметилловый эфир). Эта смесь защищает от укусов малярийных комаров 2 часа, от укусов лесных комаров и клещей 4 часа; 2) для импрегнации одежды — смесь М-1960, состоящую из 30% бензил-бензоата, 30% N-бутилацетанилида, 30% 2-бутил-2-этил-1,2-пропанэдиола и 10% «Tweep 80» (эмульгатор). Одежда, пропитанная из расчета 2 г на 1 кв. фут этой смесью, защищает человека в течение недели от нападения комаров, клещей и блох.

Для гражданского населения к 1956 г. в США продолжали считаться лучшими репеллентами индалон, диметилфталат и Руджерс 612. В самое последнее время в качестве особо эффективного репеллента против комаров, клещей, блох, москитов и других кровососов предлагается диэтилтолуамид, рекламируемый как средство, лучшее, чем все ранее существовавшие.

Кроме американских работ, наиболее серьезные усилия в области создания репеллентов делаются в Базеле (Швейцария) под руковод-



ством проф. Гейги. Здесь в Тропическом институте налажены синтез новых веществ и испытание их на специфическую активность и фармакологические особенности. В других западных странах используется главным образом опыт Америки и Швейцарии. Встречаются только отдельные работы (патенты) из Индии, Японии, Англии.

Вообще же репелленты в западных странах в последние годы прочно вошли в арсенал аптекарских товаров и имеются в продаже в довольно широком ассортименте и в весьма разнообразной расфасовке и оформлении.

Наиболее эффективными в качестве репеллентов следует считать вещества из трех классов органических соединений: спирты, главным образом 1; 3-гликоли, сложные эфиры и замещенные амиды. Последние, т. е. замещенные амиды, больше всего привлекают сейчас внимание химиков, особенно в Швейцарии в лаборатории Гейги. Препарат «КИК» Гейги содержит смесь N, N-диалкиламидов хлорбензойной кислоты. Очень интересными и перспективными являются диалкиламиды о-хлорбензилацетоуксусной кислоты.

У нас в Союзе работа по созданию химических средств индивидуальной защиты людей от гнуса и клещей только что начинается. Пока еще нет ни руководящего центра, ни сложившихся коллективов, разрабатывающих эту проблему. Синтезом и испытанием репеллентов, естественно, с учетом иностранного опыта занимаются в Московском университете, в Центральном институте малярии, медицинской паразитологии и гельминтологии, в Центральном дезинфекционном институте и в Институте удобрений и инсектофунгицидов. Кроме того, испытанием различных препаратов, приготовленных в этих организациях, занимаются коллективы паразитологов Института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалея, работники кафедр биологии различных медицинских институтов (Воронежского, Хабаровского и др.), а также кафедра биологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова в Ленинграде.

Усилия всех этих организаций пока еще не объединены, координация в их работе отсутствует, что иногда ведет к неоправданному дублированию исследований. Поэтому нам кажется вполне своевременным создание при Президиуме Сибирского отделения АН СССР постоянной координационной комиссии по проблеме борьбы с гнусом.

Отчеты о работах последних лет в области создания новых, высокоэффективных репеллентов только частично публикуются в печати и докладываются у нас на паразитологических совещаниях, эпизодически собираемых Министерством здравоохранения и Академией наук СССР. Большинство этих работ пока что не вышло за пределы поисков, и, как правило, сведения о веществах, испытывавшихся и не проявивших себя в качестве сколько-нибудь удовлетворительных репеллентов, не публикуются и вряд ли вообще будут опубликованы. Именно поэтому в данном сообщении мы сочли уместным собрать такие сведения от указанных выше организаций.

Оказалось, что у нас испытано в качестве репеллентов примерно по равному количеству веществ в МГУ, Центральном дезинфекционном институте и в Центральном институте малярии, медицинской паразитологии и гельминтологии.

Практически пока приходится иметь в виду лишь три препарата: диметилфталат, кюзол и ДИД.

Препарат кюзол создан коллективом ученых Московского университета в содружестве с различными медицинскими учреждениями и утвержден к применению Фармакологическим комитетом здравоохранения СССР 22/X 1958 г. Препарат ДИД приготовлен в Институте удобре-

ний и инсектофунгицидов и испытан как репеллент в Институте эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалея; он утвержден Фармакологическим комитетом 23/II 1959 г. Изучение этих двух препаратов, естественно, проводилось путем сравнения эффективности их действия с диметилфталатом в качестве эталона. Поэтому дальнейшее изложение их свойств будет в то же время и характеристикой этого, в настоящее время уже широко вошедшего в нашу практику средства индивидуальной защиты от гнуса.

Кюзол представляет собою 1-ацетил-1, 2, 3, 4-тетрагидрохинолин. Он был создан на основе изучения ряда других ацильных производных тетрагидрохинолина. Наиболее близок к кюзолу 1-формил-1, 2, 3, 4-тетрагидрохинолин.

Как репеллент кюзол изучен в лабораторных и полевых условиях пока в отношении блох, комаров *Aedes*, мошек, мокрецов и клещей *Ixodes persulcatus*, *I. ricinus*, *Haemophysalis concina*, *Dermacentor silvorum*. По силе отпугивающего действия на блох кюзол равен диметилфталату, но значительно превосходит его в отношении длительности защитного свойства пропитанной им ткани (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Коэффициенты отпугивающего действия кюзола и диметилфталата на *Xenopsylla cheopis* (20 мл/м<sup>2</sup> ткани, комн. температура, через сутки)

Вещество	Данные	
	МГУ	ЦИДИ
Кюзол	99	100
Диметилфталат	93	98

Таблица 2

Коэффициенты отпугивающего действия кюзола и диметилфталата в зависимости от срока хранения пропитанной ими бязи в условиях усиленного проветривания (испарения препарата)

Вещество	Срок хранения, сутки				
	1	2	8	22	36
Кюзол	98	98	93	91	66
Диметилфталат	52	42	0	—	—

Отпугивающее действие кюзола на комаров *Aedes* в 1957 г. университетом изучалось в Окском заповеднике, а ЦИДИ — в Астраханском заповеднике. Видовой состав, численность комаров и погода в этих местах испытаний были различными. В табл. 3 приводятся средние данные длительности защитного действия чистого вещества при нанесении на кожу (1—2 мл на руки).

Таблица 3

Защитное время (мин.) до первого укуса

Вещество	Защитное время (мин.) до первого укуса	
	Окский заповедник	Астраханский заповедник
Кюзол	690	254
Диметилфталат	250	44

Качество препарата как средства индивидуальной защиты от укусов комаров может быть охарактеризовано также и числом укусов после нанесения его на кожу (табл. 4).

Таблица 4

Среднее число укусов после нанесения вещества на кожу  
(Окский заповедник)

Вещество	Ч а с ы						
	1	2	3	4	5	6	7
Ацилтетрагидрохинолины	0	0	0	0	1,5	3	3,5
Диметилфталат	0	0	3	11	—	—	—

Продолжительность действия кюзолла, как и диметилфталата, зависит от температуры: с ее повышением срок защитного действия обоих веществ сокращается.

Наши наблюдения и данные ряда других исследователей говорят о том, что диметилфталат практически не может быть использован в качестве репеллента для защиты против клеща *I. persulcatus*. Напротив, кюзол оказался хорошим и длительно действующим средством защиты от этого вида клеща. Комбинезоны, пропитанные 200 г кюзолла, если их не стирать, сохраняют свои защитные свойства в течение двух и более месяцев, т. е. весь эпидемический сезон.

Ношение пропитанного кюзолом комбинезона, дополненное употреблением импрегнированной этим препаратом (20 мл/м<sup>2</sup>) сетки Павловского, надежно предохраняло человека не только от клещей, но и от укусов гнуса в лицо.\* Например, в условиях Калининской области число нападения мошек на незащищенного человека было 350—500 за 3 минуты, а в пропитанной кюзолом сетке Павловского — только 1.

Защита с помощью кюзолла от мокрецов изучалась в районе Кандалакшского залива Белого моря и в условиях Еврейской автономной области на Дальнем Востоке.

Широкое географическое испытание кюзолла в 1958 г., организованное и проведенное МГУ с участием медицинских учреждений в условиях Хабаровского и Красноярского краев, Кемеровской, Свердловской, Пермской и Калининской областей, подтвердило его высокие качества для индивидуальной защиты людей от гнуса и клещей. Особого внимания заслуживает работа, проведенная кафедрой биологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова в Ленинграде (Г. С. Первомайский и А. К. Шустров), где испытывалась эффективность кюзолла в виде мазей и брусков. В условиях Ленинградской области однократное смазывание кожных покровов мазью с кюзолом при отсутствии обильного потоотделения полностью защищало от укусов комаров в течение 12—14 часов. Однократное смазывание кожи кремом из диметилфталата или бруском индальона предохраняло от укусов только 4—6 часов. Сетки Павловского, натертые бруском с кюзолом, защищали от укусов комаров 15—18 дней.

Токсические свойства кюзолла изучались в Центральном дезинфекционном институте, который дал положительное заключение о возможности применения этого препарата в качестве репеллента при соблюдении предосторожностей в отношении попадания его в глаза.

Для производства кюзолла необходим хинолин из каменноугольной смолы, которая является отходом коксохимии. Гидрирование хинолина до тетрагидрохинолина с последующим ацелированием уксусным ангидридом и дает 1-ацетил-, 2, 3, 4-тетрагидрохинолин, т. е. кюзол. Технология этого процесса для заводских установок еще не разработана, главным образом по организационным причинам, что и является в настоящее

\* Через одежду, импрегнированную кюзолом, гнус вообще не кусает.

время основным тормозом для выпуска этого средства индивидуальной защиты людей от гнуса и клещей.

Препарат ДИД представляет собою смесь трех веществ: диметилфталата (75%), индальона (20%) и диметилкарбата (5%). Он является эффективным средством защиты против гнуса. В условиях лесной зоны средней полосы РСФСР при средней численности комаров, определяющейся 100 нападениями на обнаженную руку за 30 минут, продолжительность защитного действия препарата была не менее 8 часов, тогда как диметилфталат в этих условиях действовал не дольше 6 часов. Препарат ДИД можно использовать также для импрегнирования сеток Павловского. Как и диметилфталат, он малоэффективен в отношении клещей.

В настоящее время на основе диметилфталата налаживается выпуск крема «Тайга». Его эффективность в отношении гнуса несколько выше, чем диметилфталата, вследствие того, что кремы медленнее смываются с потом.

Приготовление кремов и препарата ДИД базируется на диметилфталате, которого наша промышленность для целей защиты людей от гнуса отпускает пока недостаточно. Объясняется это потребностью в нем народного хозяйства для других целей: в лако-красочной промышленности, при производстве пластмасс и т. д. Кроме того, сырье для диметилфталата (фталевый ангидрид) является дефицитным.

По данным Института удобрений и инсектофунгицидов (Н. Н. Мельников), особо перспективным по сырью представляется высокоэффективный американский репеллент широкого спектра действия диэтилтолуамид, получаемый из побочных продуктов производства синтетического волокна лавсана. Над его производством сейчас работает НИУИФ, а его испытания (при очень ограниченном количестве препарата) в 1958 г. проводились в Институте эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалея АМН СССР и в Центральном дезинфекционном институте Минздрава СССР.

Резюмируя все оказанное о более чем скромном у нас опыте применения средств индивидуальной защиты от нападения на людей гнуса и клещей, следует особо подчеркнуть две задачи: 1) скорейшее освоение производства для указанных целей уже апробированных средств — кюзолла и ДИДа, 2) всемерная интенсификация поисков новых препаратов с учетом конкретных сырьевых возможностей и особенностей биологии наших видов гнуса и клещей. В скорейшем решении обеих этих задач нуждаются многие миллионы советских людей — покорителей таежных просторов Сибири и Дальнего Востока, чей труд и здоровье во многом зависят от эффективности борьбы с бичом этих мест — гнусом и клещами. Сибирское отделение АН СССР, опираясь на помощь и содружество учреждений Центра, имеет все возможности и обязано возглавить работу по решению обеих этих задач.

Московский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
8/V 1959

В. П. ШАПОВАЛОВ

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ  
НА РАЗЛОЖЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ  
В ЧЕРНОЗЕМАХ СЕВЕРНОЙ КУЛУНДЫ**

Среди пахотных почв Северной Кулунды наиболее распространены легко- и среднесуглинистые маломощные южные черноземы. Они расположены на повышенных формах рельефа слабо волнистой Кулундинской равнины, причем на вершинах при этом обычно имеют более легкий механический состав, чем на склонах и равнинных участках.

Исследуемые почвы характеризуются следующими основными данными: мощность гумусового горизонта 18—20 см; гумусовые языки и затеки проникают до 35—45 см; глубина карбонатного горизонта в среднем 50—60 см; гумуса в верхнем слое содержится от 3,5 до 4,5%, азота 0,18—0,20%; соотношение С : N — в пределах 10.

Черноземы Северной Кулунды почти бесструктурны; водопрочных агрегатов размером 3—0,25 мм в верхнем слое старопашотных земель 20—22%, многолетней залежи — 45—48%; причем уже на второй год после распашки многолетней залежи количество водопрочных агрегатов резко снижается, а на третий год достигает уровня старопашки.

Резко засушливые условия, часто создающиеся в районах Северной Кулунды, заставляют предполагать слабую биологическую активность местных почв. Нами уже отмечался [1] низкий коэффициент увлажнения в Северной Кулунде; он находится в пределах 0,43 [2]. Это зона недостаточного увлажнения, где в почвах явно замедленный цикл процессов накопления — разложения органических веществ [3]. Кажется бы, что в таких условиях дернина целинных и залежных земель должна долго лежать в почве, не разлагаясь.

Однако интенсивность разложения растительных остатков подвержена резкому изменению в связи с изменением гидротермических условий. Она по-разному складывается в почве в разные годы и даже разные сезоны одного и того же года. Поскольку влага в почве чаще всего здесь находится в минимуме, она и является основным фактором, влияющим на интенсивность процессов разложения органических веществ. Температура почвы чаще всего в летний период остается в пределах, близких к оптимальным для этих процессов.

Мы уже обращали внимание [1] на высокую интенсивность разложения дернины многолетней залежи в 1954 г. и, наоборот, слабость этих процессов в 1955 г. Эти данные связывались нами с различными условиями увлажнения почвы в рассматриваемые годы. Как известно, лето 1954 г. в районах Северной Кулунды было более благоприятным по влажности, чем лето 1955 г. Так, по данным Купинской метеостанции Новосибирской области, осадков за вегетационный период (май—сентябрь) выпало в 1954 г. на 54 мм больше, а в 1955 г. на 52,8 мм меньше средней многолетней нормы за тот же период. Лето 1956 г. было также более благоприятным, чем лето 1955 г. За 5 летних месяцев 1956 г.

выпало осадков на 84,5 мм больше, чем за тот же период 1955 г. (табл. 1).

