

7.167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

1

НОВОСИБИРСК

1961

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

①

1961 П-30753
№ 1 Известия СИБИРСКОГО
отделения АН СССР
70 коп.

19/IV	Уткин
	Саламатина
	Сидов

П-30753

П-30753
ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1961

Б. Н. ДЕВЯТОВ, Ю. Н. КОРНЕВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ И РЕГУЛИРУЕМОСТИ
ПРЯМОТОЧНЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

При рассмотрении прямоточного теплообменного аппарата как объекта регулирования, как и в случае противотока [1], возникает вопрос об определении его инерционности и регулируемости.

Решение этого вопроса проводится нами при тех же наиболее общих допущениях относительно теплообменников типа «труба в трубе», что и в работе [1], только для случая прямотока. Так же, как и в работе [2], рассматриваются основные уравнения нестационарных процессов, учитывающие влияние теплоемкости стенки, разделяющей среды.

§ 1. Основные уравнения нестационарных процессов

При тех же предположениях, что и в работе [2], рассмотрим нестационарный процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике «труба в трубе» длиной l .

Анализ режима работы этого аппарата приводит к уравнениям [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} + w_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} &= k_1 (v - u_1), \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= k_2 (u_1 - v) + k_3 (u_2 - v), \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} + w_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} &= k_4 (v - u_2), \end{aligned}$$

которые преобразуются к виду:

$$\begin{aligned} \tau_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial u_1}{\partial x} &= \alpha (v - u_1), \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= k_2 (u_1 - v) + k_3 (u_2 - v), \\ \tau_2 \frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{\partial u_2}{\partial x} &= \beta (v - u_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{k_1 l}{w_1}, \quad \beta = \frac{k_4 l}{w_2}, \quad \tau_1 = \frac{l}{w_1}, \quad \tau_2 = \frac{l}{w_2}, \quad x = \frac{x_1}{l}.$$

Рассматривая нарушения только стационарного режима работы теплообменника, принимаем нулевые начальные условия

$$u_1(x, 0) = u_2(x, 0) = v(x, 0) = 0.$$

Кроме того, на вход u_1 подается единичное возмущающее воздействие (функция Хевисайда), и тогда граничные условия принимают вид

$$u_1(0, t) = 1, \quad u_2(0, t) = 0. \quad (2)$$

30753
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. КИРГИЗСКОЙ ССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. Кротов, д-р биол. наук Г. В. Крылов, 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.

Применяя к системе (1) преобразование Лапласа-Карсона и исключая из уравнений температуру стенки v , получим систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dU_1}{dx} &= a_{11}U_1 + a_{12}U_2, \\ \frac{dU_2}{dx} &= a_{21}U_1 + a_{22}U_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где U_1, U_2 — изображения по Лапласу-Карсону u_1 и u_2 ,

$$a_{11} = -\left(p\tau_1 + \alpha \cdot \frac{p+k_3}{p+k_2+k_3}\right), \quad a_{12} = \alpha \cdot \frac{k_3}{p+k_2+k_3},$$

$$a_{22} = -\left(p\tau_2 + \beta \cdot \frac{p+k_2}{p+k_2+k_3}\right), \quad a_{21} = \beta \cdot \frac{k_2}{p+k_2+k_3}.$$

Решая полученные уравнения (3) с учетом граничных условий, получим выражение для U_1 в операторной форме:

$$U_1(p) = e^{\frac{1}{2}(a_{11}+a_{22})} \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{E}{2}\right) \left[1 - \frac{(a_{22}-a_{11})}{E} \cdot \operatorname{th} \frac{E}{2}\right], \quad (4)$$

где

$$E(p) = \sqrt{(a_{22}-a_{11})^2 + 4a_{12}a_{21}}.$$

§ 2. Определение критерия инерционности

Под критерием инерционности S понимается обобщение постоянной времени объекта, т. е. величина, численно равная площади, ограниченной кривой переходного процесса и прямой, соответствующей новому стационарному значению [1]. Очевидно, что для монотонных затухающих процессов такое обобщение постоянной времени имеет смысл.

Таким образом, если процесс монотонный и существует предел

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_1(t) = u_1(\infty) = m,$$

то

$$S = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} [m - u_1(t)] dt. \quad (5)$$

Имея выражение передаточной функции (4), можно определить точное выражение характеристики инерционности процесса:

$$S = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{m} \left[\frac{m - U_1(p)}{p} \right], \quad (6)$$

так как

$$\int_0^t [m - u_1(t)] dt \doteq \frac{m - U_1(p)}{p}.$$

В выражении (6) мы имеем неопределенность типа $\frac{0}{0}$. Для раскрытия ее применим правило Лопиталья:

$$S = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{m} \left[\frac{m - U_1(p)}{p} \right] = \lim_{p \rightarrow 0} -\frac{1}{m} \frac{dU_1(p)}{dp},$$

или

$$S = -\lim_{p \rightarrow 0} \frac{d}{dp} (\ln U_1). \quad (7)$$

Подставляя в выражение (7) данное значение U_1 из (4) и переходя к пределу, получим точное выражение критерия инерционности:

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} (\tau_1 + \tau_2) - \frac{1}{2} (\tau_1 - \tau_2) \frac{(\alpha - \beta\theta)(\beta\theta - \alpha e^{-\epsilon})}{(\alpha + \beta\theta)(\beta\theta + \alpha e^{-\epsilon})} + \\ &+ \frac{1}{2} (\tau_1 - \tau_2) \cdot \frac{4\alpha\beta\theta(1+\theta)(1-e^{-\epsilon})}{(\alpha + \beta\theta)^2(\beta\theta + \alpha e^{-\epsilon})} + \frac{\left[\alpha\beta - \theta \left(\frac{\alpha - \beta}{1 + \theta}\right)^2\right](\beta\theta - \alpha e^{-\epsilon})}{2k_2(1+e^{-\epsilon})(\alpha + \beta\theta)(\beta\theta + \alpha e^{-\epsilon})} + \\ &+ \frac{\left[\alpha\beta - \theta \left(\frac{\alpha - \beta}{1 + \theta}\right)^2\right](\alpha - \beta\theta)(1+\theta)(1-e^{-\epsilon})}{2k_2(\alpha + \beta\theta)^2(\beta\theta + \alpha e^{-\epsilon})} + \\ &+ \frac{\alpha\theta + \beta}{2k_2(1+\theta)^2} + \frac{(1+e^{-\epsilon})(\alpha\theta - \beta)}{2k_2(1+\theta)(\alpha e^{-\epsilon} + \beta\theta)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\epsilon = \lim_{p \rightarrow 0} E(p) = \frac{\alpha + \beta\theta}{1 + \theta}, \quad \theta = \frac{k_2}{k_3}.$$

В полученное выражение S входит величина площади, обусловленная наличием времени запаздывания процесса на выходе и численно равная времени запаздывания τ .

Так как в случае $\omega_1 > \omega_2$ время запаздывания $\tau = \tau_1$, а при $\omega_1 < \omega_2$ $\tau = \tau_2$, то в каждом отдельном случае, вычитая величину площади τ , получим два различных выражения инерционности при различных соотношениях скоростей.

В дальнейшем, ради простоты, ограничимся анализом характеристик инерционности и регулируемости только для таких процессов, на протекание которых не влияет теплоемкость стенки или это влияние столь незначительно, что им можно пренебречь. В этом случае в выражениях

$$k_2 = \frac{kp_1}{s_3 \gamma_3 c_3} \quad \text{и} \quad k_3 = \frac{k'p_2}{s_3 \gamma_3 c_3}$$

величину площади s_3 поперечного сечения разделяющей стенки считаем настолько малой, что $k_2, k_3 \rightarrow \infty$, а

$$\theta = \lim_{\substack{k_2 \rightarrow \infty \\ k_3 \rightarrow \infty}} \frac{k_2}{k_3} = \frac{k}{k'}. \quad (9)$$

Учитывая соотношение (9) и вычитая τ_1 из выражения (8), получим характеристику инерционности переходного процесса в прямоточном теплообменнике с достаточно тонкой стенкой, в котором $\omega_1 > \omega_2$,

$$S = (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{\alpha\beta\theta(1+e^{-\epsilon})}{(\alpha + \beta\theta)(\beta\theta + \alpha e^{-\epsilon})} \left(1 - \frac{\operatorname{th} \frac{\epsilon}{2}}{\frac{\epsilon}{2}}\right), \quad (10)$$

где

$$\epsilon = \frac{\alpha + \beta\theta}{1 + \theta}.$$

Принимая $|\tau_2 - \tau_1|$ за единицу времени, выразим S_1 в безразмерных единицах и обозначим через T_1 . Получим

$$T_1 = \frac{\alpha\beta\theta(1+e^{-\epsilon})}{(\alpha+\beta\theta)(\beta\theta+\alpha e^{-\epsilon})} \cdot \left(1 - \frac{\text{th} \frac{\epsilon}{2}}{\frac{\epsilon}{2}}\right). \quad (11)$$

Тогда формула (10) примет вид:

$$S_1 = (\tau_2 - \tau_1) T_1. \quad (12)$$

Добавляя к S_1 член $(\tau_1 - \tau_2)$, получим выражение характеристики инерционности для проточного теплообменника с соотношением скоростей $\omega_1 > \omega_2$:

$$S_2 = S_1 + \tau_1 - \tau_2 = (\tau_1 - \tau_2) (1 - T_1).$$

В этом случае инерционность, выраженная в безразмерных единицах, будет

$$T_2 = 1 - T_1, \quad (13)$$

а инерционность S_2 принимает вид:

$$S_2 = (\tau_1 - \tau_2) T_2. \quad (14)$$

Для определения T_1 и T_2 построена номограмма (рис. 1), которая представляет собой семейство кривых равных значений инерционности в плоскости параметров (ρ_1, ρ_2) :

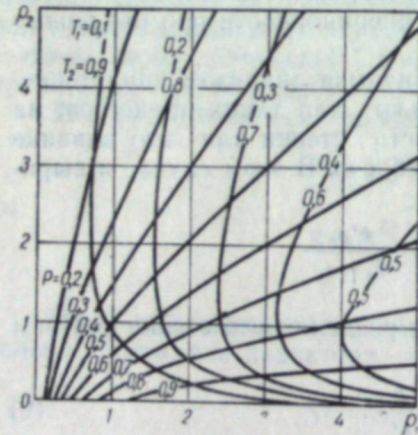


Рис. 1.

$$\rho_1 = \frac{\alpha}{1+\theta}, \quad \rho_2 = \frac{\beta\theta}{1+\theta}.$$

§ 3. Критерий регулируемости для проточных теплообменных аппаратов

Характерной особенностью процессов теплообмена между движущимися средами является наличие большого времени запаздывания (по сопоставлению с инерционностью объекта). Эта особенность не позволяет полностью характеризовать динамические свойства объекта инерционностью процесса.

В работах [1, 3] вводится понятие регулируемости объекта, которое в достаточной степени отражает динамические свойства процессов в теплообменниках,

$$R = \frac{S}{\tau}, \quad (15)$$

где τ — время запаздывания переходного процесса в сечении теплообменника $x=1$.

Подставляя выражения (12) и (14) в (15) и учитывая, что при различных соотношениях ω_2 и ω_1 меняется время запаздывания процесса, получим:

а) для случая $\omega_1 > \omega_2$

$$R_1 = \frac{S_1}{\tau_1} = \left(\frac{\tau_2}{\tau_1} - 1\right) T_1,$$

б) для случая $\omega_1 < \omega_2$

$$R_2 = \frac{S_2}{\tau_2} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} - 1\right) T_2,$$

в) для случая $\omega_1 = \omega_2$

$$R = 0.$$

В последнем случае ($\omega_1 = \omega_2$) мы имеем дело только с чистым запаздыванием, так как $S=0$. Этот случай является наиболее трудным для решения задач регулирования.

Приведенная выше номограмма позволяет просто находить значения величин T_1, T_2 , общие выражения которых имеют довольно сложную структуру для вычислений. С ее помощью можно также выяснять характер изменения T_1 и T_2 в зависимости от изменения отдельных параметров при неизменности других.

В практических случаях условия технологии задают параметрам, определяющим режим и конструкцию аппарата, вполне определенные дополнительные связи, которые могут выражаться заданием необходимой полноты процесса, экономичности и т. д.

Такая связь выразится соотношением $F(\alpha, \beta) = 0$.

В этом случае для облегчения выбора оптимальных параметров аппарата требуется нанести на номограмму (см. рис. 1) дополнительные кривые, выражающие требуемую связь между параметрами. Эти кривые, например, кривые данной полноты процесса, экономичности и т. д., должны быть построены также в плоскости (ρ_1, ρ_2) .

В частном случае задается связь между α и β требованием определенной величины P , выражающей полноту процесса в стационарном режиме,

$$P = 1 - m = \frac{\alpha(1-e^{-\epsilon})}{\alpha+\beta\theta}. \quad (16)$$

Задаваясь определенной величиной P_1 и следуя на номограмме по соответствующей кривой, мы можем найти удовлетворяющее нас значение инерционности T и определенное соотношение между параметрами ρ_1, ρ_2 .

С целью проверки теоретически найденной общей формулы для инерционности были получены экспериментальные кривые, по которым непосредственно с помощью метода трапеций были рассчитаны площади S — инерционности процессов. Полученные результаты сравнивались с результатами вычислений по формулам (8), (12), (14) и показали хорошее совпадение.

В частности, опыт 1 с теплообменником с тонкими стенками при условиях $\theta=1, l=21,6$ м, $\omega_1=0,479$ м/сек, $\omega_2=0,953$ м/сек, ($\alpha=3,794$; $\beta=1,931$), $\tau_1=45,1$ сек., $\tau_2=22,7$ сек. показал $S_{\text{экспер}}=13,3$ сек., $S_{\text{теор}}=12,55$ сек.

Опыт 2, проведенный с теплообменником с толстыми стенками при условиях $\theta=0,9, k_3=2,115$ л/сек, $l=31,5$ м, $\omega_1=0,613$ м/сек, $\omega_2=0,920$ м/сек, ($\alpha=9,361$; $\beta=3,791$), $\tau_1=51,3$ сек., $\tau_2=34,3$ сек., показал $S_{\text{экспер}}=10,5$ сек., $S_{\text{теор}}=9,92$ сек.

§ 4. Сравнение прямоточного и противоточного процессов

Введенные ранее безразмерные параметры определяют соотношения технологических характеристик теплообменников. Поэтому у теплообменных аппаратов с соответственно равными параметрами α , β , Θ в случае равной производительности*, очевидно, должны быть равноценные конструктивные данные. Но в этом случае не будет иметь место равенство полноты процесса.

Расчеты показывают, что при одинаковых конструктивных данных и равной производительности со стороны обеих сред прямоточного и противоточного теплообменников полнота процесса прямоточного аппарата будет меньше противоточного. Отношение разности полноты процессов $P_1 - P_2$ к полноте процесса при противотоке будет равно:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P} = \frac{2\rho_1\rho_2 \left(\frac{\text{sh } \rho_1}{\rho_1} - \frac{\text{sh } \rho_2}{\rho_2} \right)}{(\rho_1 + \rho_2)(e^{\rho_1} - e^{\rho_2})}, \quad (17)$$

где

$$\rho_1 = \frac{\alpha}{1 + \Theta}, \quad \rho_2 = \frac{\beta\Theta}{1 + \Theta}.$$

Так как среда, характеризуемая координатой ρ_1 , является основной и практически определяется условиями технологии, то очевидно, что равенства полноты процессов можно добиваться только изменением параметра ρ_2 прямоточного теплообменника.

Обозначим параметры, относящиеся только к прямоточному теплообменнику, через ρ_1 , ρ_2 и т. д.

Таким образом, условие равенства полноты процесса накладывает связь на параметры ρ_2 , ρ_1 , ρ_2 , которая выражается соотношением:

$$\rho_2 = f(\rho_1, \rho_2). \quad (18)$$

На рис. 2 представлены графические зависимости, выраженные уравнением (18).

Подставляя найденные значения ρ_2 в выражения инерционности

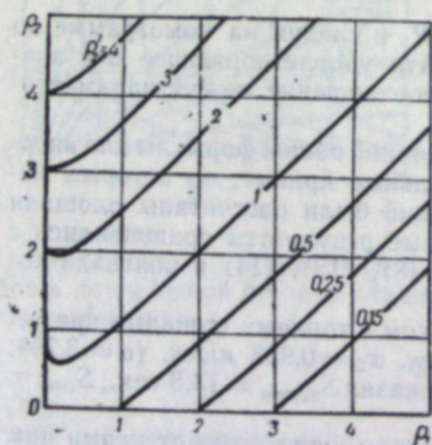


Рис. 2.

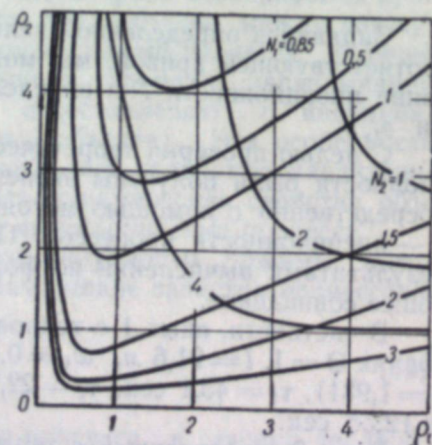


Рис. 3.

* Под производительностью в данном случае понимается объемная скорость прохождения через аппарат данного теплоносителя.

прямоточного теплообменника (11), (12) и (14), получим в каждом случае значение инерционности такого прямоточного теплообменника, у которого полнота процесса и производительность по основной среде равны соответствующим показателям противоточного аппарата с характеристиками ρ_1 , ρ_2 . Свойства противоточного аппарата описаны ранее в работе [1].

У теплообменников, эквивалентных в смысле производительности и полноты процесса, при различных значениях ρ_1 , ρ_2 и $\rho_2 = f(\rho_1, \rho_2)$ соотношение инерционностей может быть различным.

В том случае, когда требуется высокая точность стабилизации выходной температуры, необходимо выбирать определенную схему процесса (противоток или прямоток), обеспечивающую максимальную его инерционность. При этом будет достигнуто лучшее качество регулирования температуры на выходе аппарата.

Диаграмма, облегчающая задачу выбора определенной схемы процесса, приведена на рис. 3.

На диаграмме приведены численные значения отношения

$$\frac{T_1}{T_3} = N_1,$$

где T_1 — выражение инерционности (11),

$$T_3 = \frac{\rho_1\rho_2(1 + e^{\rho_2 - \rho_1})}{(\rho_1 - \rho_2)(\rho_1 - \rho_2 e^{\rho_2 - \rho_1})} \cdot \left[1 - \frac{\text{th } \frac{\rho_1 - \rho_2}{2}}{\frac{\rho_1 - \rho_2}{2}} \right]$$

— инерционность противоточного процесса, выраженная в безразмерных единицах времени.

На этой же диаграмме приведены численные значения отношения

$$\frac{T_2}{T_3} = N_2,$$

где T_2 — выражение инерционности (13).

Так как при этом $T_{1,2}$ и T_3 выражались в разных безразмерных единицах, то для получения окончательного результата нужно эти отношения N_1 и N_2 умножить на коэффициент λ :

$$\lambda = \left| \frac{\tau_1' - \tau_2'}{\tau_1 + \tau_2} \right|.$$

Выводы

1. В результате анализа регулирующих свойств прямоточных теплообменников получены в общем виде и в критериальной форме выражения инерционности и регулируемости этих объектов.

2. Приведенные в работе номограммы позволяют учитывать при расчете теплообменных аппаратов требования устойчивости процесса или его регулируемости.

3. В результате сравнения прямоточных аппаратов с противоточными получены диаграммы, которые дают возможность оценивать при практических расчетах теплообменников преимущества того или иного способа осуществления процесса в отношении его устойчивости и регулируемости.

Список сокращенных обозначений

- u_1, u_2 — температуры первой и второй сред,
 v — температура разделяющей стенки,
 x_1 — координата сечения теплообменника, отсчитываемая по направлению движения первой среды,
 w_1, w_2 — скорости движения сред,
 $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$ — коэффициенты пропорциональности изменения температуры,
 p_1 — периметр границы раздела стенки и первой среды,
 p — оператор дифференцирования,
 p_2 — периметр границы раздела стенки и второй среды,
 κ, κ' — коэффициенты теплопередачи,
 s_3 — площадь поперечного сечения разделяющей стенки,
 γ_3 — удельный вес стенки,
 c_3 — теплоемкость стенки.

ЛИТЕРАТУРА

- Б. Н. Девятков, Ю. Н. Корнев, Определение регулируемости противоточных теплообменных аппаратов. Сб. тр. Ин-та автоматики и электрометрии СО АН СССР, вып. 2, 1960.
- Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников с толстыми стенками. ДАН СССР, т. 130, № 1, 1960.
- Б. Н. Девятков, Определение характеристики инерционности и регулируемости технологических аппаратов в связи с задачей об оптимальных параметрах объекта и регулятора. Изв. АН СССР, ОТН, № 5, 1958.

З. Г. КАГАНОВ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ УЧЕТ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА
В ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Во многих теоретических и инженерных расчетах приходится оперировать величиной емкости обмотки электрической машины относительно корпуса. До настоящего времени этот параметр определялся опытным путем (для реальных объектов) или приближенными методами по геометрическим размерам машины.