Таблица 1

годы	Количество осадков, мм					
	май	июнь	июль	август	сентябрь	сумма (май—сентябрь)
1938—1952 (средн.)	24,0	35,0	57,0	39,0	29,0	184,0
1954	39,0	83,0	43,0	11,0	62,0	238,0
1955	2,6	6,3	57,3	40,5	24,0	131,2
1956	51,6	52,4	23,9	76,5	11,3	215,7

В 1956 г. нами были заложены специальные полевые опыты, позволяющие выяснить зависимость интенсивности разложения растительных остатков (дернины) в почве от гидротермических условий. Мешочки из стеклянной ткани наполнялись одинаковым по весу количеством хорошо измельченной и перемешанной дернины многолетней залежи (предварительно отмытой от земли и просушенной до воздушно-сухого состояния). В мае эти мешочки были заложены в почву на глубину 20 см. Как известно, стеклянная ткань сама не подвергается разложению, но не препятствует, в силу своей пористости, контакту дернины с почвой. В этих условиях дернина, естественно, подвергалась воздействию почвенных микроорганизмов и разлагалась.

Четыре раза в течение лета — 9 июня, 11 июля, 19 августа и 13 сентября — мешочки извлекались из почвы (по 2 мешочка в каждый срок) и в них вновь определялся вес растительных остатков (после просушки до воздушно-сухого состояния). Уменьшение веса по сравнению с исходным указывало на количество разложившихся растительных остатков, а стало быть, и на интенсивность процессов разложения за этот период. В течение лета велись также наблюдения за температурой и влажностью почвы на глубине 5, 10, 15 и 20 см (влажность определялась и глубже 20 см). Температура фиксировалась 6 раз в сутки: в 4, 8, 12, 16, 20 и 24 часа.

Полученные данные (табл. 2) показали, что в течение мая (с 6 мая до 9 июня) разложения растительных остатков почти не происходило; количество их уменьшилось лишь на 0,23 г, или на 0,1%, от исходного.

Таблица 2

Динамика разложения растительных остатков в почве  
(Баганский совхоз, 1956 г.)

Заложено 6 мая		Осталось							
		к 9 июня		к 11 июля		к 19 августа		к 13 сентября	
г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
20,0	100	19,77	99,9	18,0	90,0	17,38	86,9	16,65	82,2

В этот период в почве было сравнительно много влаги (чему способствовали весенние дожди), но низкая температура, особенно в начале периода, затрудняла процессы разложения органических веществ (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Динамика влажности почвы (в % к весу почвы) на многолетней залежи третьего года пользования (Баганский совхоз, 1956 г.)

Слой почвы, см	17 мая	16 июня	16 июля	28 июля	12 августа	3 сентября
0—10	16,7	18,1	5,5	10,6	7,6	15,6
10—20	16,0	17,3	5,4	8,0	6,7	14,3
20—30	13,0	12,9	6,7	5,9	6,0	8,1
30—40	11,6	10,3	6,4	5,1	5,5	6,0

Таблица 4

Температура почвы, °С  
(Баганский совхоз, 1956 г.)

Глубина, см	Температура	Д е к л а д н											
		мая			июня			июля			августа		
		1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
15	Макс.	10,0	16,5	19,5	20,0	20,5	24,0	25,7	22,5	22,0	24,2	25,5	21,0
	Мин.	7,5	9,0	11,0	11,5	10,5	14,0	15,5	16,5	14,5	15,7	16,5	12,5
	Средн.	8,7	12,2	15,1	16,1	16,0	18,2	21,0	19,7	18,7	20,1	20,8	15,8
20	Макс.	11,5	13,0	17,5	16,5	17,0	21,0	23,0	20,5	20,0	21,5	22,5	19,0
	Мин.	7,0	8,5	10,0	9,5	11,5	13,5	16,5	17,5	15,5	16,7	17,3	31,0
	Средн.	7,6	10,7	14,0	14,4	15,2	16,9	19,9	18,9	18,2	19,1	20,1	15,9

В течение июня и начала июля (до 11/VII) интенсивность процессов разложения значительно возросла. Вес растительных остатков в мешочках уменьшился, как видно из табл. 2, на 10% от исходного. Этот период отличался хорошей влажностью почвы и высокими температурами (см. табл. 3 и 4). Влажность почвы в слое 10—20 см была 17,3% от веса почвы при коэффициенте завядания 11,9%, а температура на глубине 15 см колебалась от 11,5 до 25,7° и на глубине 20 см от 9,5 до 23°.

В третий период (с 11 июля до 19 августа) вес растительных остатков уменьшился на 3,1% от исходного; следовательно, разложение шло гораздо медленнее, чем в предыдущий период. Это замедление было вызвано резким снижением влажности почвы — до 5,4%, что значительно меньше «мертвого» запаса влаги. Температура же почвы находилась в пределах 18—20° (средние данные).

Несколько интенсивнее шло разложение растительных остатков в последующий период, с 19 августа до 13 сентября; в это время их вес уменьшился на 4,7% от исходного. Хотя к концу наблюдений температура почвы несколько снизилась (до 15,9—15,8°), условия разложения не ухудшились, а даже улучшились благодаря увеличению влажности почвы (выпали дожди).

Значительного качественного изменения дернины не установлено (велись только визуальные наблюдения); произошло лишь некоторое ее потемнение. Следует отметить, что и количественные изменения были небольшие: разложилось всего лишь 17,8% растительных остатков (хотя лето было сравнительно влажным). Объясняется это тем, что дернина в стеклянных мешочках была компактно уложена, не рассредоточе-

на в пахотном слое, в силу чего контакт ее с почвой был затруднен. Период наибольшей активности процессов разложения дернины (июнь) был одновременно и периодом наивысшей нитрификационной деятельности почвенных микроорганизмов. Как показывают наши данные (табл. 5), в это время в почве было максимальное количество нитратного азота. Так, в 1955 г. под пшеницей по залежному пару нитратного азота было в слое почвы 0—20 см в мае 11,7, в июне 54,8, в июле 44,5 и в августе 11,2 кг/га. В 1956 г. на том же участке под пшеницей по обороту пласта нитратного азота было соответственно: в мае 14,3, в июне 25,5, в июле 7,3 и в августе 22,4 кг/га; почти такое же его количество было и на старопахотном участке.

Таблица 5

Динамика нитратного азота в черноземах Северной Кулуиды (Баганский совхоз)

Год исследования и угодье	Глубина, см	Количество нитратного азота									Средн. из 5 сроков	
		19 мая		19 июня		9 июля		24 июля		13 августа		
		мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг		кг/га
1955 г., пшеница по залежному пару	0—10	4,8	5,8	21,3	25,8	14,9	17,9	17,9	21,7	7,6	9,2	21,6
	10—20	4,8	5,9	24,0	29,0	13,3	15,8	27,9	33,7	9,9	2,0	25,4
	0—20		11,7		54,8		33,7		55,4		11,2	47,0
1956 г., пшеница по обороту пласта	0—10	7,6	8,8	10,8	12,6	5,6	6,5	2,5	2,9	5,7	6,6	7,5
	10—20	3,7	5,5	10,9	12,9	10,8	12,8	2,2	2,5	13,3	15,8	9,9
	0—20		14,3		25,5		19,3		5,4		22,4	17,4
1956 г., пшеница по старопахотному участку	0—10	5,5	6,6	10,3	12,4	2,3	2,8	4,6	5,5	14,4	17,2	8,9
	10—20	8,8	10,5	14,9	17,7	2,0	2,3	6,2	7,4	16,6	19,8	11,5
	0—20		17,1		30,1		5,1		12,9		37,0	20,4

Кроме опытов с разложением дернины в стеклянных мешочках, нами проводились наблюдения за изменением количества растительных остатков в почве на старопахотных землях и на многолетней залежи при их обработке. Растительные остатки определялись по методике, описанной Н. А. Панковой (см. [4]).

Эти наблюдения показали, что растительных остатков в слое 0—40 см в многолетних залежах было в 1955 г. почти втрое больше (177,0 ц/га), чем в старопахотных землях (61,4 ц/га) (табл. 6). На многолетней залежи, поднятой весной 1954 г. на пар (отвальной вспашкой на глубину 20—22 см), растительных остатков в 1955 г. было 139,5 ц/га, т. е. в два раза больше, чем на старопахотке, но меньше, чем на необработанной залежи.

Таблица 6

Количество растительных остатков (ц/га) в почве на многолетней залежи и старопахотке (Баганский совхоз, 1955 г.; повторность 5—7-кратная)

Глубина, см	Необработанная многолетняя залежь	Залежь на 2-й год после обработки	Старопахотка
0—10	89,1	60,8	33,9
10—20	52,2	34,9	16,3
20—30	19,9	33,6	7,3
30—40	15,8	10,2	3,9
0—40	177,0	139,5	61,4

На третий год после подъема залежи, в 1956 г., растительных остатков в ней было уже почти столько же (86,65 ц/га в слое 0—30 см), как и на старопахке (77,07 ц/га) (табл. 7).

Таблица 7

Количество растительных остатков (ц/га) в почве на многолетней залежи и старопахке (Баганский совхоз, август 1956 г.)

Глубина, см	Старопахка	Многолетняя залежь на 3-й год после подъема пласта
0—10	33,82	37,88
10—20	28,40	30,58
20—30	14,85	18,19
0—30	77,07	86,65

Как показывают приведенные данные, дернина многолетней залежи в условиях Северной Кулунды почти полностью разлагается на третий год после подъема пласта. После этого по количеству растительных остатков (да и по другим свойствам) залежи уже мало отличаются от старопахотных земель.

### Выводы

1. Интенсивность разложения растительных остатков в почве находится в прямой зависимости от температуры и влажности почвы. В условиях Северной Кулунды решающим фактором в этом отношении является влажность почвы, поскольку она чаще всего находится в минимуме. Разложение дернины многолетней залежи шло гораздо активнее в благоприятных по влажности 1954 и 1956 гг., чем в засушливом 1955 г.

2. Как в 1955, так и в 1956 г. наивысшая активность разложения была в июне. В этот же период отмечался максимум накопления нитратного азота в почве.

3. Дернина многолетней залежи к концу третьего года после подъема пласта почти полностью разлагается, и после этого залежь по количеству растительных остатков (а также и по другим свойствам) уже почти не отличается от старопахотных земель.

Биологический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
17/V 1959

### ЛИТЕРАТУРА

- В. П. Шаповалов, Интенсивность разложения дернины многолетней залежи в условиях Северной Кулунды. Тр. Биолог. ин-та ЗСФАН СССР, вып. 3, Новосибирск, 1957.
- Н. Н. Иванов, Ландшафтно-климатические зоны земного шара. Зап. Всес. географ. об-ва, т. 1, нов. серия, Изд. АН СССР, М., 1948.
- М. М. Кононова, О характере циклов накопления — разложения органических веществ в травопольных севооборотах в различных почвенно-климатических условиях. Почвоведение, № 11, 1950.
- Агрохимические методы исследования почв. Изд. АН СССР, М., 1954.

А. И. СИДОРЕНКО

### МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КУЛУНДЫ

Неустойчивость урожаев сельскохозяйственных культур в Кулундинской степи связана главным образом с недостатком осадков, а также и неравномерным распределением их. Нередко Кулундинская степь подвергается жестокой засухе. С 1953 по 1957 г. Биологический институт ЗСФАН СССР организовал в этом районе комплексные исследования для установления оптимального режима влажности почвы в корнеобитаемом слое некоторых сельскохозяйственных растений при орошении. Наряду с другими задачами в настоящей работе была поставлена цель изучить видовой состав бактериальной флоры каштановых почв, а также влияние орошения и удобрений на важнейшие в агрономическом отношении физиологические группы почвенных микроорганизмов, принимающих деятельное участие в различных почвенных процессах азотфиксации, нитрификации, целлюлозоразрушения и т. п.

Наши исследования проводились в основном в 1957 г. на орошаемом участке-станции, организованном в Ключевском районе Алтайского края, относящемся к наиболее засушливым районам Кулундинской степи (видовой состав микроорганизмов определялся и в 1958 г.). Средняя годовая сумма осадков здесь, по многолетним данным Ключевской метеорологической станции, — 237 мм, а в год исследования — 267 мм. По данным В. П. Панфилова [1], пополнения влаги, израсходованной растением из верхних горизонтов, за счет капиллярного подтока грунтовых вод здесь не происходит, и, следовательно, только от атмосферных осадков зависит степень обеспеченности почвы влагой.

Почва участка, где проводились исследования, супесчаная, мало-мощная каштановая с 2,5—3% гумуса. Водно-физические свойства ее характеризуются такими показателями: объемный вес — 1,43—1,60, удельный вес — 2,62—2,63, влажность завядания — 2,8—3%, предельная полевая влагоемкость — 14—16% от веса почвы.

### Объекты и методы исследования

Анализировалась почва в опыте с яровой пшеницей, кукурузой и сахарной свеклой в следующих вариантах: 1) контроль без орошения и удобрения; 2) контроль без орошения с удобрением; 3) вегетационные поливы при 70% влаги от полевой влагоемкости, без удобрений; 4) вегетационные поливы при 70% влаги от полевой влагоемкости, с удобрением; 5) вегетационные поливы при 50% влаги от полевой влагоемкости, с удобрением. По данным В. П. Панфилова [1], водный режим почвы в 1957 г. на неорошаемых участках под яровой пшеницей и кукурузой был совершенно неблагоприятен. Наибольшие запасы доступной влаги, имевшиеся в почве с весны, были быстро использованы растениями и послед-

ние значительную часть вегетационного периода испытывали острый недостаток во влаге.

Под яровую пшеницу удобрения вносились в два срока: перед посевом — аммиачной селитры 0,5 ц/га и суперфосфата 1 ц/га и перед поливом в виде подкормки; в фазе трубкования — аммиачной селитры 1 ц/га и суперфосфата 2 ц/га. Для посева использовалась пшеница сорта альбидум 3700.

Под кукурузу вносились органические и минеральные удобрения также в два срока: одновременно с посевом, в лунку с семенами, — навоза 10 т/га и суперфосфата 2 ц/га и в период выметывания султанов перед поливом — аммиачной селитры 1 ц/га и суперфосфата 2 ц/га. Для посева был взят сорт Днепропетровский коллективный гибрид. Посев гнездовой 70 × 70 см, с оставлением в гнезде по 3 растения.

Под сахарную свеклу использовались минеральные удобрения. Одновременно с посевом в рядки с семенами комбинированной сеялкой вносилось по 1 ц/га суперфосфата, а в период интенсивного роста корня давалась подкормка перед поливом из расчета: аммиачной селитры — 0,5 ц/га и суперфосфата — 1,5 ц/га. Ширина междурядий 50 см. Сорт свеклы Р-1535.

В течение вегетационного периода учитывались спороносные и неспороносные формы бактерий, кокковидные формы, микобактерии, актиномицеты и микрококковые грибы. Наиболее подробно была изучена бактериальная флора и микобактерии. Изучались также основные физиологические группы микроорганизмов: азотфиксаторы (аэробы и анаэробы), нитрификаторы и целлюлозоразрушающие. Анализировалась почва междурядий вдали от корней и почва прикорневой зоны. Микробиологические анализы проводились по методике, принятой в отделе почвенных микроорганизмов Института микробиологии АН СССР. Количество микроорганизмов определялось методом разведения и пересчитывалось на 1 г абсолютно сухой почвы. В прикорневой зоне количество почвы в 1 г корней определялось по разности веса абсолютно сухих корней до отмыва и после отмыва в параллельной навеске. Определение видового состава проведено по определителю Н. А. Красильникова [2].

#### Микрофлора каштановых почв Кулундинской степи

Видовой состав бактериальной флоры, обнаруженной в каштановой почве, довольно разнообразен. Из спороносных форм семейства *Bacillaceae* выделено 7 видов рода *Bacillus* — *Bac. megatherium*, *Bac. mesentericus* — *subtilis*, *Bac. mesentericus niger*, *Bac. agglomeratus*, *Bac. oligonitrophilus*, *Bac. brevis*, *Bac. vitreus*. Интересно отметить, что 2 вида спороносных — *Bac. cereus* и *Bac. mycoides*, широко распространенные в среднемощных выщелоченных черноземах Западной Сибири, не обнаружены в каштановой почве Кулундинской степи. Из рода *Clostridium* выделен один вид — *Cl. Pasteurianum*.

Неспороносные бактерии семейства *Pseudomonadaceae* представлены в наибольшем числе. Из рода *Pseudomonas* выделено 18 видов — *Ps. denitrificans*, *Ps. nonliquefaciens*, *Ps. gracilis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. caesia*, *Ps. longa*, *Ps. mycophaga*, *Ps. scissa*, *Ps. effusa*, *Ps. herbicola*, *Ps. liquefaciens*, *Ps. aurantiaca*, *Ps. caudatus*, *Ps. pyocyanea*, *Ps. calcepraeicipitans*, *Ps. rubra*, *Ps. violacea*, *Ps. centrifugans*; из рода *Rhizobium* один вид — *Rh. meliloti*; из рода *Nitrosomonas* также один вид — *N. europaea*, из рода *Sulfomonas* два вида — *S. denitrificans* и *S. thiooxidans*. Из семейства *Bacteriaceae* выделено 3 вида рода *Bacterium* — *B. album*,

*B. nitrificans*, *B. cellaseum*, 5 видов рода *Chromobacterium* — *Chr. flavum*, *Chr. aurogenes*, *Chr. rheni*, *Chr. aurantiacum*, *Chr. denitrificans*, один вид рода *Azotobacter* — *A. chroococcum*; из бактерий, систематическое положение которых остается неясным, один вид — *Nitrobacter Winogradskyi*. Из семейства *Mycobacteriaceae* выделено 10 видов рода *Mycobacterium* — *M. globiforme*, *M. album*, *M. caesium*, *M. phlei*, *M. citreum*, *M. hyalinum*, *M. tumescens*, *M. luteum*, *M. mucosum*, *M. brevicale*. В меньшем количестве встречаются представители семейства *Coccaceae*: выделено два вида рода *Micrococcus* — *M. citreus* и *M. luteus* и один вид рода *Nitrosococcus* — *Nitrosococcus nitrosus*.

Численность микроорганизмов в каштановой почве Центральной Кулунды, несмотря на засушливость, довольно значительна (табл. 1) и

Таблица 1

Изменение численности микроорганизмов в каштановой почве Центральной Кулунды и ризосфере яровой пшеницы, кукурузы и сахарной свеклы под влиянием орошения и удобрений (в млн. на 1 г почвы)\*

Варианты опыта	Объекты исследования	Общее к-во микроорганизмов	Неспороносные бактерии	Микробактерии	Спороносные бактерии	Микрококки	Актиномицеты	
Неудобренный фон без орошения — контроль	Почва междурядий, глубина в см	0—5	3,0	0,7	0,5	0,9	0,1	0,8
		5—20	4,4	1,1	0,7	1,6	0,1	0,9
		20—40	2,7	0,9	0,2	1,1	0	0,5
Прикорневая почва	яровая пшеница	10,3	5,0	2,9	1,3	0,2	0,9	
	кукуруза	16,0	9,3	4,2	1,2	0,2	1,1	
Неудобренный фон с орошением 70% от полевой влагоемкости	Почва междурядий, глубина в см	0—5	24,2	8,3	5,7	7,7	0,1	2,4
		5—20	25,2	10,4	5,5	6,7	0,1	2,5
		20—40	14,9	1,1	2,2	10,6	0,02	1,0
Прикорневая почва	яровая пшеница	81,3	60,1	13,4	3,7	0,5	3,6	
	кукуруза	114,3	78,9	18,6	12,5	0,4	3,9	
	сахарная свекла	151,1	117,9	22,8	5,8	0,3	4,3	
Удобренный фон с орошением 70% от полевой влагоемкости	Почва междурядий, глубина в см	0—5	32,2	10,3	8,0	9,2	1,7	3,0
		5—20	44,5	19,6	10,2	10,6	0,2	3,9
		20—40	23,9	3,8	2,6	15,5	0,05	2,0
Прикорневая почва	яровая пшеница	156,7	106,2	31,6	12,9	0,4	5,6	
	кукуруза	206,6	156,8	32,6	10,1	0,5	5,7	
	сахарная свекла	261,6	207,5	43,6	4,8	0,8	4,9	

\* Средние данные из четырех сроков анализа в мае, июне, июле и августе.

достигает в междурядьях 4,4, а в прикорневой зоне растений 16,0 млн. в 1 г почвы. Преобладают спороносные и неспороносные формы бактерий, а также микобактерии и актиномицеты. Численность микроскопических грибов незначительна и составляет 1—2% от общего количества микроорганизмов. Микроскопические грибы представлены главным образом видами из рода *Mucor* и *Penicillium*.

Влияние удобрений на неорошаемом участке каштановой почвы мало сказалось на численности микрофлоры в почве междурядий и в прикорневой зоне яровой пшеницы и кукурузы, что связано с недостатком влаги, плохим развитием растений, а следовательно, и недостаточными корневыми выделениями. Орошение очень резко увеличило численность микроорганизмов в почве междурядий и в прикорневой зоне, особенно неспороносных бактерий из рода *Pseudomonas* и микобактерий. Исследования микрофлоры почвы орошенной и удобренной показывают (см. табл. 1, 3, 4), что в этих условиях наблюдается максимальное развитие почвенной и особенно прикорневой микрофлоры.

#### Изменение численности прикорневой микрофлоры с возрастом растений

В фазе всходов яровой пшеницы и кукурузы в прикорневой зоне растений численность и соотношение отдельных групп микроорганизмов мало чем отличаются от микрофлоры в почве междурядий. Объясняется это малой физиологической активностью растений и незначительным поступлением органических веществ через корневую систему всходов яровой пшеницы и кукурузы. Следовательно, не создаются условия для развития ризосферной микрофлоры. Иные результаты получены при исследовании прикорневой микрофлоры яровой пшеницы и кукурузы в фазе цветения, а сахарной свеклы — в фазе максимального смыкания листьев. Прикорневая микрофлора к этому времени резко изменяется в численности, а также и в соотношении групп микроорганизмов доминирующую роль приобретают неспороносные бактерии и микобактерии, которые, по-видимому, быстрее и полнее усваивают находящиеся здесь питательные вещества.

Избирательное действие растений на микрофлору обусловлено не только спецификой питательных веществ, выделяемых корневой системой, но и особыми антимикробными соединениями, что отмечалось нами ранее [3].

Зависимость развития прикорневой микрофлоры от возраста растений была подтверждена также в опыте, где на делянках с посевами кукурузы и сахарной свеклы было произведено подсаживание растений в более поздний срок. Во время цветения кукурузы подсаженные растения имели только 12-й лист. На делянке со свеклой в фазе максимального смыкания листьев подсаженные растения имели 4—6 пар листьев. В этот срок проследили за численностью прикорневой микрофлоры у названных растений. Как видно из табл. 2, усиленное развитие прикорневой микрофлоры и в этом опыте наблюдается в фазе наиболее интенсивной жизнедеятельности растений.

#### Микроорганизмы, участвующие в кругообороте азота

Содержание азота в почве зависит главным образом от биохимических реакций, протекающих в ней. Микроорганизмы, имеющие особое значение для динамики азота, широко представлены в исследуемых почвах. В большом количестве нами обнаружены микроорга-

Таблица 2  
Численность микрофлоры в ризосфере кукурузы и сахарной свеклы в зависимости от фаз их развития

Растения	Фазы роста	Всего микро- организмов	В т. ч. неспоронос- ных бактерий	Азотобак- тер, % про- росших крупнокок	<i>Clostridium</i> <i>Pasteuri-</i> <i>anum</i>	Нитрифи- каторы
		млн.	в 1 г почв.			
Сахарная свекла	4 пары листьев	30,1	18,6	6	0,01	0,01
	Максималь- ное смыкание листьев	635,3	473,2	81	0,0001	0,01
Кукуруза	12-й лист	36,4	21,4	8	0,01	0,01
	Цветение	577,3	446,8	87	0,0001	0,0001
Почва междурядий, 0—30 см		39,2	6,9	32	0,001	0,000001

низмы, усваивающие атмосферный азот, — клубеньковые бактерии (*Rhizobium*). Из корней люцерны, встречавшейся в большом количестве на участках, расположенных рядом с опытными, были изолированы клубеньки, содержание которых высевалось нами на питательную среду, и таким путем определялись виды микроорганизмов.

В наибольшей мере изучено распространение в почвах Алтая и Сибири свободно живущего азотфиксатора-азотобактера. Н. Н. Сушкина [4] приводит данные о нахождении ею азотобактера в каштановых почвах Кулундинской степи только на орошаемых участках. Г. Н. Блишков [5] встречал его в каштановых почвах без орошения. Наиболее подробно распространение азотобактера в каштановых почвах Центральной Кулунды исследовано М. Г. Дегтяревой [6]. Она, испытав разные методы, пришла к выводу, что азотобактер в этих почвах встречается постоянно, но имеет слабое развитие, а азотфиксирующая способность выделенных штаммов невысокая. Орошение и фосфорные удобрения, по ее данным, благоприятно влияют на его развитие и азотфиксирующую способность.

Нами азотобактер был обнаружен в почве междурядий и в прикорневой зоне яровой пшеницы и кукурузы на неорошаемых участках только в весенний период. На орошаемых участках он в значительных количествах встречался также в летних и осенних пробах, причем численность его на орошаемых и удобренных участках в ряде случаев была в 10—20 раз больше. Особенно активно азотобактер развивался на этих участках в прикорневой почве кукурузы и сахарной свеклы (табл. 3).

Анаэробный, свободно живущий *Clostridium Pasteurianum* также широко представлен в данной почве и хорошо развивается в прикорневой зоне яровой пшеницы, кукурузы и сахарной свеклы. Титр его 0,01—0,001. Влияние удобрения на неорошаемом участке сказалось только в осенний период. На орошаемых же участках титр его несколько выше и достигает 0,0001, интенсивнее здесь и его жизнедеятельность, о чем мы судили по активному газовыделению. Особенно ярко это отмечалось в прикорневой почве кукурузы и сахарной свеклы в вариантах с удобрением и орошением.

Таблица 3

Численность нитрифицирующих и азотфиксирующих микроорганизмов в почве в опытах 1957 г.

Варианты опыта	Объекты исследования		Нитрификаторы	<i>Clostridium, Pasteurianum</i>	% крупнок почвы, давших развитие азотобактера
			по титру		
Неудобренный фон без орошения	Почва между рядов, глубина в см	0-5	10-2	10-1-10-2	0-2
		5-20	10-2-10-3	10-2-10-3	0-2
		20-40	10-1	10-2-10-3	0
	Прикорневая почва	яровая пшеница	10-1-10-2	10-2-10-3	0-1
кукуруза		10-1-10-2	10-2-10-3	0-2	
Удобренный фон без орошения	Почва между рядов, глубина в см	0-5	10-2	10-2	0-4
		5-20	10-2-10-4	10-2-10-3	0-3
		20-40	10-1-10-2	10-2-10-3	0
	Прикорневая почва	яровая пшеница	10-1-10-2	10-2-10-3	0-1
кукуруза		10-1-10-2	10-2-10-3	0-2	
Неудобренный фон с орошением 70% от полевой влагоемкости	Почва между рядов, глубина в см	0-5	10-3-10-6	10-2	2-36
		5-20	10-4-10-6	10-2-10-4	4-49
		20-40	10-3-10-4	10-2-10-3	0-14
	Прикорневая почва	яровая пшеница	10-1-10-3	10-3	1-10
кукуруза		10-2-10-3	10-2-10-3	3-6	
сах. свекла		10-1-10-2	10-2-10-3	4-64	

Обнаружена значительная численность бактерий *Nitrosomonas*, окисляющих аммиак до нитритов, и *Nitrobacter*, окисляющих нитриты до нитратов и получающих исключительно за счет окисления необходимую им жизненную энергию. Е. Н. Мишустин [7] коррелятивно связывает размножение спорообразующих форм бактерий с напряженностью микробиологических процессов в почве. Он считает, что при достаточном объеме и интенсивности распада органического вещества в почве нитрифицирующие бактерии получают необходимое количество аммиака, служащего для них источником энергии и питания. Он установил, что активный нитрификационный процесс совпадает с размножением в почве *Bac. megatherium* и *Bac. mesentericus*. Эта закономерность наблюдается и в исследуемых почвах. Наблюдаемое агрохимиками [8] исчезновение нитратов на орошаемых участках данных почв, несомненно, связано с их вымыванием, так как численность нитрификаторов после орошения резко возрастает. В прикорневой зоне титр нитрификаторов был несколько ниже, чем в почве между рядов (см. табл. 3). Численность нитрификаторов при орошении также более интенсивно возрастала в почве между рядов. Удобрение оказало положительное действие на нитрифицирующие бактерии только на орошаемых участках.

Как уже говорилось, в каштановой почве выделено большое количество азотообразующих бактерий семейства *Pseudomonadaceae*, разлагающих азотистые органические соединения, а также восстанавливающих нитраты до нитритов, а иногда до аммиака и способных использовать окисленные формы азота в качестве источника кислорода. Встречаются и бактерии из рода *Sulfomonas*, восстанавливающие

нитраты и окисляющие при этом серу. Большинство выделенных бактерий обладает способностью превращать аммиак в органический азот и наоборот.

## Целлюлозоразрушающие микроорганизмы

В каштановой почве Центральной Кулунды в значительном количестве представлены целлюлозоразрушающие микроорганизмы. При оценке мобилизационных процессов в почве они являются очень важным показателем. Кроме общей их численности, мы учитывали также и групповой их состав. Больше всего их обнаружено в верхнем слое почвы (0-20 см), в нижележащих слоях число их резко снижается. Такая закономерность характерна для всех сроков наблюдений (весна, лето и осень). В орошаемых почвах их активная деятельность усиливается в пахотном и подпахотном слоях. В исследуемых почвах участие в целлюлозоразрушении принимают бактерии, микроскопические грибы и актиномицеты. В большинстве случаев при интенсификации их деятельности соотношение числа бактерий и актиномицетов несколько возрастает в пользу бактерий, но особенно резко это сказывается при орошении. На орошаемых участках численность бактериальной флоры, принимающей участие в целлюлозоразрушении, резко возрастает, численность же грибов и актиномицетов изменяется в меньшей степени. Особенно резко возросла численность бактериальной флоры в варианте опыта, где применялись совместно удобрения и орошение (70% от полевой влагоемкости). Все эти данные о развитии целлюлозоразрушающих микроорганизмов убедительно показывают усиление мобилизационных процессов при орошении каштановой почвы в условиях Центральной Кулунды (табл. 4).