В работе [1] было предложено определять емкость обмотки относительно корпуса по формуле плоского конденсатора. Поправка на краевой эффект учитывалась эмпирическим коэффициентом $k_1 = 1,05 \dots 1,08$. Аналогичные решения предлагались и другими авторами [2, 3]. В настоящей статье выбор коэффициента k_1 обосновывается аналитически.

Для вычисления емкости обмотки относительно корпуса с учетом краевого эффекта близ торцов прямоугольных проводников рассмотрим общую картину электрического поля по рис. 1. Будем считать пространство между проводниками и стенкой паза заполненным фиктивной однородной непроводящей средой, относительная диэлектрическая проницаемость которой равна по опытным данным [1]

$$\epsilon_r \approx 5,0 - 5,5.$$

Ограничимся рассмотрением картины поля, создаваемого средними витками секции, а в дальнейшем внесем необходимые поправки (см. приложения). Будем считать, что близ середины широкой стороны проводника (линия PQ) поле равномерно. Поэтому вторую половину витка и другую стенку паза можно не рассматривать, полагая их находящимися в бесконечности.

Заземленная стенка паза (AB) имеет нулевой потенциал, а смежные витки секции — различные потенциалы. Распределение силовых линий электрического поля между стенками паза и торцевыми частями

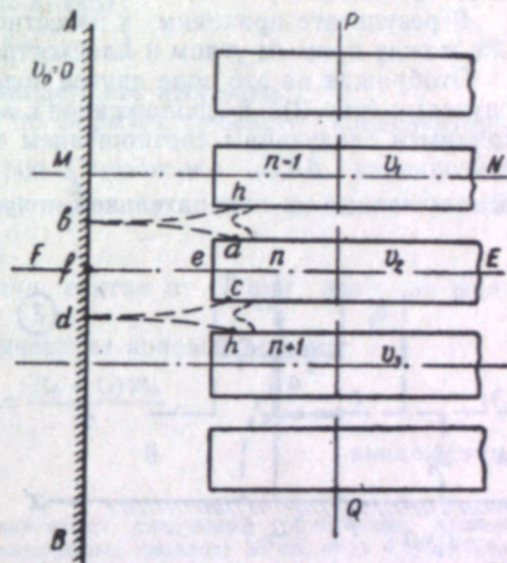


Рис. 1. Общая картина электрического поля между смежными витками и стенкой паза.

смежных витков зависят от соотношения этих потенциалов. При этом вследствие экранирующего действия стенок паза можно не учитывать влияние остальных витков данной секции.

Силовые линии, выходящие из любого среднего витка, частично замыкаются на стенке паза, частично — на смежных витках. Следовательно, имеются точки a и c , по одну сторону которых все силовые линии идут к стенкам паза, а по другую — к противоположным виткам. На стенках паза имеются точки b и d , которые разделяют силовые линии, идущие от витков $(n-1)$ -го и n -го или n -го и $(n+1)$ -го.

Разность потенциалов между стенкой паза и каждым из рассматриваемых витков значительно больше напряжения между ними. Поэтому можно предположить, что точки b и d находятся приблизительно на равных расстояниях от каждого витка.

Силовая линия $e-f$ совпадает с осью поперечной симметрии данного витка EF . Поэтому считаем поле между торцом среднего витка и стенкой паза симметричным относительно оси EF и ограничиваемся рассмотрением его части, охваченной силовыми линиями $a-b$ и $e-f$. Вторую четверть витка отодвигаем в бесконечность и исключаем из рассмотрения.

В результате приходим к известной задаче о плоско-параллельном поле между прямым углом и плоскостью [4].

Отображая на это поле другое поле, созданное двумя заряженными полуосями (рис. 2) и расположенное в верхней полуплоскости $Im(w) > 0$, зададимся следующим соотношением точек: вершинам вырожденного треугольника AKB_1 плоскости Z соответствуют точки $0, -1, -\infty$ расположенные на отрицательной полуоси U плоскости \bar{m} .

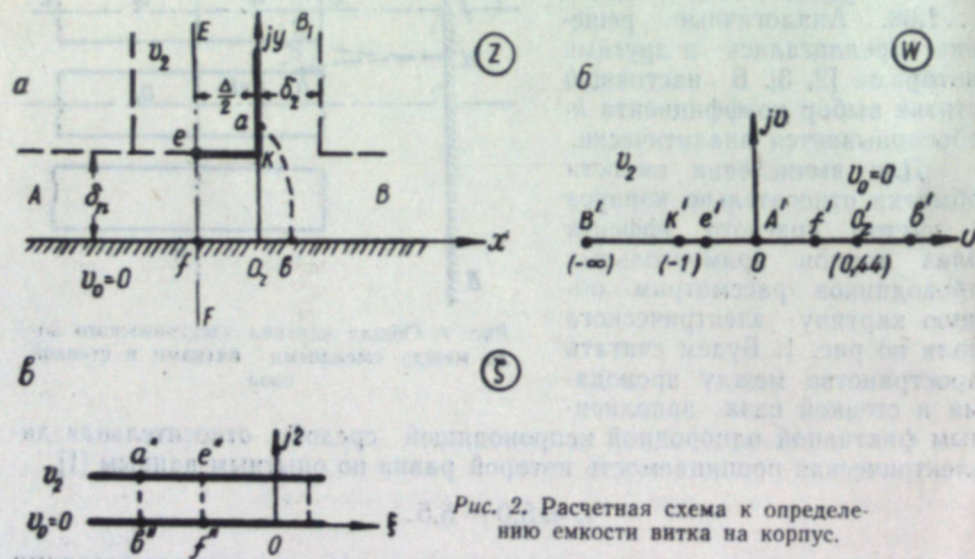


Рис. 2. Расчетная схема к определению емкости витка на корпус.

Пользуясь интегралом Кристоффеля-Шварца, можно написать следующие уравнения, связывающие точки плоскостей \bar{Z} и \bar{m} : для стороны угла, параллельной плоскости нулевого потенциала,

$$Z = \frac{\delta_n}{\pi} \left[2\sqrt{1-\psi} + \ln \frac{1-\sqrt{1-\psi}}{1+\sqrt{1-\psi}} \right] + j\delta_n; \quad (1)$$

для стороны угла, перпендикулярной плоскости нулевого потенциала,

$$\bar{Z} = j \frac{2\delta_n}{\pi} [\sqrt{\psi-1} + \operatorname{arctg} \sqrt{\psi-1}], \quad (2)$$

где ψ — абсолютное значение координаты точки, расположенной на действительной оси плоскости \bar{m} .

Отобразим далее на поле двух заряженных полуосей плоскости \bar{w} (рис. 2, б) равномерное бесконечно протяженное поле (рис. 2, в), лежащее в плоскости $\bar{\zeta}$.

Как известно, соотношение между этими полями дается выражением [4]:

$$\bar{\zeta} = \frac{1}{\pi} \ln w. \quad (3)$$

Пользуясь уравнениями (1—3), находим координаты точек ζ_b и ζ_f , соответствующих точкам b и f , в которых заканчиваются силовые линии, выходящие из точек a и e , расположенных с двух сторон угла K .

Искомая емкость между половиной рассматриваемого витка и стенкой паза равна (на единицу длины витка):

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_r (\zeta_b - \zeta_f), \quad (4)$$

где $\epsilon_0 \epsilon_r$ — диэлектрическая проницаемость изоляции.

Та же емкость, рассчитанная по формуле плоского конденсатора, равна

$$C_n = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\Delta}{2}, \quad (5)$$

где Δ — ширина меди витка,

δ_n — толщина пазовой изоляции, считая от стенки паза до меди обмотки.

Отсюда поправочный коэффициент на краевой эффект:

$$K_1 = \frac{C_p}{C_n} = \frac{(\zeta_b - \zeta_f) 2\delta_n}{\Delta}. \quad (6)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Рассмотрим конкретный пример.

Двигатель 450 л. с., 6 кв, 2450 об/мин имеет следующие обмоточные данные: 60 пазов, длину стали статора (без вентиляционных каналов) 38 см, медь $4,5 \times 1,68$ мм, толщину пазовой изоляции, включая витковую изоляцию проводников, 3,75 мм, толщину междувитковой изоляции $2 \times 0,4$ мм.

Обращаясь к рис. 2, а, получим:

$$\frac{\Delta}{2} = 0,084 \text{ см}; \quad \delta_n = 0,08 \text{ см}; \quad \delta_b = 0,375 \text{ см}.$$

Принципиально возможно произвести расчет емкости по точкам e и a . Однако координаты точки a неизвестны. Можно лишь предположить, что точка a находится на вертикальной стороне угла, выше точки K (см. рис. 2, а). Поэтому обратимся к точкам f и b , координаты которых можно определить по геометрическим размерам обмотки.

Как указывалось, точка f должна находиться на перпендикуляре, опущенном из середины торца проводника на стенку паза, т. е. на оси $E-F$, а точка b — на равных расстояниях от смежных витков, т. е. близ середины отрезка $M-F$ (рис. 1 и 2, а).

Таким образом, координаты точек f и b соответственно равны:

$$\bar{Z}_f = -\frac{\Delta}{2} = 0,084 \text{ см}; \quad \bar{Z}_b = \frac{\delta_b}{2} = 0,04 \text{ см}.$$

* В работе [4] формулы, аналогичные (1) и (2), содержат опечатки.

Подставляя эти значения в уравнения (1, 2), получим:

$$\omega_f = 0,23877; \omega_b = 0,50430.$$

Подставляя найденные выше значения ω_f и ω_b в уравнение (3), получим соответственно:

$$\zeta_f = 0,45585; \zeta_b = 0,21791.$$

Наконец, пользуясь формулой (6), определяем значение коэффициента k_1 , учитывающего поправку на краевой эффект:

$$k_1 = 1,06223.$$

Изложенная выше методика позволила определить для отечественных двигателей 3 и 6 кв 11—15 габаритов значения коэффициента

$$k_1 = 1,05...1,08.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Для практических расчетов емкости обмотки относительно корпуса можно пользоваться следующими формулами (обмотка из прямоугольной меди, один виток по ширине паза) [1]:

а) емкость одной секции фазы статора относительно корпуса

$$C_c = 8,85 \cdot 10^{-8} \epsilon_r l \left(k_1 \frac{4\Delta m}{\delta_n} + \frac{b}{\delta_x} \right), \text{ мкф}, \quad (7)$$

где $\epsilon_r \approx 5,0-5,5$ — усредненная относительная диэлектрическая проницаемость корпусной изоляции,

- l — длина стали статора в см (без учета вентиляционных каналов),
 - $\Delta \times b$ — высота и ширина обмоточной меди одного витка в см (без изоляции),
 - δ_n — расстояние от меди обмотки до стенки паза в см,
 - δ_x — то же до дна паза,
 - m — число витков в секции,
 - $k_1 = 1,05-1,08$ — коэффициент, учитывающий поправку на краевой эффект;
- б) емкость одной фазы статора относительно корпуса

$$C_\phi = k_2 \frac{Z}{6} C_c \text{ мкф}, \quad (8)$$

где Z — число пазов статора,

- k_2 — «коэффициент исполнения» машины,
- $k_2 = 1,0$ — открытое исполнение,
- $k_2 = 1,03-1,04$ — полузакрытое исполнение,
- $k_2 = 1,05-1,07$ — закрытое исполнение.