Таблица 4

Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов в почве в опытах 1957 г. (в тыс. на 1 г почвы)

Варианты опыта	Глубина взятия проб, см	Количество микроорганизмов			
		общее	в том числе		
			бактерий	грибов	актиномицетов
Неудобренный фон без орошения — контроль	0-5	8-34	6-27	0-3	2-4
	5-20	18-46	16-38	0-3	2-5
	20-40	2-4	0-1	1	1-2
Удобренный фон без орошения — контроль	0-5	17-28	10-19	2-3	4-6
	5-20	23-47	18-37	2-3	3-8
	20-40	2-4	0-1	0-1	1-2
Неудобренный фон с орошением 70% от полевой влагоемкости	0-5	102-220	78-202	3-8	10-20
	5-20	135-396	113-367	3-11	16-19
	20-40	10-14	4-7	2-3	3-5
Удобренный фон с орошением 70% от полевой влагоемкости	0-5	181-534	164-501	3-11	14-29
	5-20	610-1373	584-1336	8-9	15-37
	20-40	19-24	9-12	4-6	4-7
Удобренный фон с орошением 50% от полевой влагоемкости	0-5	71-212	41-180	2-9	11-23
	5-20	193-378	170-334	6-13	16-31
	20-40	14-25	4-16	3-8	3-5

Ввиду того, что благоприятные по осадкам годы здесь бывают редко и в большинстве случаев они сменяются засушливыми, важным средством преодоления засухи в этом районе является искусственное орошение. Оно снижает как почвенную, так и воздушную засуху в зоне



действия так называемого микроклимата (фитоклимата), резко усиливает развитие почвенной микрофлоры и позволяет получать гарантированный высокий урожай всех сельскохозяйственных культур в любой год.

В 1957 г. на контрольных делянках (удобренной и неудобренной) получен урожай яровой пшеницы 4,7 ц/га, кукурузы — 130—137 ц/га силосной массы (в том числе 61—79 ц/га початков), сахарная свекла погибла; при орошении на удобренном фоне яровой пшеницы получено 26,1 ц/га, кукурузы — 286 ц/га силосной массы (в том числе 126 ц/га початков), а урожай корней сахарной свеклы достигал 367 ц/га корней [9].

В связи с этим в Кулундинской степи уже в настоящее время необходимо использовать для орошения полей в наибольшей степени подземные воды и воды местного стока, а в дальнейшем воды Оби и Иртыша.

#### Выводы

1. Произведено определение видового состава микрофлоры каштановых почв Кулундинской степи. Всего представлено 52 вида, в том числе из семейств *Bacillaceae* — 8 видов; *Pseudomonadaceae* — 21, *Bacteriaceae* — 10, *Mycobacteriaceae* — 10, *Coccaceae* — 3.

2. Показано, что орошение, особенно с применением удобрений, резко увеличивает численность общей микрофлоры, а также развитие важных в агрономическом отношении азотфиксирующих, нитрифицирующих и целлюлозоразрушающих групп почвенных микроорганизмов.

3. Установлена наибольшая численность прикорневой микрофлоры у яровой пшеницы в фазе колошения, у кукурузы — в фазе выметывания султана и цветения, у сахарной свеклы — при максимальном смыкании листьев.

4. Полученные материалы подтверждают положение о неразрывной связи деятельности почвенных микроорганизмов с плодородием почвы. Воздействуя при помощи орошения и удобрения на биодинамику каштановой почвы, можно эффективно изменять ее плодородие.

Биологический институт  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
14/V 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Панфилов, Динамика водного режима на орошаемом участке в Кулунде. Тр. Биол. ин-та СОАН СССР, вып. 4. Новосибирск, 1959.
2. Н. А. Красильников, Определитель бактерий и актиномицетов. М., 1949.
3. А. И. Сидоренко, Развитие азотобактера в ризосфере с.-х. растений. Микробиология, т. IX, вып. 2, 1940.
4. Н. Н. Сушкина, Эколого-географическое распространение азотобактера в почвах СССР. М., 1949.
5. Г. Н. Блинов, О распространении азотобактера в почвах Сибири. Тр. Томского ун-та, 1954.
6. М. Г. Дегтярева, Влияние орошения и минеральных удобрений на распространение и азотфиксирующую активность азотобактера в каштановой почве Кулундинской степи. Тр. Биол. ин-та СОАН СССР, вып. 4. Новосибирск, 1959.
7. Е. Н. Мишустин, В. А. Миризоева, Соотношение основных групп микроорганизмов в почвах разных типов. Почвоведение, № 6, 1953.
8. В. С. Бойко, Динамика режима питательных веществ при орошении темнокаштановых почв Кулундинской степи. Тр. Биол. ин-та СОАН СССР, вып. 4. Новосибирск, 1959.
9. И. Н. Шабалин, Биологические основы установления рационального водного и пищевого режима с.-х. культур при орошении в Кулундинской степи. Тр. Биол. ин-та СОАН СССР, вып. 4. Новосибирск, 1959.

Л. П. ТАРБАЕВА

### БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РОСТОМ И РАЗВИТИЕМ БАХЧЕВЫХ В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКА

Дыни и арбузы как десертный продукт питания находят большой спрос у жителей городов Сибири. Потребность в плодах бахчевых частично удовлетворяется благодаря завозу их из Средней Азии, а иногда даже из Астрахани. А между тем, есть полная возможность сократить ввоз бахчевых путем выращивания их в южных районах Алтайского края и Новосибирской области (Кулундинская степь). Климатические условия здесь вполне благоприятны для выращивания бахчевых культур даже посевом семян в грунт, так как, несмотря на ограниченный вегетационный период, по количеству тепла и числу часов солнечного сияния эти районы приравниваются к южным районам Европейской части Советского Союза. Но в годы с прохладным летом большая часть плодов дынь и арбузов не вызревает. При таких условиях необходимо разработать агротехнические мероприятия, направленные на сохранение растений от пониженных температур. Повышение устойчивости к низким температурам явится одним из решающих условий получения высоких урожаев. Для решения этих задач необходимо знание биологии дынь и арбузов.

До последнего времени о росте и развитии растений можно было судить только по фенологическим наблюдениям, которые не всегда давали ясную картину поведения их в зависимости от агротехнических и почвенно-климатических особенностей.

Для более глубокого изучения природы растений был принят метод биологического контроля. Для зерновых, зернобобовых и многолетних трав его использовали Ф. М. Кулерман [1], Е. И. Ржанова и Г. Э. Кавац [2], С. Праксин и М. Рыбакова [3].

Реже этот метод используется при изучении биологии овощных культур. А. В. Алпатьев и И. В. Полумордвинова [4], Е. А. Атабекян [5], О. А. Зауралов [6], С. Ф. Ващенко [7], И. Н. Львова и И. Сакович [8], Н. Т. Скворцова [9] применяли его для определения завершения стадий и фаз развития у томатов, перцев, огурцов.

Нами метод биологического контроля использовался при изучении особенностей роста и развития дыни Алтайской и арбуза Стокс в условиях Новосибирской области.

Опыты проводились в Центральном сибирском ботаническом саду в течение 3 лет (1956—1958 гг.). Морфологический анализ конусов нарастания основной и боковой плетей проводился через каждые 5 дней в течение всего вегетационного периода. Систематическое наблюдение за ростом и развитием дынь и арбузов позволило выявить некоторые закономерности в их росте и развитии и установить следующие этапы органогенеза.

## Этапы органогенеза дыни Алтайской

Первый этап органогенеза начинается еще в период наклевывания семян. В это время конус нарастания состоит из первого и второго зачаточных листьев и нескольких бугорков. В фазе семядольных листьев хорошо заметны третий и четвертый настоящие листья, а также несколько бугорков и валиков. Начинается дифференциация конуса нарастания в пазухе второго листа (II этап органогенеза).

На 10—14-й день от всходов идет дальнейшее формирование зачаточных листьев и увеличение бугорков и листовых валиков (III этап органогенеза).

В период появления первого настоящего листа (на 15—18-й день от всходов) удается заметить 8—9 зачаточных листьев (IV этап органогенеза, рис. 1, IV). В их пазухах начинается закладка ростовых почек будущих побегов первого порядка и мужских цветков в зачаточном состоянии, которые напоминают форму воронки (рис. 2, I).

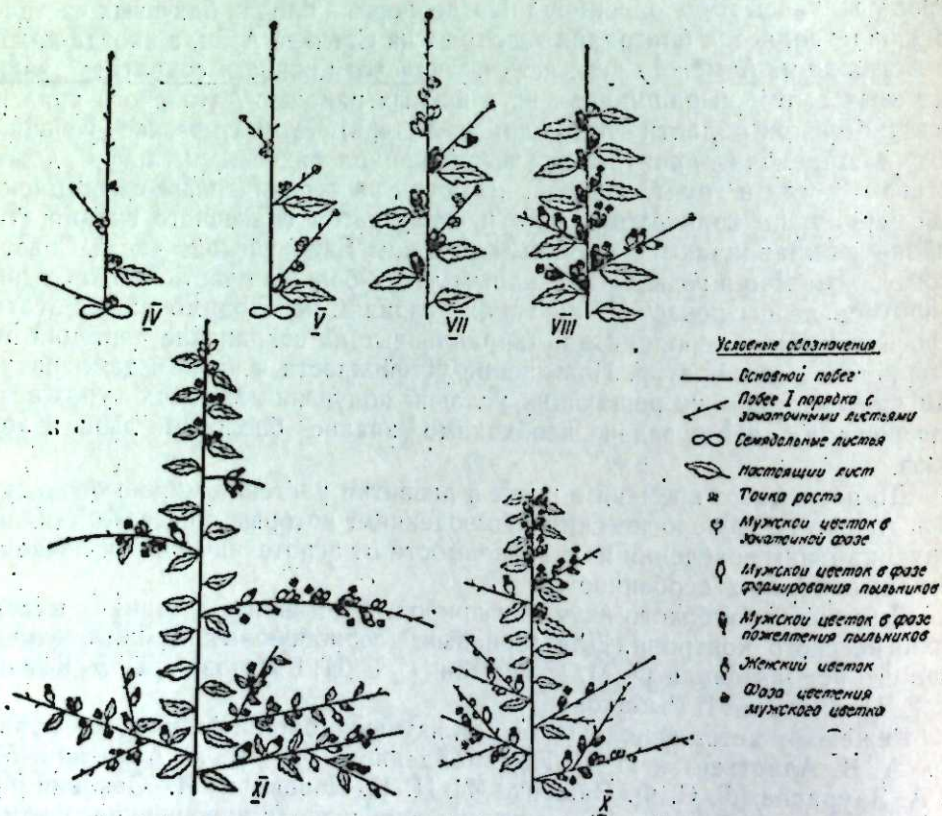


Рис. 1. Этапы органогенеза дыни Алтайской (данные 1956 г.).

Пятый этап органогенеза наступает на 25—30-й день от всходов. Растение имеет 2—3 развернутых и 5—10 зачаточных листьев (рис. 1, V). В пазухе первого листа хорошо заметны мужские цветки в фазе формирования пыльников (рис. 2, II). Кроме цветков, в пазухах первого, второго и третьего листьев идет формирование боковых побегов первого порядка, состоящих из 3—5 зачаточных листьев, в пазухах которых начинается образование мужских цветков. За короткий промежуток времени они изменяются (рис. 2, III). Пыльники приобретают петлеобразно изогнутую форму. Отдельные тычиночные нити окрашиваются в желтый

цвет. Начинается формирование пыльцы. Заметны опушенные чашелистики и лепестки цветка (VI этап органогенеза).

Седьмой этап органогенеза начинается на 35—37-й день от всходов (рис. 1, VII). В это время происходит дальнейший рост основного побега, имеющего 5—6 развернутых и 11—13 зачаточных листьев. В пазухе второго и третьего листа мужские цветки находятся в фазе окончательного пожелтения пыльников и начала формирования пыльцы в них (рис. 2, IV). В дальнейшем мужские цветки переходят в фазу бутона (рис. 2, V). На боковых побегах начинают появляться женские цветки в зачаточном состоянии (рис. 3, I). У них хорошо выражена завязь, в верхнем конце которой едва заметен небольшой бугорок — будущее рыльце пестика.

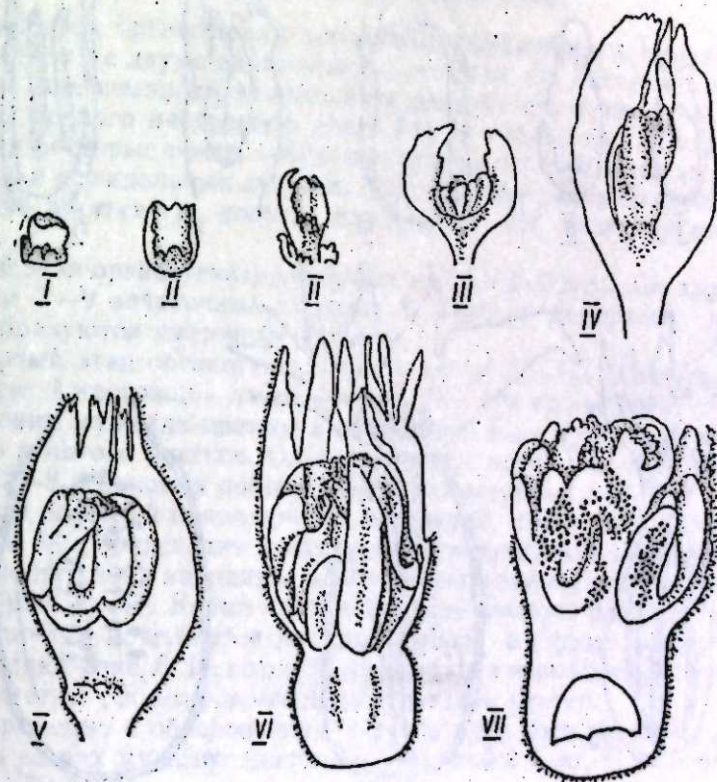


Рис. 2. Фазы развития цветков дыни Алтайской.

I — зачаточная фаза (IV этап органогенеза), II — начало формирования пыльников (V этап), III — формирование пыльцы (VI этап), IV—V — фаза бутона (VII этап), VI—VII — цветение (VIII этап).

Восьмой этап органогенеза (рис. 1, VIII) наступает на 40—45-й день от всходов. Он характерен началом цветения мужских цветков (рис. 2, VI), которые расположены в пазухах второго, третьего и четвертого листьев основного побега. В этот период растение имеет 7 развернутых и 14 зачаточных листьев. Кроме того, в пазухах первого, второго, третьего и четвертого листьев идет рост боковых побегов первого порядка и массовое формирование мужских и женских цветков на них. Женские цветки, расположенные на первом побеге первого порядка, находятся в фазе формирования рыльца пестика (рис. 3, II). Более развитые цветки находятся на втором и третьем побегах первого порядка. Они в это время хорошо заметны невооруженным глазом (рис. 3, III). Идет дальнейшее формиро-

вание рыльца пестика, который представлен 6—10 вытянутыми бугорками. Обособлена семенная камера.