В качестве примера рассчитаем емкость обмотки статора относительно корпуса для двигателя ДАМСО 15—8—8, 6 кв, 380 квт, 735 об/мин. Обмотка из прямоугольной меди $4,4 \times 1,25$ мм, по 2 проводника в параллель, 72 паза, 13 витков в секции, длина стали статора (без вентиляционных каналов) 33,0 см.

Подставляя эти данные в уравнения (7, 8), получим при $\epsilon_r = 5,0$ и $k_2 = 1,0$:

$$C_\phi = 7796 \text{ пф/фазу.}$$

Измерения, перечисленные по формулам [1], дают величину:

$$C_\phi = 7830 \text{ пф/фазу.}$$

Расчетная величина емкости составляет 99,57% от измеренной.

Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
15/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Г. Каганов, Емкостные параметры обмоток электрических машин. Тр. Ленингр. политехн. ин-та, вып. 209, 1959.
2. E. Friedländer, Traveling waves in high voltage alternator windings. JIEE, p. II, № 11, 1942.
3. В. А. Люлько, О. М. Мамонтова, Емкостные характеристики обмоток электрических машин. Отчет Ленингр. фил. НИИЭП, 1959.
4. К. А. Круг, Основы электротехники, т. I. ГНТИ, 1931.

Н. Г. КАПУСТИН

ОСНОВНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ УСТАНОВЛЕНИЯ ТИПОРАЗМЕРА КОМБАЙНА И ДЛИНЫ ЛАВЫ

В настоящее время в теории и практике сложился определенный порядок проектирования механизированной лавы, состоящий в непрерывной последовательности при решении таких вопросов: 1) выбор типоразмера комбайна и назначение глубины вруба, 2) разработка паспорта управления кровлей и 3) выбор длины лавы, исходя из директивной установки осуществления одного цикла в сутки и полномерной загрузки комбайна, ранее выбранного без учета будущего результата расчета длины забоя. Такой порядок расчета базируется на догме подчинения линейных параметров системы разработки заданному типоразмеру комбайна. С этим нельзя согласиться, так как при отборе рационального состава машин необходимо для каждого состава механизмов запроектировать длину лавы, технику и технологию очистных работ, подсчитать технико-экономические показатели по забою и на этой основе выявить лучший вариант механизации.

Следовательно, теория проектного обоснования рациональной длины лавы должна служить не только для осуществления этой длины в натуре, но и для объективной оценки вариантов механизации забоя. По логике расчета для обеспечения сопоставимости показателей двух комбайнов требуется предварительно найти для каждого из них длину лавы и не любую, а экономически самую выгодную, далее называемую оптимальной.

Охарактеризованный выше порядок проектирования из трех последовательных этапов является следствием узкого толкования экономического содержания проблемы выбора длины механизированной лавы, пренебрежения тесными взаимными связями главных параметров очистного забоя: глубины вруба, длины лавы и продолжительности цикла во времени.

В прошлом, когда широкозахватные комбайны представляли собой новую технику, а количество их типоразмеров было ограничено, изложенная последовательность расчетов была удовлетворительной.

Однако новая техника замещается новейшей — появились узкозахватные комбайны, обладающие определенными преимуществами: 1) облегчено применение конвейеров неразборной конструкции с передвижкой головок конвейера через три ленты; 2) лучше используется явление отжима угля в связи с применением консольного крепления машинной дорожки; 3) используется механизированная выемка пласта с переменной мощностью; 4) устранен грузчик — наиболее аварийный узел при работе широкозахватного комбайна, погрузка угля производится лемехом-востокшей; 5) в связи с умеренной длиной лавы и малой глубиной вруба обеспечивается от 6 до 9 циклов в сутки; циклическая работа лавы с ее

пресловутым разделением функций по сменам заменяется новой прогрессивной поточной системой труда, при которой в 6-часовую смену выходит комплексная бригада механизаторов и совершает от начала до конца два цикла выемки вместо одного цикла в сутки для широкозахватного комбайна; такая поточная организация имеет индустриальный характер, конкретизирует задачу забойной бригады и нацеливает на комплексную механизацию и автоматизацию всей технологии; б) деконцентрируется план угледобычи на большее число узкозахватных комбайнов; тогда в случае аварийного простоя одного из нескольких комбайнов не происходит резкого уменьшения добычи шахты, на которую разверстывается заработная плата условно-постоянного штата трудящихся, обязательная к полномерной выплате вне зависимости от успеха угледобычи.

Нетрудно понять, что суммы экономии на амортизации предельно нагруженного широкозахватного комбайна в чрезмерно длинной лаве оказываются мизерными по сравнению с зарплатой 30—40 рабочих и стоимостью материалов на крепление лавы в период ее простоя. Наоборот, применение узкозахватных комбайнов уменьшает убытки от простоя пропорционально увеличению числа этих комбайнов.

Известна весьма успешная работа узкозахватных комбайнов как на зарубежных, так и на отечественных угольных шахтах. Между тем выработанная ранее теория рациональной длины лавы не только не пригодна для узкозахватных комбайнов, но даже противодействует внедрению этой новой техники, ибо лишает возможности уловить ценнейшее новое качество в технологии — быстрое продвижение лавы.

Современные исследования, посвященные проблеме длины лавы (их аннотацию см. в работах [1, 2]), содержат математическую обработку статистических данных о показателях в лавах различной длины. Работы этого направления [3—5], казалось бы, привлекательны объективностью преподносимого информационного материала: однако авторы обобщают и усредняют показатели самых разнообразных лав, пытаются выявить закономерности и дать рекомендацию о рациональной длине лавы с абстрактно усредненными условиями работы, возлагая надежду на тот счастливый случай, когда условия разработки новых пластов будут тождественны выявленному абстрактному типу. Этот чисто эмпирический путь решения задачи эвентуален, и на нем нельзя базировать теорию горного проектирования.

Другие исследования [2, 6—8] аналитического характера содержат рекомендации, построенные на ошибочной предпосылке, к сожалению, ставшей традиционной: одни из этих авторов отрицают связь длины лавы с ее продвижением, другие отрицают само существование экономически наиболее выгодной длины лавы, третьи отрицают то и другое вместе. Такие ошибочные суждения высказывает, например, К. Ф. Сапицкий. Он пишет: «Противопоставление длины лавы ее продвижению считаем неверным» [2, стр. 8]. И далее: «Кривые учтенных затрат по процессам внутри лавы и вне ее имеют вид выполаживающихся гипербол» [2, стр. 69]. Не обнаружив оптимальной длины лавы, К. Ф. Сапицкий и ряд других авторов принуждены на «выположенной гиперболе» избирать длину лавы по организационно-техническим соображениям: по зарубке, вентиляции, доставке, волевого решению об одном цикле в сутки, при этом экономическое содержание проблемы по-прежнему остается нераскрытым.

Все это говорит о неполноценности существующей установки наложения жестких условий на задачу о длине лавы в виде либо требования одного цикла в сутки, либо максимальной глубины вруба. Метод уста-

новления длины лавы, когда в исходных данных фигурируют как «объективно» известные (подобно углу падения и мощности пласта) глубина вруба и число циклов в сутки, по существу, является не более чем подражанием минувшему опыту работы. Если же наряду с отрицанием понятия экономически наиболее выгодной длины лавы предположить глубину вруба, число циклов величинами искомыми, то задача о длине лавы в такой постановке вопроса по существующей методике, скажем, К. Ф. Сапицкого [2] и других, вообще будет неразрешимой.

Не менее важен и второй вопрос — о влиянии длины лавы на ее подвигание, который имеет свою историю. Одни авторы признают эту связь [7, 9], вторые отрицают, хотя те и другие ссылаются на производственный опыт. Из-за разных следствий, вытекающих из рассмотрения статистических материалов, сами эти материалы теряют научную достоверность.

Однако вопрос об уменьшении подвигания лавы при увеличении ее длины обойти невозможно, ибо количественное выражение этой связи позволяет наиболее успешно раскрыть экономическое содержание проблемы, состоящее в убеждении, что существует экономически наиболее оптимальная длина очистного забоя. О закономерности существования оптимальной длины лавы впервые было сказано в работах [7, 10], но из-за некоторых недостатков этих работ (кстати, устранимых) к ним было проявлено незаслуженное пренебрежение.

Ввиду изложенного, гипоразмер комбайна и длина лавы должны устанавливаться совместно следующим расчетом.

Вначале осуществим анализ себестоимости добычи угля как функции длины лавы. Введем обозначения: ϵ_0 — прямые затраты на добычу 1 м³ угля внутри лавы, независимые от длины лавы и фактора времени или скорости подвигания забоя; K — прямые затраты внутри лавы и участка, приходящиеся на 1 пог. м простирания, независимые от скорости подвигания забоя и разверстываемые на подготовленные запасы угля одного этажа. Заметим, что некоторые авторы, например К. Ф. Сапицкий [2], ошибочно сумму K формируют за счет полной стоимости проведения ниш и промштреков вместо правильного учета только удорожания попутно добытого угля.

Пусть затраты на добычу 1 м³ угля в лаве — ϵ_0 , а в нишах и промштреках попутно добытого угля — ϵ_n . Тогда средняя взвешенная стоимость будет: $\epsilon_0 = [\epsilon_0(x - l_n) + \epsilon_n l_n] : x = \epsilon_0 + l_n(\epsilon_n - \epsilon_0) : x = \epsilon_0 + \frac{K}{x}$.

Производственные издержки, пропорциональные только календарному времени и совершаемые предприятием независимо от успеха работы лавы, обозначим W ; эта конкретная величина разверстывается на фактически добытое количество угля. Затраты, формирующие сумму W , следующие: а) заработная плата временно оплачиваемым рабочим, служащим, ИТР, МОП на поверхности шахты, включая шахтный подъем и центральный вентилятор, по формуле [11]: $(4,9A + 3 \cdot 10^6)$ руб., где A — годовая добыча шахты; б) то же, по горизонту и эксплуатационным участкам, включая рудничную откатку и поддержание штреков основного направления, согласно специальной калькуляции — 1,2 — 1,5 млн. руб. в год, где меньшее значение 1,2 — для шахтогоризонтов производительностью 0,3 — 0,6 млн. т/год; в) капитальный ремонт зданий и сооружений по формуле [11]: $(0,22A + 0,11 \cdot 10^6)$ руб. в год и г) амортизация стационарного оборудования по вспомогательным и обслуживающим процессам, включая шахтный подъем, водоотлив, вентиляцию и откатку, по формуле [11]: $(A + 0,15 \cdot 10^6)$ руб. в год. Всего по пунктам а — г: $(6,12A + 4,46 \cdot 10^6)$ руб. в год.