Вслед за этим начинается фаза неполного раскрытия бутона (рис. 3, IV). Рыльце пестика увеличивается и становится липким. Хорошо выражен столбик и семенная камера (IX этап органогенеза).

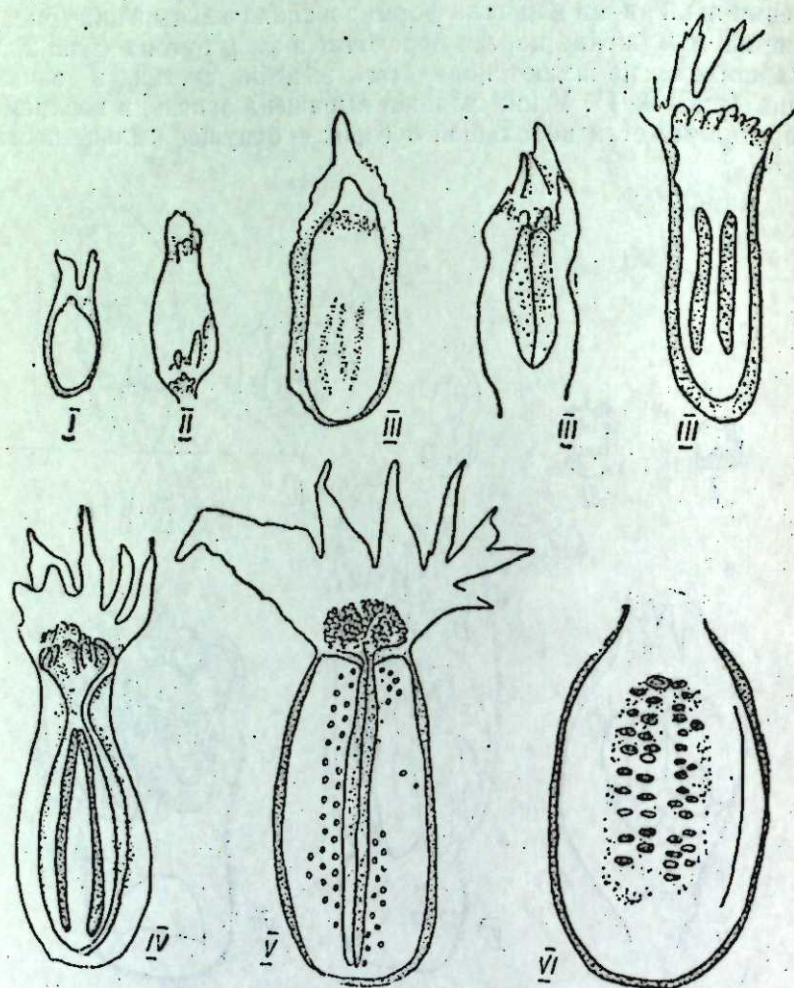


Рис. 3. Фазы развития женских цветков дыни Алтайской. I — зачаточная фаза — рыльце пестика в виде бугорка (VII этап органогенеза), II—III — формирование рыльца пестика (VIII этап), IV — формирование семенной камеры (IX этап), V — цветение (X этап), VI — оплодотворение и разрастание завязи (XI этап).

Десятый этап органогенеза (рис. 1, X) характерен массовым цветением мужских цветков на основном побеге и его дальнейшим ростом, а также ростом боковых побегов первого порядка, началом цветения (рис. 3, V) и массовым формированием женских цветков на них, ростом боковых побегов второго порядка и формированием цветочных бугорков в пазухах второго, третьего, четвертого листьев. Этот этап наступает на 55—60-й день.

Одиннадцатый этап органогенеза (рис. 1, XI) отличается наиболее усиленным ростом и развитием. Он наступает на 60—65-й день. В этот период начинается разрастание завязей (рис. 3, VI) на первом, втором, третьем, четвертом боковых побегах первого порядка и одновременно с

этим продолжается вегетативный рост основного и боковых побегов первого и второго порядка. Основной побег к этому времени достигает длины 1,5 м, а боковые — 0,8—1 м. Цветение мужских цветков перемещается в верхние части побегов. Идет дальнейшее образование завязей на побегах первого порядка.

Двенадцатый этап органогенеза характерен началом созревания плодов, расположенных на первом и втором побегах, и ростом остальных плодов на четвертом, пятом и шестом побегах первого порядка, а также на первом и втором побегах второго порядка. Продолжается рост плетей, а также цветение мужских и женских цветков. Этот этап наступает на 75—88-й день от всходов.

#### Этапы органогенеза арбуза Стокс

Первый этап органогенеза характерен образованием выпуклого конуса нарастания с двумя зачаточными листьями. Он наступает в тот момент, когда еще семядоли не вышли на поверхность почвы (рис. 4, I).

В фазе первого настоящего листа (на 13—14-й день после всходов) появляются ростовые почки — будущие побеги первого порядка в пазухе настоящего и семядольных листьев. Верхушечная почка состоит из пяти зачаточных листьев и конуса нарастания (II этап органогенеза, рис. 4, II).

Третий этап органогенеза наступает на 18—22-й день. Он характерен появлением 7—9 зачаточных листьев. В пазухах четвертого и пятого листьев образуются цветочные бугорки.

Четвертый этап органогенеза наступает на 25—30-й день, когда растение имеет 2 настоящих листа (рис. 4, IV). Он характеризуется началом появления мужских цветков в зачаточной фазе (рис. 5, I) в пазухах четвертого и пятого листьев. Одновременно с этим идет рост основного побега до 7—8 и боковых побегов до 2—4 зачаточных листьев.

Когда у растений появляются 4 настоящих листа (V этап органогенеза, рис. 4, V), происходит массовое образование мужских цветков на основном побеге. Они находятся в фазе формирования пыльников в виде бугорков (рис. 5, II). Кроме того, в пазухах шестого-десятого листьев основного побега появляются женские цветки в фазе формирования рыльца пестика (рис. 6, I), который представлен несколькими бугорками. Хорошо заметны сформированные чашелистики цветка.

Одновременно с образованием цветков идет рост боковых побегов и закладка на них мужских цветков в зачаточной фазе. Этот этап наступает на 45—50-й день.

Позднее у мужских цветков, расположенных в пазухах четвертого-седьмого листьев основного побега, начинается разрастание пыльников и превращение их в петлеобразно изогнутую форму (рис. 5, III—IV фазы, VI этап органогенеза).

Седьмой этап органогенеза (рис. 4, VII) наступает в период появления 5 развернутых и 10 зачаточных листьев. В это время идет дальнейшее формирование мужских и женских цветков на основных и боковых побегах. Мужские цветки на основном побеге (в пазухе пятого, шестого, седьмого листьев) находятся в фазе бутона (рис. 5, V фаза), где венчик приобретает желтую окраску и наполовину обособлены пыльцевые зерна. На боковых побегах часть мужских цветков находится в фазе формирования пыльников, а остальные — в зачаточной фазе.

Восьмой этап органогенеза характерен началом цветения мужских цветков на основном побеге (рис. 4, VIII). Он наступает на 45—55-й день.

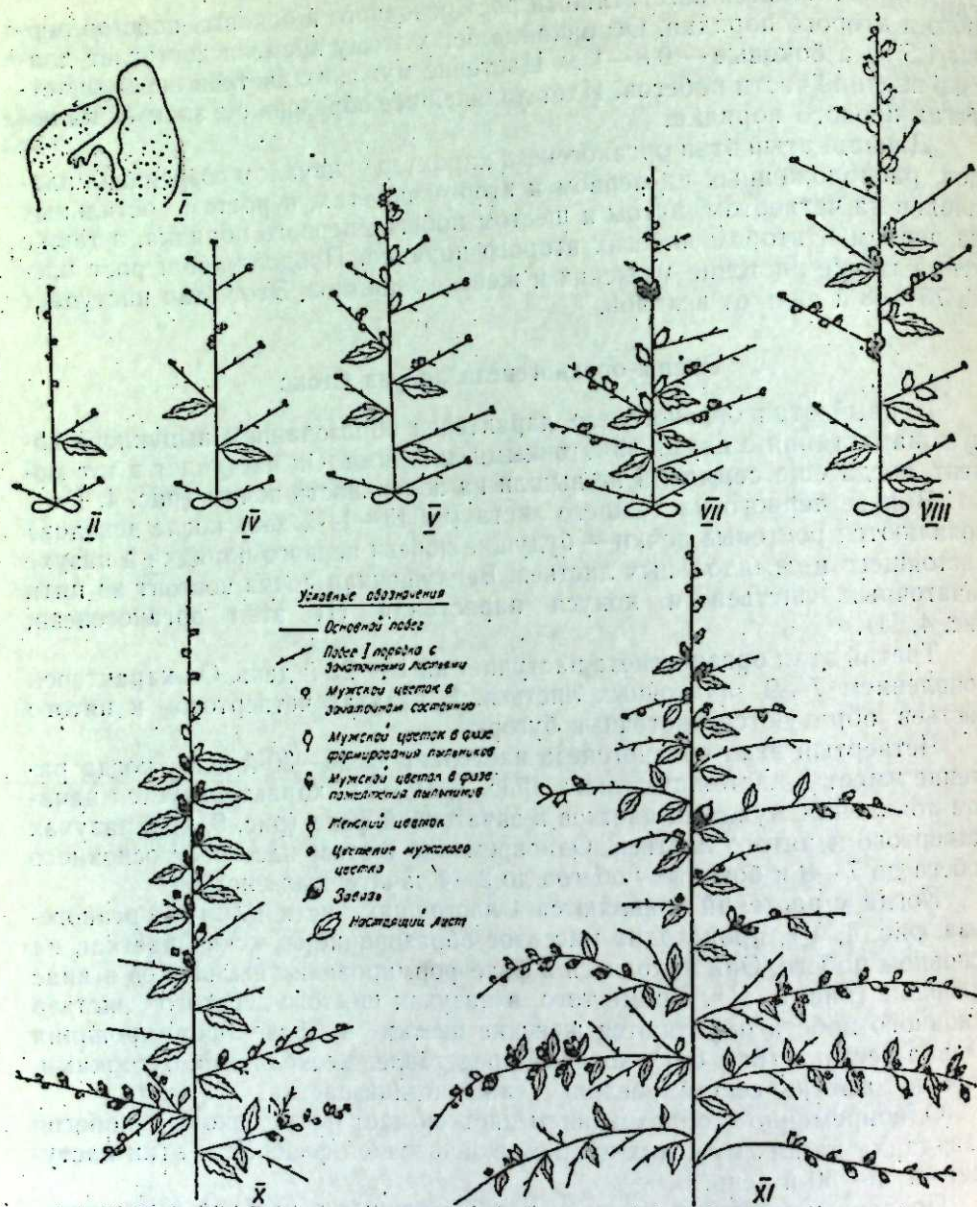


Рис. 4. Этапы органогенеза арбуза Стокс (данные 1957 г.).

У женских цветков (рис. 6, II—III) начинается разрастание рыльца пестика, к этому времени сформированы лепестки цветка. В дальнейшем обозначаются семечки. Завязь увеличивается в размере, столбик пестика вытягивается.

На девятом этапе органогенеза идет дальнейшее формирование мужских цветков на боковых побегах. Первые женские цветки находятся в фазе бутона (рис. 6, IV). Цветок увеличивается в размере за счет завязи с хорошо выраженными семечками. Рыльце и лепестки цветка приобретают желтую окраску. Этот этап начинается на 55—60-й день, когда растение имеет 7 развернутых и 16 зачаточных листьев.

Десятый этап органогенеза (рис. 4, X) совпадает с фазой массового цветения мужских цветков и единичного цветения женских цветков на

основном побеге. В фазу цветения (рис. 6, V) рыльце пестика становится рыхлым, липким, с ворсинками. Завязь к этому времени достигает 1—1,5 см в диаметре. На поперечном разрезе хорошо выражены 5—6 рядов семечек. Этот этап начинается на 60—65-й день.

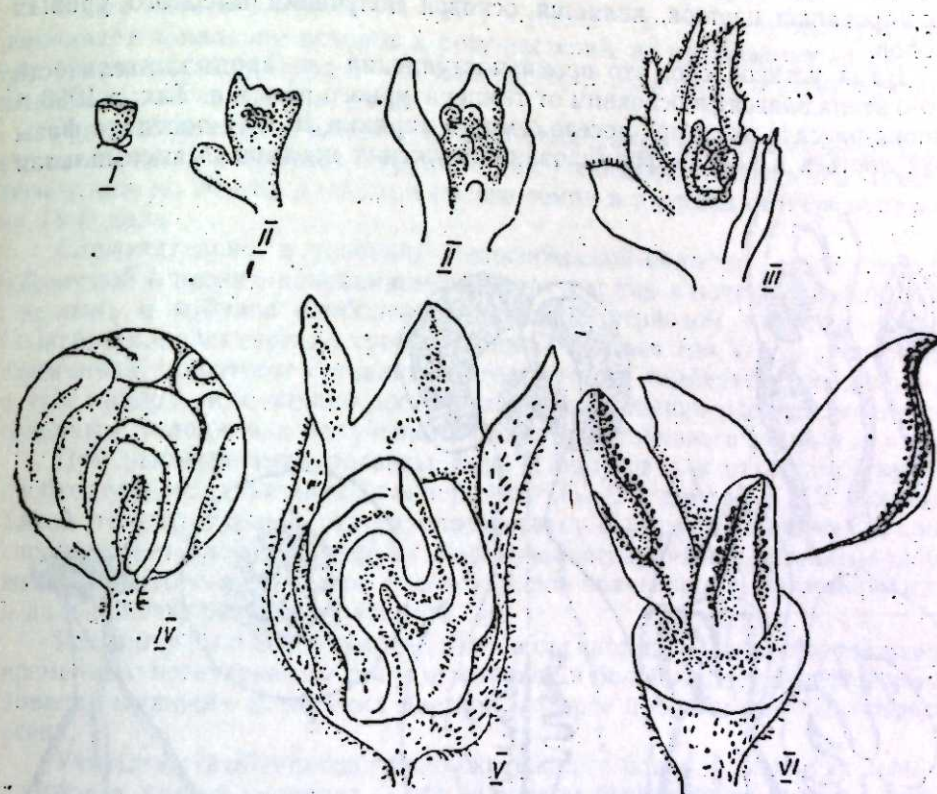


Рис. 5. Фазы развития мужских цветков арбуза Стокс.

I — зачаточная фаза (IV этап органогенеза), II — формирование пыльников (V этап), III—IV — формирование пыльцы (VI этап), V — фаза бутона (VII этап), VI — цветение (VIII этап).