Годовая добыча в общем случае обеспечивается разработкой нескольких пластов суммарной мощностью Σm . Поэтому названные постоянные расходы разверстываем на каждый пласт прямо пропорционально его мощности:

$$W = (6,12A + 4,46 \cdot 10^6) \frac{m}{\Sigma m} \text{ руб. в год.} \quad (1)$$

Выражение (1) следует понимать в том смысле, что потеря скорости и добычи по проектируемому пласту не компенсируется за счет интенсификации разработки смежного пласта, так как и смежный пласт разрабатывается по оптимальному режиму, установленному аналогичными расчетами.

Здесь и далее: m — рабочая мощность пласта, h — наклонная высота шахтного этажа как суммарная линия очистных забоев по линии падения; x — наклонная высота подэтажа (длина лавы) без учета подэтажных целиков; F — годовая выработка комбайна в м² вырубленного пласта, в том числе площадь ниш. Выработку F можно установить по отчетным данным [12], сведенным в таблицу.

Таблица

Бассейн	Число комбайнов, работавших в 1955 г.	Фактически зарубленная площадь, м ² в месяц на комбайн
Донецкий	1505	3365
Кузнецкий	147	3580
Печорский	138	3726
Карагандинский	159	4111

Средневзвешенное значение $(1 \pm 0,06) \cdot 3450 \text{ м}^2$

Несмотря на все различие горно-технических и естественно-геологических условий в угольных бассейнах страны, имеется основание выявлять среднюю месячную выработку комбайна, относительно которой частичные наблюдения имеют среднеквадратичное отклонение $\pm 6\%$. Обращение к опыту зарубежных шахт также показывает возможность выработку комбайна, в кв. метрах в месяц зарубленной площади, принимать величиной постоянной. Например, в IV квартале 1953 г. 120 широкозахватных комбайнов на шахтах Англии при 2 угольных сменах в сутки показали выработку 2900 м² [13], что на 16% ниже показателя отечественных комбайнов, являющихся более совершенными машинами.

Рассматривая выработку комбайна по площади величиной параметрической, годовую площадь F зарубки можно выразить так:

$$F = Ux = \text{константа}; \quad U = \frac{F}{x}, \quad (2)$$

где F в общем случае может быть выработкой комбайна, врубовой машины, струга или другого выемочного комплекса;

U — подвигание лавы в год.

В принятых обозначениях учтенные затраты на добычу 1 м³ угля составят сумму:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \frac{K}{mx} + \frac{W}{mhU} = \epsilon_0 + \frac{C_1}{x} + C_2x, \quad (3)$$

где

$$C_1 = \frac{K}{m}, \quad C_2 = \frac{W}{mhF}. \quad (4)$$

Экономически невыгодную длину лавы x_0 находим решением уравнения:

$$\frac{d\epsilon}{dx} = -\frac{C_1}{x^2} + C_2 = 0 \text{ или } x_0 = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}. \quad (5)$$

Погрешность калькуляции расхода ϵ обусловит некоторые крайние значения длины лавы, при которых логично ожидать минимальные затраты на угледобычу. Выявим диапазон погрешности пользования формулой (5) при ошибке калькуляции Δ :

$$\epsilon_0 + \frac{C_1}{x} + C_2 x = \epsilon_0 + \left(\frac{C_1}{x} + C_2 x\right)(1 + \Delta).$$

Возникает квадратное уравнение, которое решаем относительно x :

$$2\sqrt{C_1 C_2}(1 + \Delta)x = C_1 + C_2 x^2 \text{ или } x^2 - 2(1 + \Delta)x_0 x + x_0^2 = 0, \quad (6)$$

откуда

$$x_1 = [1 + \Delta + \sqrt{(2 + \Delta)\Delta}]x_0; \quad x_2 = [1 + \Delta - \sqrt{(2 + \Delta)\Delta}]x_0. \quad (7)$$

Корни x_1, x_2 уравнения (6) показывают длины лавы, в пределах которых себестоимость угледобычи будет минимальной и равной

$$\epsilon_m \leq \epsilon_0 + (1 + \Delta)2\sqrt{C_1 C_2} \text{ руб./м}^3. \quad (8)$$

Выбор рациональной длины лавы нельзя ограничивать только признаком наименьших стоимостных затрат; необходимо также обеспечивать высшую производительность труда рабочих шахты на отработанную смену. Поэтому исчерпывающее понятие правильной длины лавы можно сформулировать так: оптимальной длиной лавы будет такой ее технически достижимый размер, установленный с учетом полнотного использования новой забойной техники и требований правил безопасности, при котором себестоимость угледобычи будет минимальной, а производительность труда по шахте — наивысшей. Рассмотрим показатель производительности труда.

На протяжении одного года трудящиеся шахты сделают общее количество выходов на работу Z ; это количество складывается по следующим направлениям:

1. Содержание «поверхности», горизонта и участков обеспечивается условно-постоянным штатом [11] из N человек, совершающих за год $Z_1 = 300 iN \frac{m}{\Sigma m}$ выходов, разверстываемых пропорционально мощности одновременно разрабатываемых пластов Σm ; сюда же входят ремонтные рабочие по поддержанию штреков основного направления; i — коэффициент списочного состава.

2. Выполнение очистной выемки в забое по полному циклу операций, включая доставку на промштреках и ремонтные работы, производится бригадой из n человек суточного состава, совершающих в год $Z_2 = 300 i n \frac{h}{x}$ выходов.

3. На проведение всех штреков и ниш по проектируемому пласту задалживается $Z_3 = i \frac{\varphi Q}{p} \cdot \left(\frac{h}{x} + 1\right)$ выходов,

где

$$\varphi = \frac{T}{\tau} = \frac{Tv}{x} - \text{число очистных циклов в год}; \quad (9)$$

$T = 300 t$ — продуктивное (в отношении выполнения цикла очистной выемки) время в год, час.; t — количество продуктивных часов в сутки; τ — время одного цикла; v — средняя часовая скорость комбайна за полный период цикла. Время цикла $\tau = [x - 2(L_n + L_w)]\eta + \tau_0$, где $L_n + L_w = 7$ — длина ниши и штрека, τ_0 — время монтажа и демонтажа комбайна, равное 2 час., η — расход времени на пог. м лавы при движении комбайна. Тогда

$$v = \frac{x}{\tau} = \frac{x}{\tau_0 + \eta(x - 14)}. \quad (10)$$

Введем обозначения: R — глубина вруба, ϕ — количество выходов рабочих, необходимое для проведения штреков и ниш на пог. м подвигания лавы в обеих ее кутках. Оно устанавливается по нормировочнику в следующем порядке: норма выработки в нише p_n и в штреке p_w , $m^3/вых.$, кубатура на пог. м простираения двух ниш — V_n и двух штреков — V_w .

$$\phi = \frac{V_n}{p_n} + \frac{V_w}{p_w}.$$

Например, $\phi = \frac{2 \cdot 5 \cdot 1,5}{5} + 10 : 1,5 = 10$ выходов, что составляет исковую выработку по нишам и штрекам $p = 0,1$ пог. м/вых.

$$Z_3 = \frac{300iR\phi h}{p} \cdot \frac{1}{x^2} + \frac{iRTv}{p} \cdot \frac{1}{x}.$$

$$Z = \sum_1^3 Z = 300iN \frac{m}{\Sigma m} + 300in \frac{h}{x} + 300iR\phi h \frac{1}{px^2} + \frac{iRTv}{px}.$$

Здесь скорость v является функцией длины лавы x и берется в вариантном значении, а далее устанавливается способом постепенного приближения, как это показано в последующем числовом примере.

Общее количество выходов в год Z тем меньше, чем больше длина лавы. Однако с удлинением лавы уменьшается ее подвигание по формуле $U = \frac{F}{x}$, а следовательно, снижается годовая добыча $mhU = mhF : x$.

Поэтому производительность труда P будет в сложной зависимости от длины лавы:

$$P = mhF : xZ,$$

или после подстановки и преобразований:

$$P = \frac{Dx}{ax^2 + bx + c}, \quad (11)$$

где

$$a = 300iN \frac{m}{\Sigma m}; \quad b = 300in h + \frac{iTRv}{p}; \quad c = \frac{300iR\phi h}{p}; \quad D = mhF. \quad (12)$$

Функция (11) приобретает максимум:

$$P_m = \frac{D}{2\sqrt{ac + b}} \quad (13)$$

при оптимальной длине лавы

$$x_p = \sqrt{\frac{c}{a}} = \sqrt{\frac{Rh \Sigma mtv}{pNm}} \quad (14)$$

Формулу (14) проверяем на физическую размерность величины и убеждаемся в ее логичности:

$$\sqrt{\frac{\frac{м \cdot м \cdot м \cdot час \cdot \frac{м}{час}}{м \cdot чел \cdot м}}{м \cdot чел \cdot м}} = м$$

Если

$$ht \Sigma m : pNm = Q^2, \text{ то } x_p = Q \sqrt{Rv}. \quad (15)$$

Заметим, что произведение Rv есть часовая выработка пласта в $м^2$, величина параметрическая для комбайна. Очевидно, для увеличения оптимальной длины лавы, например в 2 раза, потребуется мощность мотора, прямо пропорциональную произведению Rv , увеличить в 4 раза. В этом отношении современная тенденция горного машиностроения, состоящая в увеличении мощности мотора комбайна, является прогрессивной.

Ввиду наличия погрешности вычислений интерес представляет значение функции (11) от P_m до $(1 - \Delta) P_m$. Учитывая это, напишем:

$$\frac{Dx}{ax^2 + bx + c} = (1 - \Delta) \frac{D}{2\sqrt{ac} + b}$$

Решаем данное уравнение:

$$(1 - \Delta) ax^2 + (1 - \Delta) bx + (1 - \Delta) c = 2\sqrt{ac} \cdot x + bx.$$

Далее можно принять $(1 - \Delta) bx \approx bx$, где Δ в 10—20 раз меньше 1.

Тогда $x^2 + \frac{c}{a} = \frac{2}{1 - \Delta} \sqrt{\frac{c}{a}} \cdot x$, где $\frac{c}{a} = x_p^2$, $x^2 - \frac{2x_p}{1 - \Delta} x + x_p^2 = 0$;

искомые корни последнего уравнения и будут пределами длины лавы с высшей производительностью труда:

$$x_p' = \left[\frac{1}{1 - \Delta} - \sqrt{\frac{2\Delta - \Delta^2}{(1 - \Delta)^2}} \right] x_p; \quad x_p'' = \left[\frac{1}{1 - \Delta} + \sqrt{\frac{2\Delta - \Delta^2}{(1 - \Delta)^2}} \right] x_p. \quad (16)$$

Рассмотрим конкретный пример экономического обоснования типа комбайна и длины лавы для отработки пласта при следующих условиях: $\Sigma m : m = 3$, $N = 150$ чел., $h = 360$ м, $K = 1450$ руб/м, $W = 850\,000$ руб., $t = 12$ час. (после вычета резерва времени, неустранимых простоев, времени на управление кровлей), $p = 0,1$ пог. м/вых. В ходе расчетов противопоставляем два комбайна: «Донбасс-2» и К-52Д, причем в заданных условиях техническая пригодность обеих машин считается установленной.

Вариант «Донбасс-2». $R = 1,45$ м, $v = 16$ м/час (предположительно). По формуле (14) $x_p = 141$ м. Для $x_p = 141$ по формуле (10) имеем $v = 13,4$ м/час. Для $v = 13,4$ по формуле (14) $x_p = 128$ м, которые, будучи подставленными в формулу (10), дают скорость $v = 13,3$ м/час. Этим рядом постепенно приближаемых ответов вычисления ограничиваем.

Тогда по формуле (16) при $\Delta = 0,05$ определяются экономические пределы длины лавы от 93,5 до 175 м, в том числе 90, 120 и 180 м — длины, кратные высоте шахтного этажа 360 м.

По условию достижения наименьшей себестоимости угледобычи получим длину лавы по формуле (5) $x_0 = 159$ м с предельными значениями по формулам (7) от 116 до 218 м, в том числе 120 и 180 м — длины,

кратные высоте этажа. Наложение диапазонов, выявленных по формулам (7), (16), имеет место для длин 120 и 180 м.

Вовлекая в анализ горно-технические условия (управление кровлей, целое число циклов в сутки, скорость воздуха по лаве, более полную загрузку ведущих механизмов и т. д.), решаем принять длину лавы 120 м. При такой длине по формулам (3), (11) получим такие показатели: производительность труда по шахте $p_m = 2,2$ м³/вых, и себестоимость $(\epsilon_m - \epsilon_0) m = 18,9$ руб/м².

Вариант К-52Д. Аналогичные расчеты повторяем в тех же условиях, приняв узкозахватный комбайн с глубиной вруба $R = 0,6$ м. Тогда по формуле (15) имеем $x_p = 22,7 \sqrt{v}$. Расход времени на 1 пог. м лавы для челнокового узкозахватного комбайна $\eta = 0,05$; $v = \frac{x}{1 + 0,05x}$.

Задавшись предварительным значением $v = 15$ м/час, получаем в первом приближении $x_p = 22,7 \sqrt{15} = 87,5$ м. Вторичное значение скорости

$v = \frac{87,5}{1 + 0,05 \cdot 87,5} = 16,3$ м/час, которой будет соответствовать длина лавы $x_p = 22,7 \sqrt{16,3} = 91,5$ м с диапазоном от 67 до 125 м.

Этим рядом вычислений по методу постепенного приближения ограничиваемся, так как последующее $v = \frac{91,5}{1 + 0,05 \cdot 91,5} = 16,1$ м/час

представляет искомую константу.

Годовую выработку узкозахватных комбайнов по опыту работы принимаем несколько больше ($F = 50\,000$) по сравнению с выработкой широкозахватных комбайнов, для которых выше было принято $F = 12 \cdot 3450 = 41\,000$ м² в год. Тогда по формуле (3): $(\epsilon - \epsilon_0) m = \frac{1450}{x} +$

$\frac{850000x}{360 \cdot 50000}$; $x_0 = 175$ м с диапазоном равноэкономичных значений

от 128 до 240 м, в том числе значения, кратные высоте этажа, — 120 и 180 м. Совмещая диапазоны допустимых отклонений от экстремума, усматриваем единственное правильное значение длины лавы в решаемом примере 120 м, при котором учтенные затраты по формуле (3) будут $(\epsilon_m - \epsilon_0) m = 17,7$ руб. на 1 м² вырубленного пласта; это на 7% дешевле аналогичного показателя комбайна «Донбасс-2». Однако производительность труда в варианте узкозахватного комбайна в данном примере составит по (13):

$P_m = \frac{17,7 \cdot 120}{0,016 \cdot 120^2 + 3,23 \cdot 120 + 138} = 2,8$ м³/вых, что больше показателя широкозахватного комбайна на 30%.

Итак, в решаемом методическом примере оказался рациональным комбайн К-52Д в лаве длиной 120 м (в том числе 10 м ниши), обеспечивающий высшую производительность труда при минимальной себестоимости угледобычи.

В целях контроля результатов изложенного аналитического расчета необходимо для сопоставленных комбайнов детально разработать проект очистного цикла, что не составит особых трудностей, поскольку оптимальная лава оказалась известной. В ходе такого проекта проверяются длина лавы на полноту загрузки ведущих механизмов, скорость воздуха, приуроченность завершения одноименных операций цикла к концу одной и той же смены в разных сутках (режимность технологии во времени) и прочие требования.

Такой совместный учет экономических и горно-технических соображений позволит добиться дальнейших успехов в работе очистных забоев, а следовательно, и всей шахты. Ради этого должны быть проведены наблюдения за новыми параметрами F , v , η , n , t , p и другими, необходимыми для применения изложенного аналитического расчета.

Томский
политехнический институт

Поступила в редакцию
10/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Шевяков, Основы теории проектирования угольных шахт. Углетехиздат, М., 1958.
2. К. Ф. Сапичкий, Определение рациональной длины лавы при выемке комбайном «Донбасс». Углетехиздат, М., 1957.
3. А. Л. Малец, О характере зависимости между длиной лавы и производительностью труда рабочего. Уголь, № 8, 1956.
4. Н. М. Нечипоренко, А. С. Миневич, О длине лавы в шахтах Подмосковного бассейна. Уголь, № 9, 1950.
5. Центргипрошахт. Сборник № 64, Углетехиздат, М., 1955.
6. Б. А. Розентретер, Определение длины лавы и размеров выемочного поля при механизированной разработке пологопадающих пластов в Донбассе. Уголь, № 5, 1954.
7. П. З. Звягин, Проектирование и расчеты элементов разработки пластовых месторождений. ОНТИ, 1935.
8. С. М. Гаркави, Влияние естественных условий угольного месторождения и технических условий его эксплуатации на выбор наивыгоднейшей длины лавы на пологом падении. Тр. ВУГИ, т. 11, ОНТИ, 1937.
9. И. Г. Кураков, О переходе на комплексную механизацию угольных шахт. Механизация трудоемких и тяжелых работ, № 1, 1948.
10. М. А. Подковский, Оптимальная длина лавы на крутом падении. Уголь, № 6, 1940.
11. Центргипрошахт. Сборник «Проектирование шахт», вып. II, 1957.
12. Министерство угольной промышленности СССР. Статистич. справочник «Угольная промышленность СССР», Углетехиздат, М., 1957.
13. Colliery Guardian, 24/IV 1954, №4869, p. 797.

С. С. ЧЕРНЯК,
Е. А. ТОЛСТИКОВА, Р. А. КУЗНЕЦОВ

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО СУЛЬФИДИРОВАНИЯ

Заинтересованность промышленности в применении и распространении процесса сульфидирования объясняется тем, что сульфидированный слой предохраняет трущиеся металлические поверхности от «схватывания», значительно повышая износостойкость деталей машин и режущего инструмента.

В предыдущей работе [1] мы изложили результаты исследований в области химико-термического сульфидирования режущего инструмента, которое осуществлялось с целью внедрения этого процесса в производство. Там же были приведены экспериментальные данные о структуре сульфидных пленок на металле.

Химико-термическое сульфидирование часто дает весьма положительные результаты, но этот процесс обладает некоторыми недостатками, в ряде случаев затрудняющими его практическое осуществление в большом масштабе. К числу таких недостатков можно отнести следующие:

- 1) длительность сульфидирования деталей в солевом расплаве;
- 2) необходимость применения дорогостоящих солей в значительных количествах и их тщательной подготовки (обезвоживание, специальные условия хранения и т. д.);
- 3) специфические условия работы с соевым расплавом.

Поэтому при продолжении исследований по сульфидированию инструмента мы сочли целесообразным изучить и другие варианты этого способа, в частности электрическое сульфидирование, которому и посвящена настоящая статья.

При изучении электролитического сульфидирования основное внимание было обращено на выявление оптимальных величин плотности тока и продолжительности электролиза. Исследовано влияние этих факторов на износостойкость образцов, которая сопоставлялась с износостойкостью химически никелированных деталей (известно, что этот процесс в настоящее время начинает применяться для аналогичных целей). Проведено послойное определение содержания серы в сульфидированных образцах, изучены их антизадирные свойства и микроструктура.

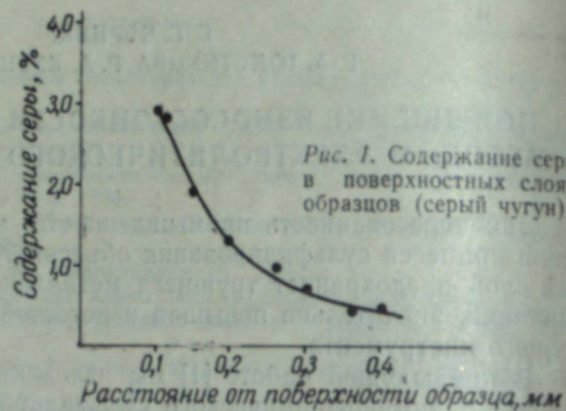
Сульфидирование проводилось в электролитической ванне объемом 4 л при температуре 90—98° С. В качестве электролита использовался водный раствор роданистого калия и гипосульфита [2]. Состав электролита приводится в табл. 1.

Катод изготавливался из листового свинца, анодом служили сульфидированные образцы. Разность потенциалов поддерживалась в пределах 10—12 в.

Исследования подтвердили, что электролитическое сульфидирование позволяет получить достаточно плотный и глубокий (до 0,3 мм) сульфидированный слой на поверхности металла. В целях определения количества серы в поверхностных слоях образцов из серого чугуна, сульфидированных по режиму $I = 0,5 \text{ а/дм}^2$ и $\tau = 1,0 \text{ час.}$, с них снималось 4 слоя металла, каждый глубиной 0,1 мм. Содержание серы на глубине 0,1 мм составляет 3%, а затем постепенно снижается до 0,5% (рис. 1).