Одиннадцатый этап органогенеза (рис. 4, XI) характерен массовым цветением женских цветков на основном побеге, а также дальнейшим развитием их на боковых побегах первого и второго порядков. Начинается разрастание завязей (рис. 6, VI). На второй день после оплодотворения идет формирование ядер в семечках (рис. 6, VII — поперечный разрез плода). Этот этап начинается на 75—80-й день.

Двенадцатый этап органогенеза наступает на 100—110-й день. Он характерен началом созревания плодов, кроме того, дальнейшим ростом побегов и цветением мужских и женских цветков на них.

\*\*\*

В результате наблюдений у дыни Алтайской и арбуза Стокс выделено 12 этапов органогенеза, при анализе которых возможно выявить особенности роста и развития этих растений и установить некоторые закономерности.

Четвертый этап органогенеза является наиболее ответственным (фаза первого — второго листа у дыни и второго — третьего у арбуза), в

это время начинается формирование цветков. Как известно, цветки бахчевых в начальной фазе развития имеют черты обоеполюности и в зависимости от условий будут закладываться мужские или женские генеративные органы [8]. Поэтому создание необходимых условий, способствующих не только нормальному вегетативному росту, но и более раннему формированию цветков, является основой получения высокого урожая плодов.

Нами установлено, что время наступления и продолжительность этого этапа зависят в основном от температурного режима. Так, в 1956 г. 4 июня рассада дыни при посеве семян в парники 20 мая достигла фазы двух листьев и начала формирования мужских цветков. Максимальная

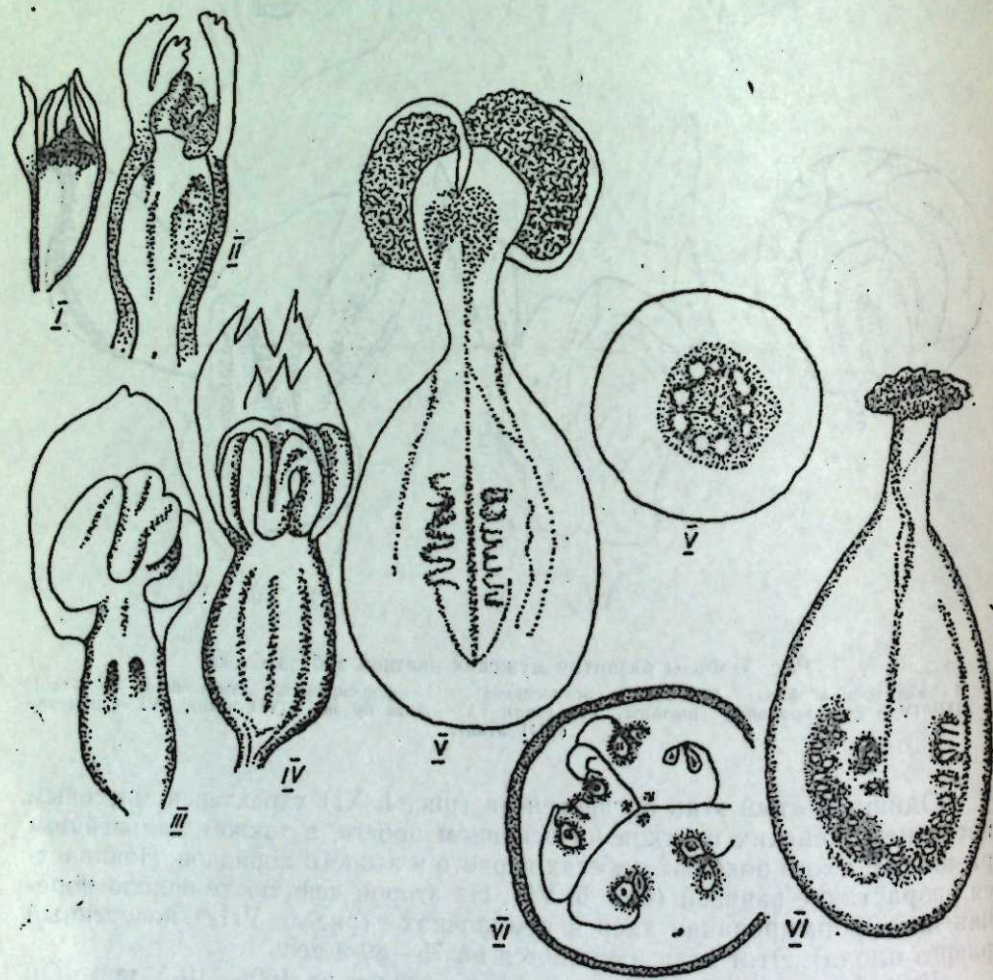


Рис. 6. Фазы развития женских цветков арбуза Стокс.

I — формирование рыльца пестика (VI этап), II — разрастание рыльца пестика (VII этап), III — формирование семязачатков (VIII этап), IV — фаза бутона (IX этап), V — фаза цветения (X этап), VI — оплодотворение и разрастание завязи (XI этап).

температура в первые три дня после посева была 30—35°. В последующие дни она удерживалась в пределах 20—33°. Минимальная температура в это время была высокой (19,5—23°).

В 1958 г. при посеве семян в тот же срок, что и в 1956 г., растения на 4 июня были в фазе появления первого настоящего листа, но формирование мужских цветков уже началось. Максимальная температура после посева не превышала 18—20° с понижением в отдельные дни до

14,5—17,5°. Позднее, с 1 по 4 июня она повысилась до 27—33°, но минимальная температура продолжала оставаться в пределах 7,5—12°.

Высокая дневная (30—35°) и ночная (19,5—23°) температура в 1956 г. способствовала быстрому появлению всходов и росту растений, но задерживала их развитие.

Более низкая дневная (11—29°) и ночная (8—12°) температура задерживает появление всходов и рост растений, но не тормозит их развитие. Ночная температура 8—12° способствует развитию растений при замедленном вегетативном росте.

Продолжительное влияние ночных температур в пределах 4—5° (посев семян дыни и арбузов в грунт, 1956 г.) затянуло наступление четвертого этапа до 26—30 дней, при посеве семян в парники он был отмечен на 14-й день.

Следовательно, в условиях Новосибирской области, с ее холодной весной и резким колебанием температуры дня и ночи при выращивании дыни и арбузов наиболее критическим периодом является время от появления всходов до трех настоящих листьев (до V—VI этапов органогенеза). Поэтому создание благоприятного температурного режима в этот период, чего можно достичь при выращивании рассады, является основным условием в получении раннего и устойчивого урожая плодов.

При выращивании рассады дыни и арбузов для открытого грунта необходимо поддерживать температуру 25—27° днем и 8—12° ночью. Такой температурный режим способствует быстрому развитию и приспособляет рассаду с первых дней к неблагоприятным погодным условиям открытого грунта, что имеет большое значение для приживаемости и дальнейшем развитии растений.

Рассмотрение последующих этапов органогенеза показало, что одновременно с вегетативным ростом основной и боковых плетей идет формирование мужских и женских цветков, которое продолжается до поздней осени.

Учитывая особенности продолжительного роста и развития дыни и арбузов в наших условиях — при коротком безморозном периоде, необходимо разработать агротехнические приемы, способствующие более раннему формированию женских цветков, прекращению роста плетей в период массового завязывания плодов, что ускорит их созревание.

#### Выводы

Методом биологического контроля установлено, что у дыни Алтайской и арбуза Стокс фазы развития состоят из 12 этапов органогенеза. При этом выявлены некоторые закономерности роста и развития растений, а именно:

а) первый — третий этапы органогенеза начинаются в период прорастания семян с образованием бугорков — зачатков листьев и цветков. Продолжительность всех трех этапов равняется 10—14 дням у дыни и 18—22 дням у арбуза;

б) в период четвертого этапа органогенеза (фаза 1—2 настоящих листьев у дыни и 2 листьев у арбуза) начинается формирование генеративных органов, поэтому создание условий, способствующих более быстрому и обильному завязыванию цветков, является первоочередной задачей в получении высокого урожая плодов;

в) восьмой этап органогенеза характерен началом цветения мужских цветков, он наступает на 40—45-й день. Мужские цветки в своем развитии проходят 6 фаз, продолжительность которых равняется 25—27 дням у дыни и 30 дням у арбузов;

г) цветение женских цветков у дыни наступает на 55—60-й день, а у арбуза на 60—65-й (X этап органогенеза). Продолжительность развития женских генеративных органов от зачаточной фазы до цветения равняется у дыни 20—23 дням, а у арбуза 15 дням. Период от цветения до полного созревания плодов составляет у дыни 35—40, а у арбуза 55—60 дней;

д) двенадцатый этап наступает на 75—88-й день у дыни и на 100—110-й день у арбуза; он характерен началом созревания плодов и дальнейшим вегетативным ростом;

е) время наступления и продолжительность этапов органогенеза в основном зависят от температурного режима. Наиболее критическим периодом при выращивании дынь и арбузов в наших условиях является время от появления всходов до трех настоящих листьев (от I до VI этапа органогенеза). Поэтому создание благоприятного температурного режима в этот период является основным условием в получении устойчивых урожаев плодов.

Центральный Сибирский ботанический сад  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
20/VI 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. М. Куперман, Биологический контроль за развитием и ростом сельскохозяйственных культур. Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве, № 2, 1957.
2. Е. И. Ржанова, Г. Э. Кавач, Биологический контроль за развитием и ростом вики яровой. Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве, № 4, 1958.
3. С. Праксин, М. Рыбакова, Биологический контроль за развитием и ростом озимой пшеницы в совместных весенних посевах с вико-овсяной смесью. Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве, № 3, 1958.
4. А. В. Алпатъев, И. В. Полумордвинова, Морфо-физиологические различия у помидоров в зависимости от условий выращивания. Агробиология, № 3, 1957.
5. Е. А. Атабекян, К вопросу о сроках дифференциации цветочной почки баклажан в связи с минеральным питанием в рассадный период. Докл. АН Арм. ССР, т. 17, № 2, 1958.
6. О. А. Зауралов, Особенности стадийного развития арбузов и дынь. Агробиология, № 5, 1956.
7. С. Ф. Ващенко, О стадийном развитии огурцов. Агробиология, № 5, 1956.
8. И. Н. Львова, И. Сакович, Биологический контроль за развитием и ростом огурцов в открытом грунте. Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве, № 6, 1958.
9. Н. Т. Скворцова, Онтогенез листа и сравнительно-анатомическая характеристика 9 сортов томатов. Ботанический журнал, т. 16, 1956.

Л. В. БАРДУНОВ

#### МХИ ПОБЕРЕЖЬЯ И ГОР СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА

Общее ботаническое изучение Средней Сибири и, в частности, Прибайкалья идет быстрыми темпами, однако в бриологическом отношении Средняя Сибирь и поныне является одним из наименее исследованных районов Советского Союза.

Нами проводились работы на северном побережье оз. Байкал и на прилегающих к нему Баргузинском и Байкальском хребтах, в основном в 1956—1957 гг. Материалы обрабатывались в Ботаническом институте АН СССР, под руководством Л. И. Савич-Любицкой.

Район работ — горнотаежный, с преобладанием лиственничных и кедрово-пихтовых лесов и с остепнением в западной половине (более сухой). Выше верхней границы леса, проходящей на высотах 1200—1500 м над ур. м., распространена высокогорная растительность смешанного алтайско-саянско-охотского типа.

Наши исследования проходили по двум основным направлениям: изучались видовой состав мхов и их эколого-ценотическое распределение.

#### Видовой состав

На основании собственных сборов, а также сборов Л. Н. Тюлиной (большая часть неопубликованных) и флористической экспедиции Отдела биологии Восточно-Сибирского филиала АН СССР, работавшей в районе в 1954—1955 гг., нами составлен общий список листостебельных мхов исследованной территории. Он включает 231 вид. Следует отметить, что в литературе не отмечается такое большое число видов мхов ни для одного района Средней Сибири, хотя бы и более обширно, чем рассматриваемый. Создается впечатление, что данный район по сравнению с другими среднеазиатскими имеет наиболее богатую флору мхов. Однако это «богатство» лишь кажущееся и объясняется лучшей бриологической исследованностью района. Можно заранее с уверенностью утверждать, что, например, Восточные Саяны имеют более богатую флору мхов, но она пока недостаточно выявлена.

Для характеристики видового состава флоры мхов назовем несколько цифр. Самым богатым является семейство *Dicranaceae*, насчитывающее 29 видов. Другие крупные семейства: *Amblystegiaceae* — 23 вида, *Mniaceae* — 18, *Bryaceae* — 17, *Brachytheciaceae* — 16, *Sphagnaceae* — 14. Остальные семейства имеют меньшее число представителей, в том числе 14 семейств — по одному виду. Всего насчитывается 43 семейства. Наиболее богато представлен род *Mnium* (s. l.), имеющий 17 видов; другие крупные роды: *Sphagnum* — 14 видов, *Dicranum* — 12, *Brachythecium* — 9, *Bryum* — 8 и *Polytrichum* — 8 видов.

64 рода (из них 20 монотипных) представлены у нас одним видом каждый. Всего отмечено 106 родов.

3 вида впервые приводятся нами для Азиатской части СССР: *Schistidium Agassizii*, *Tetradontium Brownianum* и *Anacamptodon*

*splachnoides* (по последнему виду имеется одно неопубликованное местонахождение на Дальнем Востоке). 18 видов впервые обнаружены нами на территории Средней Сибири (ряд из них впервые на территории всей Сибири). Наиболее интересны *Campylophyllum Halleri*, *Pohlia elongata*, *P. crudoides*, *Mnium trichomanes*, *Ditrichum pallidum*, *Plagiothecium succulentum*. Данные о некоторых находках опубликованы [1]. Большой интерес представляет впервые найденный нами в Советском Союзе *Didymodon rigidulus* ssp. *andreaeoides* (*Grimmia andreaeoides*). Этот подвид, который И. Шмарда [2] назвал одной из самых больших загадок флоры мхов Европы, до нашей находки в гольцах северной части Баргузинского хребта был известен только в Альпах и Великих Татрах [3].

### Эколого-ценотическое распределение

Лесные мхи. Мы выделяем 5 лесных моховых синузий: 1) мхи стволов и ветвей деревьев, 2) оснований стволов и выступающих корней деревьев, 3) гниющей древесины, 4) обнаженных и свежих субстратов и 5) напочвенного покрова. Все моховые синузии представляют два сукцессионных ряда. Первый ряд: стволы и ветви деревьев — основания стволов и выступающие корни — гниющая древесина — напочвенный покров. Второй ряд (более короткий и прямой): участки обнаженных и свежих субстратов — напочвенный покров. Сукцессии в обоих рядах приводят к наиболее устойчивой и долговременной синузии мхов напочвенного покрова, все другие синузии являются промежуточными звеньями сукцессий и имеют временный характер.

Синузия мхов стволов и ветвей деревьев (эпифиты) — самая бедная по видовому составу и наименее важная фитоценотически. Наиболее распространенные эпифиты — *Pylaisia polyantha*, тяготеющая в основном к коре осины, и *Neckera pennata*, поселяющаяся преимущественно на стволах пихты. Довольно часто встречаются также *Orthotrichum speciosum* и *O. obtusifolium*. Изредка в качестве эпифитов встречаются *Leskeella nervosa*, *Drepanocladus uncinatus* (f. *plumulosa*), *Hypnum curvifolium*, широко распространенные в районе на других экотопах. Почти все эпифиты в рассматриваемом районе наблюдаются не только на древесной коре, но и в основаниях стволов, на гниющей древесине и особенно часто на поверхности камней. Лишь *Orthotrichum obtusifolium* отмечен только на коре. Некоторые виды, в более теплых районах произрастающие на коре деревьев, в нашем районе переходят на поверхность камней, становясь эпилитами. Это характерно, например, для *Leucodon sciuroides*, *Fabronia octoblepharis* (только поверхность камней), *Orthotrichum speciosum*, *Neckera pennata* (кора и поверхность камней).

Эпифиты заметно тяготеют к долинным лесам с повышенной влажностью воздуха.

Синузия мхов оснований стволов и выступающих корней деревьев характеризуется довольно богатым и разнообразным видовым составом (отмечено 32 вида). Виды этой синузии свойственны также коре деревьев, гниющей древесине и напочвенному покрову. Объясняется это тем, что основания стволов имеют некоторые экологические черты всех перечисленных экотопов. Здесь обычны виды рода *Dicranum* (особенно *D. fragilifolium*), *Pylaisia polyantha*, *Brachythecium salebrosum*, а в зарослях прибрежных кустарников, часто заливаемых, — *Timmia bevarica* и *Myuroclada concinna*.

Довольно богата и разнообразна синузия мхов гниющей древесины, насчитывающая 42 вида. Эти мхи почти всегда оксифильны и мезофитны. На начальных стадиях гниения обычные виды рода *Dicranum* — *D. con-*

*gestum*, *D. fuscescens*, *D. fragilifolium*. Для средней и сильно сгнившей древесины характерны *Orthodicranum montanum*, *O. flagellare*, *Tetraphis pellucida*, *Amblystegium serpens*, *Anisothecium Schreberianum*, виды родов *Plagiothecium*, *Isopterygium* (виды последних двух родов предпочитают тенистые участки). Совершенно разложившийся и рассыпающийся колотник заселяется преимущественно видами рода *Mnium* — *Mn. Drummondii*, *Mn. confertidens*, *Mn. spinosum*, *Mn. spinulosum*. Со временем они сменяются видами напочвенного покрова.

Синузия мхов обнаженных и свежих субстратов распространена на участках вывороченных с корнем деревьев, заброшенных тропах, обочинах лесных дорог, эродированных склонах, а также кострищах и пожарищах. В зарастании этих участков основную роль играют «пионеры зарастания» — *Funaria hygrometrica*, *Ceratodon purpureus*, а также *Pohlia cruda*, *P. nutans*, *Bryoerythrophyllum recurvirostre*, несколько позже появляются *Rhytidium rugosum* и *Abietinella abietina*, влажные участки покрываются *Marchantia polymorpha* и *Polytrichum commune*. Зарастание гарей идет примерно так же, как и на севере Европейской части Советского Союза [4].

Наиболее развита синузия мхов напочвенного покрова. Здесь отмечено 42 вида; причем многие из них играют большую фитоценотическую роль. Чаще всего в качестве доминантов выступают *Pleurozium Schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidium rugosum* и *Abietinella abietina*, несколько реже и, как правило, на небольших площадях могут господствовать *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Polytrichum commune* и *Ptilium crista-castrensis*.

В лиственничниках обычно доминируют *Pleurozium Schreberi* и *Rhytidium rugosum*. Моховой покров здесь может быть почти чисто плевроциевым (очень часто при средних условиях увлажнения), ритидиевым (более сухие и каменистые субстраты, ритидиевые лиственничники особенно широко распространены на северо-западном побережье и на восточных склонах Байкальского хребта), переходным между ними плевроциево-ритидиевым, а иногда и ритидиладельфово-гилокомиевым (влажные участки, леса в низовьях рек, особенно на северо-восточном побережье). В заболоченных лиственничниках большая роль (вплоть до господствующей) принадлежит *Sphagnum Girgensohnii* и *Aulacomnium palustre*.

В сосняках также наиболее часто доминируют *Pleurozium Schreberi*, *Rhytidium rugosum*, большую роль (чаще всего субдоминант) играет *Abietinella abietina*. Моховой покров сосняков бывает плевроциево-ритидиевым (средние условия влажности и затенения), а также плевроциево-ритидиевым (более сухие и каменистые субстраты), плевроциево-абиетинелловый (сухие и мелкоземно-песчаные субстраты) или же смешанный плевроциево-абиетинеллово-ритидиевый.

В кедрово-пихтовых лесах, обеспечивающих постоянно более высокую влажность воздуха и субстрата и более значительное затенение, доминантами и субдоминантами обычно являются *Hylocomium splendens*, *Pleurozium Schreberi*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Ptilium crista-castrensis*, а в заболоченных местах — *Polytrichum commune*, *Aulacomnium palustre*. Моховой покров этих лесов бывает гилокомиевым (наиболее часто при средних условиях увлажнения), птилиево-ритидиладельфово-гилокомиевым (более влажные и тенистые участки), плевроциево-ритидиевым (более влажные и тенистые участки), плевроциево-ритидиевым (заболоченные места, сравнительно редко) и политриховый (заболоченные места).

В ельниках, довольно редких в районе, отмечено господство *Hylocomium splendens* и *Rhytidiadelphus triquetrus*, причем покров бывает либо смешанным, либо чисто ритидиладельфовым.

Виды, составляющие примесь в моховом ковре, распределены довольно однообразно по различным типам леса и, несмотря на большое их число (около 30), не играют нигде существенной роли. Наиболее широко в качестве примеси распространены *Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Drepanocladus uncinatus*. На начинающееся в лесу заболачивание указывает наличие в покрове *Polytrichum commune*, *Aulacomnium palustre*, *Dicranum Bergeri*, *Sphagnum Girgensohnii*.

Наиболее мощным моховой покров бывает в кедрово-пихтовых лесах, где он чаще всего сплошной и подчас достигает толщины 15—25 см. В лиственничниках и сосняках моховой покров обычно не имеет 100-процентного проективного покрытия, колеблясь в пределах 30—70 (80)%; толщина его нигде не превышает 15 см и обычно составляет 3—10 см. В лиственных же лесах как первичных (тополево-чозенные и чозенные), так и вторичных (главным образом осинные и березовые) моховой покров почти не развит, что связано либо с неблагоприятными условиями произрастания (заливание в прибрежных лесах), либо с пожарами.

Приручьевые и водные мхи. По берегам рек, ручьев и ручейков, в непосредственной близости к воде, подбирается комплекс мхов, произрастающих при постоянно избыточном проточном увлажнении и постоянно высокой влажности воздуха (гигрофиты и временные гидрофиты). В этом комплексе отмечено 27 видов. Наиболее часто встречаются *Breidleria arcuata*, *Distichium capillaceum*, *Oncophorus virens*, *O. Wahlenbergii*, *Drepanocladus uncinatus*. На берегах лесных ручейков и проток более крупных рек со сравнительно слабым течением на заиленно-гумусированном субстрате обычны виды рода *Mnium* — *Mn. punctatum*, *Mn. pseudopunctatum* и *Mn. medium*.

Водных мхов отмечено 12 видов. Из них 4 вида — *Fontinalis antipyretica*, *F. hypnoides*, *Scorpidium scorpioides*, *Platyhypnidium riparioides* — вне воды у нас не отмечены. Остальные же, например, *Calliergon giganteum*, *Drepanocladus aduncus*, виды рода *Hypogynum* встречаются и вне воды, как гигрофиты или мезогигрофиты. Гидрофиты отмечались в воде рек, ручьев и озер, наиболее широко распространен *Fontinalis antipyretica*. В воде Байкала гидрофиты не отмечены, по-видимому, они вообще отсутствуют здесь из-за крайне низких температур байкальской воды.

Мхи болот. В рассматриваемом районе распространены болота всех трех типов, но занимают они очень незначительную площадь. Они встречаются на низком перешейке между материком и полуостровом Святой Нос, на пониженных участках за береговыми валами и в приустьевых частях более крупных рек, обычно в виде небольших участков. Более широко болота распространены на северо-восточном побережье. Возможно, из-за небольших размеров участков болота часто не типично выражены, а имеют промежуточный или комплексный характер. Нередко они закустарены.

В низинных болотах покрытие мохового ковра может достигать 60—80%. Здесь нередки *Meesia triquetra*, *M. longiseta*, *Paludella squarrosa*, *Polytrichum gracile*, некоторые виды родов *Drepanocladus* (особенно *D. vernicosus*), *Calliergon*, *Sphagnum*. На переходных осоково-гипновых и гипновых болотах (наиболее распространенных) роль мхов усиливается, покрытие мохового ковра достигает 100%, хотя обычно колеблется в пределах 50—80%, толщина его может составить 15—25 см (обычно 7—15 см). Флора мхов здесь довольно разнообразна. Обычны *Tomenthypnum nitens* (нередко образующий сплошной ковер), *Aulacomnium palustre*, виды рода *Drepanocladus*, из сфагнов встречаются *Sphagnum acutifolium*, *Sph. centrale*, *Sph. compactum*, *Sph. Warnstorffii*. На верховых болотах безраздельно господствуют сфагны, всегда образующие сплошной,

часто мощный, бугристый ковер. Для этих болот характерно господство (или по крайней мере значительное участие) в кустарниковом ярусе *Cassandra calyculata*. Из мхов в большинстве случаев резко преобладает *Sphagnum fuscum*, в виде примеси встречаются *Sph. magellanicum*, *Sph. teres*, *Sph. Warnstorffii*. Зеленые мхи почти полностью отсутствуют, за исключением весьма обычного (незначительная примесь) *Polytrichum strictum*. На обнажениях торфа в гольцах Байкальского хребта отмечена *Dicranella cerviculata*.

Мхи скально-каменистых субстратов. Здесь мы выделяем 4 экотопа: обнаженная поверхность горных пород, расщелины, заполненные обычно гумусно-мелкоземным материалом, осыпи делювия и обломочный материал с гумусно-мелкоземным слоем у подножий скал. Все эти экотопы представляют экологический ряд.

Обнаженная поверхность горных пород заселяется эпилитами, которых в районе насчитывается 31 вид. Наиболее широко распространены *Hedwigia ciliata*, *Grimmia ovata*, *Gr. commutata*, *Schistidium apocarpum*, нередки также *Eurhynchium pulchellum*, *Pterygynandrum filiforme*, а на северо-западном побережье часто встречается *Heterophyllum Haldanianum*. Эпилиты заметно тяготеют к местам с повышенной влажностью воздуха — к долинам рек, ручьев, ущельям и к прибрежной полосе Байкала. На северо-восточном побережье, более влажном по сравнению с северо-западным, эпилиты распространены несколько шире.

В расщелинах и трещинах отмечено 40 видов мхов. К мелким, узким и неглубоким расщелинкам приурочены *Cnestrum Schistii*, *Rhabdoweisia Kusenevae* (в общем довольно редкие виды). Большой частью в мелких же расщелинках встречаются также *Cynodontium tenellum*, *Amblystegiella jungermanioides*, все три отмеченных у нас вида рода *Encalypta* — *E. procera*, *E. ciliata*, *E. rhabdocarpa*. В более крупных расщелинах, обычно заполненных гумусом, и на гумусированных участках скал встречаются *Muuroclada concinna*, *Mnium orthorrhynchum*, *Timmia bavarica*. Нетребовательны к материалу, заполняющему расщелины, широко распространенные *Pogonatum urnigerum* и *Distichium capillaceum*. На влажных скалах обычны *Bartramia pomiformis*, *B. ithyphylla* и *Aulacomnium turgidum*.

Третий скальный этап — осыпи делювия — всегда имеет некоторый уклон, поэтому субстрат, пока он не задернован, подвижен и мхами заселяется мало. Наибольшую роль здесь играют *Soelania glaucescens* и *Polytrichum piliferum*.

Обломочный материал у подножий скал более благоприятен для заселения его мхами, по существу это горизонтальные или слабо наклонные поверхности камней со слоем гумусно-мелкоземного материала и лесной подстилки. Состав мхов (отмечено около 30 видов) здесь меняется в зависимости от степени задернованности, участие лесных мхов, особенно таких, как *Abietinella abietina*, *Rhytidium rugosum*, постепенно увеличивается. Для этого экотопа наиболее характерны *Paraleucobryum longifolium*, *Cynodontium glaucescens* (северо-восточное побережье), *Heterophyllum Haldanianum*, *Pohlia longicollis*.

Мхи гольцов. Гольцы представляют собой ряд различных стадий и экотопов, аналоги большинства которых есть в поясе леса. Экологические различия между стациями и экотопами в гольцах несколько сглажены равномерностью освещения и повсеместным распространением гумусно-мелкоземного материала. Литературные данные о мхах гольцов очень кратки и ограничиваются работой Л. Н. Тюлиной [5], где при описаниях высокогорной растительности упоминаются 28 видов мхов. По на-



шим исследованиям, флора мхов гольцов рассматриваемых двух хребтов довольно богата — в ней отмечен 131 вид, что составляет почти 57% от всего числа видов мхов, известных в районе. Преобладают мхи сплошного распространения, общие гольцам и поясу леса, их 82 вида, или 62% от числа гольцовых видов мхов. Число собственно гольцовых мхов невелико — всего 31 вид, или около 24%, но зато многие виды этой группы широко распространены в гольцах и играют здесь большую фитоценологическую роль; они-то и придают флоре мхов гольцов специфический колорит. Остальные 14% (18 видов) распространенных в гольцах мхов имеют разрыв в вертикальном распределении и приурочены с одной стороны к береговой полосе Байкала, а с другой — к гольцам.

В нижней половине гольцов широко распространены заросли кедрового стланика (*Pinus pumila*), экологический режим под их пологом несколько приближается к лесному. Поэтому сюда проникает большое число лесных мхов. Одни из них, например, *Mnium spinosum*, *Eurhynchium pulchellum*, распространены в гольцах только в этих зарослях, другие — *Polytrichum strictum*, виды рода *Pohlia* выходят за пределы зарослей. Произрастают мхи в зарослях кедрового стланика в основном в напочвенном покрове, имеющем много мелкоземного материала, что обуславливает весьма разнородный состав мхов покрова: наряду с лесными видами, например, *Ptilium crista-castrensis*, здесь нередки и виды каменистых субстратов — *Paraleucobryum longifolium*, виды рода *Rhacomitrium*. Господствующими в зарослях стланика чаще всего бывают *Rhytidium rugosum*, *Pleurozium Schreberi* и *Abietinella abietina* (субдоминант). В редких случаях могут господствовать *Hylocomium splendens* и *Ptilium crista-castrensis*. Из мхов примеси довольно обычны *Aulacomnium turgidum*. Всего в зарослях стланика отмечено около 40 видов мхов. В отдельных случаях покров бывает сплошным (небольшие участки), чаще же всего его покрытие колеблется в пределах 30—60%. Интересно отметить, что некоторые мхи, например, *Dicranodontium nudatum*, *Dicranum congestum*, *D. fuscescens*, в поясе леса обитающие в основном на гниющей древесине, в зарослях стланика переходят на почву — на гумусно-мелкоземный материал.