Таблица 1
Состав электролита для сульфидирования

Состав ванны	Содержание	
	г/л	%
Роданистый калий (KCNS)	42,5	85
Гипосульфит ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	7,5	15



Микроструктура электролитически сульфидированных образцов и деталей изучалась после травления свежеприготовленным 5% водным раствором уксусной кислоты. Как показано в табл. 2, составленной по результатам изучения микроструктур в зависимости от условий сульфидирования, глубина сульфидированного слоя при постоянной плотности тока зависит от времени электролитической обработки образцов.

Таблица 2
Глубина сульфидированного слоя в зависимости от продолжительности электролиза (сталь 9ХС)

№ образца	Название образца	Режим сульфидирования		Глубина сульфидированного слоя, мм
		плотность тока, а/дм^2	время, мин.	
13	Плашка	0,5	30	0,08—0,1
14	"	0,5	60	0,14—0,15
27	"	0,5	90	0,18—0,20

Микрофотографии показывают, что структура электролитически сульфидированных образцов в сталях и чугунах практически одинакова.

На рис. 2 показана микроструктура поверхностного слоя плашки (сталь 9ХС) после электролитического сульфидирования, проведенного по режиму $I = 0,5 \text{ а/дм}^2$ и $\tau = 90 \text{ мин.}$

Параллельно для сопоставления изучались микроструктура и некоторые показатели химически никелированных образцов. Никелирование проводилось в ванне:

- 1) никель сернокислый $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 30 г/л;
- 2) натрий уксуснокислый $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — 10 г/л;
- 3) гипофосфит натрия $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ — 10 г/л.

На периферии шлифов химически никелированных образцов также наблюдается черная плотная полоса, которая, однако, отличается от



Рис. 2. Сталь 9ХС. Электролитическое сульфидирование. Травление 5% водным раствором уксусной кислоты (x100).

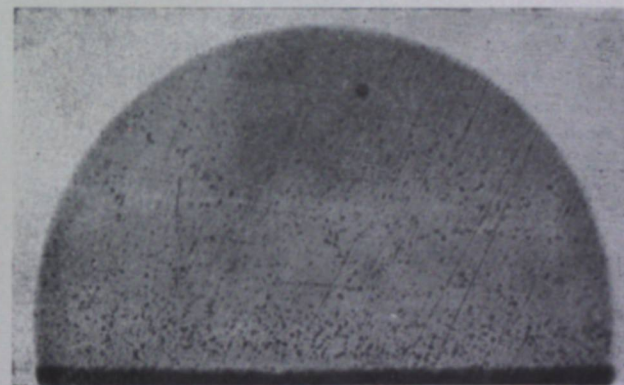


Рис. 3. Сталь 40Х. Химическое никелирование. Травление 5% раствором азотной кислоты в спирте (x100).

полосы сульфидированных образцов меньшей глубиной. Как известно, поверхностный слой после химического никелирования имеет сложную аморфную структуру с незначительной твердостью и слабым сцеплением покрытия с основным металлом. Покрытие становится износостойким лишь после термической обработки, которая заключается в отжиге при температуре 400° и повышает прочность сцепления покрытия с основным металлом.

Термообработка приводит к изменению структуры, переводя ее из аморфной в кристаллическую [3]. Микроструктура поверхности образца, прошедшего процесс химического никелирования, показана на рис. 3.

Образцы после никелирования подвергались отжигу при 400°. Твердость периферии образцов 35—45 R_c .

Электролитически сульфидированные образцы испытывались на задир по ранее описанной методике [1] из стали 40; 40X; 9XC, а также из серых антифрикционных и высокопрочных чугунов.

В табл. 3 приведены результаты испытания на задир образцов, просульфидированных в различных условиях — при различных продолжительностях электролиза и плотности тока.

Таблица 3
Результаты испытания на задир сульфидированных образцов

Материал образца	№ образца	Твердость образца после термич. обработки, H_v	Режим сульфидирован.		Длительность испытания, мин.	Результаты
			плотность тока, $I, a/dm^2$	длительность процесса, мин.		
Чугун модифицированный	117	461	0,5	30	1,5	задира нет
	104	477	0,5	60	1,5	"
	106	417	0,5	90	1,5	"
	114	241	не сульфидирован.		1,0	через 10 сек. начался катастрофич. износ
	101	241	0,5	180	1,5	задира нет
Сталь 40	15	407	0,5	60	1,5	задира нет
	5	395	1,0	60	1,5	"
	18	425	1,5	60	1,5	"
Сталь 40X	35	385	0,5	120	1,15	задира нет
	36	400	1,0	60	1,25	"
	39	419	1,5	60	1,15	незначит. риски

Как видно из табл. 3, образцы, подвергнутые электролитическому сульфидированию, обладают повышенными антизадириными свойствами.

Высокое сопротивление задиру оказывают чугуны. Обычный образец из чугуна выдерживает испытание на задир лишь в течение 5—10 сек., после чего наступает катастрофический износ, сульфидированные же образцы не получали задира при испытании в течении 90 сек. Электролитически сульфидированные образцы из стали 40 и 40X также характеризуются высоким сопротивлением износу и задиру по сравнению с обычными образцами из тех же марок сталей. В то же время химически никелированные образцы не отличаются высокой стойкостью: через несколько секунд на них образуются риски.

Испытание на задир образцов, подвергнутых разным видам сульфидирования (химико-термическое или электролитическое), показывает,

что способ, по которому осуществлено сульфидирование, почти не влияет на антизадирные свойства образцов.

Испытание на износ при трении скольжения производилось без смазки на машине трения МИ. Условия работы машины были взяты по схеме «полувкладыш — по валу». Вкладыш изготовлялся из испытуемого материала, ролик — из стали 40X. Для сталей при истирании нагрузка устанавливалась равной 100 кг, а для чугунов равной 38 кг. Испытание продолжалось в течение 23 мин., что соответствует 5000 оборотам ролика.

Продукты износа, полученные в результате истирания сульфидированных образцов, были подвергнуты химическому анализу (табл. 4). Установлено, что при истирании вынос продуктов, содержащих серу, зависит от технологического режима сульфидирования, в частности от плотности тока.

Таблица 4

Содержание серы в продуктах износа, полученных при истирании сульфидированных образцов на машине трения типа МИ (материал — сталь 40)

Режим сульфидирования		Число оборотов ролика		
плотность тока $I, \text{а/дм}^2$	время, час.	до 5000	от 5000 до 10000	от 10000 до 15000
		содержание серы, %		
1,5	1,5	2,775	0,488	—
1,0	1,5	0,701	0,061	0,053
0,5	1,5	0,213	0,91	0,061

В первый период истирания (до 5000 оборотов ролика) выносятся наибольшее количество серы, что следует отнести за счет фиктивного износа в процессе приработки. При дальнейшем истирании количество серы в продуктах износа медленно снижается.

При испытании образцов фиксировались величины моментов трения, графическая запись которых представлена на рис. 4.

Запись указывает, что образцы после электролитического сульфидирования отличаются более низкими величинами моментов трения по сравнению с образцами химико-термического сульфидирования, газового цианирования и химического никелирования. По влиянию на износостойкость образцов наиболее важное значение имеет величина плотности тока. Сульфидирование при плотности тока от 0,5 до 1,5 а/дм^2 показало, что даже в таком небольшом интервале значений плотности тока этот фактор значительно влияет на износостойкость сталей и чугунов. На рис. 5 показана износостойкость в зависимости от режима сульфидирования. Износ образцов повышается с увеличением плотности тока. Необходимо также отметить, что в опытах с повышенной плотностью тока на образцах появляются следы эрозии.

Технологический процесс подготовки деталей к электролитическому сульфидированию тот же, что и при термохимическом сульфидировании. Детали обезжириваются бензином или с помощью щелочного раствора, содержащего 45 г/л едкого натрия, 95 г/л карбоната натрия и 10 г/л силиката натрия, затем промываются водой и высушиваются. После сульфидирования они промываются водой и выдерживаются в горячем масле при температуре 100—110°.

Электролитическое сульфидирование изучалось на заводе применительно к упрочнению деталей металлорежущего оборудования и режущего инструмента. По данным испытаний, проведенных в цеховых условиях, стойкость сульфидированных плашек повышается в 2,5—3 раза; зенкеров, сверл и разверток — в 1,5—2 раза. Достигнуто значительное повышение износостойкости сульфидированием деталей токарного патрона и в ряде других случаев.

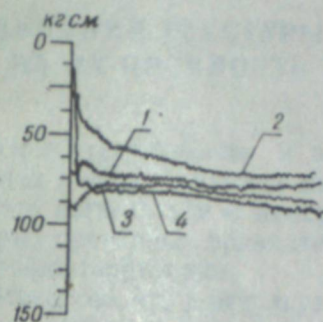


Рис. 4. Сталь 40X. Запись моментов трения при истирании образцов:

1 — закаленный сульфидированный в KCN; 2 — закаленный, сульфидированный электролитически; 3 — закаленный, сульфидированный в ванне НИИХИММАШ 2/6; 4 — закаленный, подвергнутый газовому цианированию.

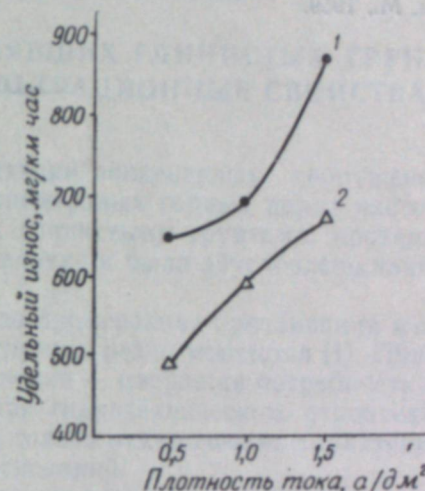


Рис. 5. Зависимость износостойкости от плотности тока: 1 — сталь 40; 2 — сталь 40X.

В связи с положительными эксплуатационными результатами по упрочнению деталей и инструмента на заводе организуется специальный участок по электролитическому сульфидированию.

Выводы

1. Исследованы условия и особенности процесса электролитического сульфидирования стальных и чугунных деталей.

Установлено, что электролитическое сульфидирование обеспечивает получение износостойких поверхностей с высокими антизадирными свойствами. Существенно влияют на качество сульфидирования величины плотности тока и продолжительности электролиза.

2. Изучение микроструктуры и физико-механических характеристик образцов показывает, что электролитическое и химико-термическое сульфидирование дает равнозначный технический эффект.

Однако ввиду простоты и экономичности процесса электролитического сульфидирования, возможности осуществления его в водных растворах этот вариант сульфидирования может иметь практические преимущества по сравнению с химико-термическим процессом.

Иркутский завод
тяжелого машиностроения

Поступила в редакцию
27/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Черняк, Р. А. Кузнецов, Исследование методов сульфидирования для упрочнения режущего инструмента и деталей машин, ЦБНТИ ЦНИИТМАШ, М., 1959.
2. Н. М. Генкин, В. Н. Лупандин, Ю. Н. Павлов, Сульфидирование точных чугунных деталей при температурах, не превышающих 100°С. В кн. «Новое в технике и технологии машиностроительной промышленности Ярославской области», Ярославль, 1957.
3. С. А. Ваченков, Повышение износостойкости деталей химическим никелированием, М., 1959.