Скалы, в особенности пологие обнажения горной породы, часто встречаются в гольцах. Экологические условия на них сходны с условиями на каменистых россыпях, тоже широко распространенных в гольцах. В обоих случаях налицо обнаженная поверхность горной породы и все остальные скальные экотопы, которые мы рассматриваем вместе. Эпилитов отмечено 22 вида. Большая часть их, например *Grimmia ovata*, *Orthotrichum rupestre*, *Hedwigia ciliata*, имеет сплошное распространение. Меньшее значение имеют собственно гольцовые виды — *Lescuraea mutabilis* var. *saxicola*, *Schistidium Agassizii*. Влажность воздуха в гольцах равномерна по всему поясу, но выше, чем в поясе леса, и соответственно этому распределение эпилитов здесь значительно более равномерное.

На остальных скально-каменистых экотопах отмечено около 50 видов. Из наиболее распространенных следует отметить *Dicranum spadiceum*, *Rhytidium rugosum*, *Syntrichia norvegica*. Эти экотопы экологически близки обломочному материалу у подножий скал, охарактеризованному выше. К ним близко примыкают и горные тундры, в особенности лишайниковые и щебнистые. Для более сухих щебнистых и щебнисто-лишайниковых тундр характерны *Polytrichum alpinum*, *P. piliferum*, *P. hyperboreum*, *Rhacomitrium lanuginosum*, *R. ramulosum*, *Rhytidium rugosum*. В несколько более влажных типичных лишайниковых тундрах наибольшую роль играют *Dicranum elongatum*, *D. spadiceum*, *Aulacomnium turgidum*, виды рода *Syntrichia*. В дриадовых тундрах встречаются виды, свой-

ственные лишайниковым, и, кроме того, *Distichium capillaceum*, *Orthotrichum chryseum*, *Dicranum Bergeri*.

В субальпийских разнотравных лугах мхи играют незначительную роль. Флора мхов болот в основном представлена теми же видами, что и в поясе леса. Мхов-гидрофитов отмечено 5 видов; все они общие гольцам и поясу леса.

### Фитогеографический анализ и исторический очерк флоры мхов

Для большей части отмеченных в районе видов мхов произведен фитогеографический анализ, в основном в соответствии с предложенной А. С. Лазаренко [6, 7] классификацией элементов флоры мхов. Всего нами проанализировано 200 видов. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Элементы флоры мхов	Примеры	Виды	
		число	%
Бореальный (таежный)	Виды родов <i>Bryum</i> , <i>Sphagnum</i> , <i>Brachythecium</i> , <i>Mnium punctatum</i> , <i>Neckera pennata</i> . . . . .	85	42,5
Монтанный (горный)	<i>Distichium inclinatum</i> , <i>Orthotrichum rupestre</i> , <i>Grimmia</i> , <i>Schistidium</i> . . . . .	40	20
Аркто-монтанный (аркто-альпийский)	<i>Catocopium nigratum</i> , <i>Polytrichum alpinum</i> , <i>Andreaea rupestris</i> , <i>Dicranum elongatum</i> . . . . .	25	12,5
Неморальный (пребореальный)	<i>Mnium immarginatum</i> , <i>Campyllum hispidulum</i> , <i>Myuroclada concinna</i> , <i>Leskea polycarpa</i> . . . . .	20	10
Субарктический	<i>Dicranum Bergeri</i> , <i>Mnium cinclidioides</i> . . . . .	16	8
Аридный	<i>Aloina rigida</i> , <i>Tortella fragilis</i> . . . . .	5	2,5
Группа космополитов	<i>Bryum argenteum</i> . . . . .	9	4,5

Резко преобладают широко распространенные виды с голарктическими ареалами, составляющие около 93% от числа всех видов, известных в районе. Палеарктические виды (евразийские или с более ограниченными ареалами) составляют всего около 7%. Эндемизм во флоре мхов не обнаружен.

Большой интерес представляет наличие в современной таежной флоре неморальных мхов, имеющих обычно разобщенные ареалы. Ряд этих видов впервые обнаружен нами на территории Средней Сибири и Прибайкалья. Многие неморальные виды довольно четко распадаются на две группы (в зависимости от характера распространения), которые можно назвать «европейской» и «восточноазиатской». Виды первой группы («европейской») — *Fissidens adiantoides*, *Eurhynchium Schleicheri*, *Physcomitrium sphaericum* — обычно распространены в широколиственных лесах Европы. Виды второй группы — *Mnium immarginatum*, *Mn. trichomanes*, *Myuroclada concinna* — имеют преимущественное распространение в неморальной области Восточной Азии. К ним близко примыкает *Thamnum obtusatum* — бореальный вид, очень близкий к преимущественно восточноазиатскому *Th. neckeroides* и, по-видимому, напрасно описанный Линдбергом и Арнеллем [8] в качестве особого вида.

Вне указанных территорий распространение видов обеих групп имеет, как правило, разобщенный, островной характер, свидетельствующий об их реликтовости. Явно реликтовый характер эти виды имеют и в Средней Сибири. Резко различная географическая приуроченность видов обеих групп, несомненно, указывает на их разновозрастность. Среди высших споровых и семенных растений района можно найти виды со сходным распространением, которые, с известными оговорками, можно также отнести к одной из выделенных групп. Так, к первой («европейской») группе можно причислить *Subularia aquatica*, *Daphne mezereum*, *Ophioglossum vulgatum* (ареал последнего вида поразительно сходен с ареалом мха *Fissidens adiantoides*, не совпадая с ним лишь в несущественных деталях). Ко второй группе реликтов («восточноазиатской») можно отнести *Menispermum dahuricum*, *Galium paradoxum*, *Euonymus sacrosancta*. Виды высших споровых и семенных растений первой группы встречаются в рассматриваемом районе (за исключением кустарника *Daphne mezereum*), виды второй группы в нем отсутствуют, но вообще в Прибайкалье встречаются.

М. Г. Попов [9], выделявший аналогичные группы во флоре высших споровых и семенных растений байкальской Сибири, считал «восточноазиатскую» группу более древней, а «европейскую» — более молодой. Основываясь на флорогенетических и палеоботанических данных, а также результатах спорово-пыльцевых анализов, мы склонны считать «восточноазиатскую» группу реликтов миоценовой (верхнемиоценовой) или нижнеплиоценовой, а «европейскую» — средне- и верхнеплиоценовой. Очень важно и интересно подчеркнуть, что на территории района высшие споровые и семенные растения, аналогичные мхам «восточноазиатской» группы, отсутствуют. Следовательно, наиболее древние реликты в современной флоре мы находим лишь среди мхов. Последние приобретают, таким образом, особо важную роль в изучении истории флоры и притом ее наиболее древних этапов, ибо при отсутствии палеоботанических данных мхи могут явиться единственным источником для выяснения истории флоры и растительности. Для тех этапов истории флоры, от которых имеются и мхи и высшие споровые и семенные растения, мхи служат важным дополнительным материалом.

Наличие в исследованном районе представителей неморального элемента свидетельствует о господстве здесь во второй половине третичного периода широколиственных, смешанных лесов, формационно и флористически близких сначала (верхний миоцен) восточноазиатским (в частности, уссурийским), а затем постепенно приобретающих все более и более европейский характер.

Похолодание, связанное с началом ледникового периода и предшествовавшее ему, вызвало постепенное исчезновение с территории района большинства представителей неморального комплекса. Тогда же, согласно Л. Н. Тюлиной [10], сюда начал проникать бореальный элемент, в том числе, конечно, и бореальные виды мхов. Во время ледникового периода в Прибайкалье пришли мигрировавшие далеко на юг арктические (оставшиеся ныне в виде представителей аркто-монтанного элемента) и субарктические виды мхов. Оледенение в рассматриваемом районе имело в основном горный характер, благодаря чему здесь сохранился целый ряд доледниковых реликтов, что вряд ли было бы возможным при покровном оледенении.

Возраст представителей монтанного элемента в рассматриваемом районе, очевидно, различен, причем решить это для некоторых монтанных видов трудно из-за того, что ареалы их недостаточно полно изучены. Большая часть монтанных видов, вероятно, приблизительно синхрон-

на бореальному элементу, т. е. сравнительно молода. Таковы, например, виды *Orthotrichum rupestre*, *Grimmia unicolor*. Другая, меньшая часть монтанных видов, например *Fabronia octoblepharis*, возможно, примерно одновозрастна неморальному элементу. Последледниковым временем (ксеротермический период), по-видимому, можно датировать появление в районе (но не вообще в Прибайкалье, где они существовали гораздо раньше) представителей аридного элемента. Вряд ли эти виды появились на северном Байкале раньше, в третичное время, так как тогда здесь был сравнительно влажный климат, благоприятствовавший произрастанию лесов. Ксерофилизация северо-западного побережья Байкала и восточных склонов Байкальского хребта началась лишь в плейстоцене, когда этот участок, в связи с поднятием Байкальского хребта, оказался в «дождевой тени». Однако тогда климат здесь был слишком суров для представителей аридного элемента.

После ксеротермического периода, в связи с установлением сравнительно влажного и довольно сурового климата, на территории района постепенно и окончательно формируются современные горно-таежные ландшафты, а флора и растительность приобретают современный характер, современный видовой и формационный состав. Вероятно, в это время сюда и проникает основное количество представителей бореального элемента и устанавливается его главенствующая роль. Вновь несколько усиливается и роль неморального элемента благодаря частичному расширению (восстановлению) ареалов некоторых его представителей.

Наши исследования на северном Байкале, несмотря на их в значительной степени предварительный характер, показывают, насколько богата и интересна флора мхов Прибайкалья и как важно ее скорейшее всестороннее изучение.

Восточно-Сибирский филиал  
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию  
26/IV 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Бардунов, Новые и редкие виды во флоре мхов Средней Сибири. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 1, 1958.
2. J. Š m a r d a, Mech *Grimmia andreaeoides* L i m p r. V. Bielskych Tatrah. Ceskosl. Botan. List., Roc. IV, cisl. 2—3, 1951.
3. J. P o d p e r a, Conspectus muscorum Europaeorum. Praha, 1954.
4. А. А. Корчагин, Влияние пожаров на лесную растительность и ее восстановление после пожара на европейском Севере. Тр. БИН АН СССР, сер. III, вып. IX, 1954.
5. Л. Н. Тюлина, Материалы по высокогорной растительности Баргузинского хребта. Земледелие, т. II (XII), 1948.
6. А. С. Лазаренко, Неморальный элемент бриофлоры советского Дальнего Востока. Сов. ботаника, № 6, 1944.
7. А. С. Лазаренко, Основні засади класифікації ареалів листяних мохів радянського Далекого Сходу. Укр. бот. журн., № 1, 1956.
8. S. O. Lindberg, H. Wilh. Arnell, Musci Asiae borealis. Kung. Svensk. Vetenskaps. Akad. Handl., Bd. 23, II, 1890.
9. М. Г. Попов, Флора байкальской Сибири и ее происхождение. Альманах «Новая Сибирь», кн. 33, Иркутск, 1955.
10. Л. Н. Тюлина, Из истории растительного покрова северо-восточного побережья Байкала. Пробл. физич. географии, т. XV, 1950.

## ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

### «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ»

*Серия книг в 13 томах.*

Восточная Сибирь в наши дни превращается в один из важнейших индустриальных районов на Востоке Советского Союза. Ей предстоит сыграть выдающуюся роль в решении основной экономической задачи СССР.

В конце 1958 г. в Иркутске состоялась Конференция по развитию производительных сил Восточной Сибири. На Конференции и предшествовавших ей региональных совещаниях, в которых участвовало около 7 тыс. человек, было обсуждено 850 докладов.

В результате обсуждения перспективных проблем развития производительных сил Восточной Сибири были научно оценены ее природные ресурсы, определены пути развития промышленности, строительства, сельского хозяйства, транспорта на ближайшее и более отдаленное время, разработаны рекомендации по эффективному освоению природных ресурсов. Многие проблемы, обсуждавшиеся на Конференции, ввиду широты их постановки имеют значение не только для Восточной Сибири, но и для других районов страны.

Совет по изучению производительных сил АН СССР и Издательство Академии наук СССР, учитывая научную и практическую ценность Конференции, выпускают серию книг под общим названием.

### «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ»

*Серия состоит из 13 томов.*

Главный редактор издания акад. **И. П. БАРДИН**.

В книгах серии содержатся сокращенные доклады и наиболее значительные выступления на пленуме и отраслевых секциях Конференции, обзор прений, решения и рекомендации Конференции и секций.

Книги серии «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ» предназначены для использования научными, проектными, плановыми и хозяйственными организациями, научными работниками, инженерами, экономистами, агрономами.

Издание выходит в виде тематических сборников по 15—30 авторских листов каждый. Ориентировочная цена каждого тома 10—20 руб. Книги снабжены картами, схемами и другим иллюстративным материалом.

#### *Содержание томов:*

Общие вопросы развития производительных сил Восточной Сибири

Отв. редактор акад. **В. С. НЕМЧИНОВ**

Районные и межрайонные комплексные проблемы

Отв. редактор член-корр. АН СССР **И. Н. НЕКРАСОВ**

Геологическое строение и полезные ископаемые

Отв. редактор член-корр. АН СССР **Л. В. ПУСТОВАЛОВ**

Нерудные полезные ископаемые

Отв. редакторы член-корр. АН СССР **Л. В. ПУСТОВАЛОВ** и д-р геол.-мин. наук **В. П. ПЕТРОВ**

Топливо и топливная промышленность

Отв. редактор д-р экон. наук **А. Е. ПРОБСТ**

Энергетика

Отв. редактор член-корр. АН СССР **В. И. ВЕПЦ**

Черная металлургия

Отв. редактор канд. техн. наук **Г. И. ЛЮДОНОВСКИЙ**

Машиностроение

Отв. редакторы акад. **В. И. ДИКУШИН** и канд. экон. наук **М. Г. ШКОЛЬНИКОВ**

Химическая промышленность

Отв. редактор акад. **С. И. ФОЛЬФКОВИЧ**

Строительная индустрия и промышленность строительных материалов

Отв. редактор действ. член Академии строительства и архитектуры **А. Н. ПОПОВ**

Лесное хозяйство и лесная промышленность

Отв. редактор д-р экон. наук **П. В. ВАСИЛЬЕВ**

Сельское хозяйство

Отв. редакторы акад. **ВАСХНИЛ И. Ф. РОСТОВЦЕВ** и канд. геол.-мин. наук **П. А. ЛЕТУНОВ**

Транспорт

Отв. редактор член-корр. АН СССР **Т. С. ХАЧАТУРОВ**

Все издание будет завершено в 1960 г.

Книги продаются как комплектом, так и отдельными томами. Заказы на серию книг «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ» и отдельные тома этой серии принимаются магазинами книготоргов и конторы «Академкнига».

Для получения книг почтой заказы направлять в отдел «Книга—почтой» конторы «Академкнига» по адресу: Москва К-12, ул. Кулбышева, 8, или в ближайший из магазинов «Академкнига».

„Академкнига“

Цена 7 руб.