Г. Д. ПОТРАШКОВ, Л. Н. ХРУСТАЛЕВ

О ВЛИЯНИИ ТЕКСТУРЫ ОТТАЯВШИХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
НА ИХ ПРОЧНОСТЬ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых горных пород часто приходится встречаться с немерзлыми глинистыми грунтами, протаивание которых произошло сравнительно недавно и было обусловлено влиянием застройки территории.

Известно, что в результате цикла промерзания-протаивания физико-механические свойства глинистых грунтов резко меняются [1]. Правильный прогноз и учет указанных изменений — насущная потребность практики. Особо важен этот прогноз при гидротехническом строительстве, где большое значение имеет учет не только механических характеристик, но и фильтрационной способности оснований.

Изменение физико-механических свойств глинистых грунтов вызывается тем, что в результате промерзания они приобретают криогенную текстуру (морозное сложение), характеризующуюся наличием плотных грунтовых агрегатов и включений льда в виде линз, прослоек и т. д. [2]. После оттаивания образовавшаяся текстура полностью не исчезает [3, 4]. Влияние этой остаточной (посткриогенной) текстуры на механические и фильтрационные свойства грунтов может быть весьма значительным.

Экспериментами, проведенными нами в течение 1958—1959 гг., установлено, что сцепление в оттаявших грунтах может быть в 2—3 раза ниже, чем в незамерзавших, а коэффициент фильтрации оттаявших грунтов в 400 раз и более выше коэффициента фильтрации незамерзавших грунтов.

При наблюдении за разрушением образцов мерзлого суглинка в воде было выявлено, что при оттаивании они распадаются на отдельные плотные агрегаты и отделившиеся от них глинистые частицы. В весовом отношении, как установлено агрегатным анализом, отделившиеся частицы составляют 20—50% от веса скелета грунта. Мы предполагаем, что при достаточно высокой влажности грунта аналогичный процесс происходит и в естественных условиях. Исходя из этого, оттаявший грунт можно представить в виде следующей модели.

Оттаявший грунт состоит из плотных агрегатов, взвешенных в глинистом заполнителе, представляющем собой глинистую суспензию, а при малой влажности — пасту. В первом приближении можно пренебречь влиянием взвешенных агрегатов грунта на его прочность и считать, что прочность целиком определяется свойствами заполнителя.

При неизменной влажности грунта влажность заполнителя будет тем меньшей, чем больше частиц отделится от взвешенных агрегатов. При полном разрушении агрегатов влажность заполнителя будет иметь минимальное значение, равное общей влажности грунта. В соответствии с изменением влажности прочность заполнителя (а следовательно, и

прочность грунта в целом) должна расти по мере разрушения агрегатов и при полном разрушении достигать наибольшей величины.

Последний вывод хорошо подтверждается опытом. На рис. 1 и 2 приведены графики, выражающие зависимость сцепления грунта от его влажности. Кривые 1 получены для образцов с разрушенной текстурой, кривые 2 — с ненарушенной. Сопоставляя кривые 1 и 2, нетрудно заметить, что при одном и том же сцеплении влажность ненарушенного грунта меньше влажности грунта с разрушенной текстурой. Исходя из принятой модели, можно считать, что последняя является влажностью заполнителя.

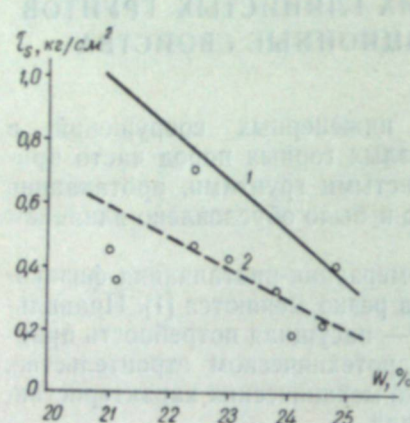


Рис. 1. Сцепление τ_s воркутского покровного суглинка в зависимости от влажности через 2 месяца после его оттаивания:

1 — для образцов с разрушенной текстурой, 2 — с ненарушенной текстурой. Точки — результаты отдельных опытов на грунтах с ненарушенной текстурой.

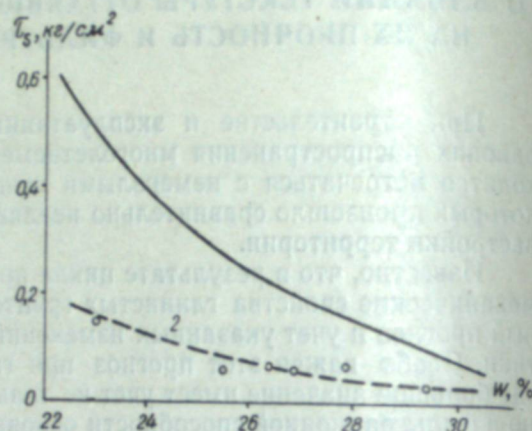


Рис. 2. Сцепление τ_s элювиального суглинка района трубки «Мир» в зависимости от влажности непосредственно после его оттаивания. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Попытаемся приблизительно оценить степень разрушенности текстуры оттаявшего грунта. Напишем выражение для веса воды в единице объема грунта:

$$\gamma W = q_a W_a + q_z W_z, \quad (1)$$

где γ — объемный вес скелета грунта,

q_a — вес частиц, соединенных в агрегаты,

q_z — вес частиц, образующих заполнитель, в единице объема грунта,

W — общая влажность,

W_a — влажность агрегатов, т. е. отношение веса воды, содержащейся в агрегате, к весу скелета агрегатов,

W_z — влажность заполнителя, т. е. отношение веса воды, содержащейся в заполнителе, к весу минеральных частиц заполнителя.

Условимся называть отношение веса частиц заполнителя к весу скелета грунта $\left(\frac{q_z}{\gamma}\right)$ коэффициентом разрушенности текстуры η .

Тогда можно записать:

$$q_z = \eta \gamma, \quad (2)$$

$$q_a = (1 - \eta) \gamma. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим:

$$\eta = \frac{W - W_a}{W_z - W_a}. \quad (4)$$

Общая влажность грунта (W) определяется обычными способами. Влажность агрегатов (W_a) в первом приближении может быть принята равной влажности на границе раскатывания (W_p) [3]. Влажность заполнителя (W_z) нельзя определить прямыми методами. Но исходя из принятой модели оттаявшего грунта, она может быть определена косвенно. Для этой цели нужно знать сцепление грунта в естественном сложении и зависимость сцепления от влажности для того же грунта с разрушенной текстурой. Этой зависимости влажности заполнителя будет соответствовать сцепление, равное сцеплению грунта в естественном сложении.

Сцепление грунта с разрушенной и ненарушенной текстурой легко может быть получено в лабораторных и полевых условиях по испытанию грунтов конусом с определением сцепления по формуле В. Г. Березанцева [5]. Указанный способ экспериментально был проверен в Северном отделении Института мерзлотоведения (1959 г.) на связных грунтах Воркутского района и показал хорошую сходимость с данными, полученными на срезном приборе Маслова.

Коэффициент разрушенности текстуры (η) показывает, на какой стадии разрушения текстуры находится грунт. По данным опытов для воркутских грунтов через 2—3 месяца после оттаивания η колеблется в пределах 0,2—0,7. Однако его значения могут меняться в интервале от 1 до 0. Если $\eta = 1$, можно считать, что в грунте не сохранилось следов морозной текстуры. Если $\eta = 0$, то концентрация суспензии равна нулю и пространство между агрегатами заполнено водой. Это может иметь место в недавно оттаявших грунтах, хорошо промытых водой. Исходя из принятой модели грунта, заметим, что при $\eta = 0$ грунт не будет обладать сцеплением, т. е. в этом случае глинистые грунты аналогичны песчаным. Это подтверждает также исследование фильтрационных свойств указанных грунтов. Однако необходимо отметить, что в предложенной модели грунта сцепление по контакту между агрегатами не учитывается. Поэтому следует ожидать, что в действительности при $\eta = 0$ τ_s будет больше на величину сцепления между самими агрегатами.

Как известно, фильтрационные свойства глинистых грунтов зависят главным образом от их пластических свойств, в основном обусловливаемых минералогическим составом грунта. Однако указанное соображение прежде всего относится к постоянно талым грунтам. Фильтрационные свойства оттаявших грунтов, по-видимому, не подчиняются общепризнанным законам.

В результате экспериментов, проведенных нами в 1959 г., было установлено, что коэффициент фильтрации оттаявших глинистых грунтов с ненарушенной текстурой (k) в несколько сот раз выше коэффициента фильтрации грунтов с нарушенной текстурой (k_n).

Определение фильтрационных свойств грунтов с ненарушенной текстурой производилось в натуре способом налива в скважину, шурф, а также электролитическим способом Слихтера. Величины коэффициентов фильтрации были получены в пределах от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ см/сек.

Фильтрационные свойства грунтов нарушенной текстуры определялись в лаборатории порошковым способом на приборе Литвинова. Данные лабораторных исследований хорошо согласуются с данными, полученными по номограмме Маслова — Нестерова, выражающей зависимость между коэффициентом фильтрации, пластичностью и коэффициен-

том пористости грунта. Величины коэффициентов фильтрации k_n , определенные порошковым способом и по указанной номограмме, получают одного порядка $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8}$ см/сек.

Большое расхождение лабораторных данных с натурными можно объяснить также наличием остаточной текстуры оттаявших грунтов, влияние которой на фильтрационные свойства в лаборатории не может быть учтено.

Для интерпретации полученных данных воспользуемся вышеприведенной моделью грунта. Как уже говорилось, в хорошо промытых грунтах $\eta=0$. В этом случае грунт будет состоять из отдельных агрегатов, пространство между которыми заполнено водой. Данную схему с некоторым приближением можно заменить схемой фиктивного грунта. Фиктивным грунтом называется грунт, построенный из одинаковых парообразных частиц [6].

Без большой погрешности можно считать, что фильтрационные свойства агрегатов и фильтрационные свойства грунтов нарушенной текстуры одинаковы. Так как $k \gg k_n$, то фильтрацией воды в самих агрегатах можно пренебречь. Это позволит определить диаметр агрегатов, зная коэффициент фильтрации для оттаявшего грунта. Воспользуемся формулой Козени для коэффициента фильтрации в фиктивном грунте:

$$k = 8,2 \frac{a^2 n^2}{\mu (1-n)^2}, \quad (4)$$

где k — коэффициент фильтрации, см/сек,
 d — диаметр частиц, см,
 μ — вязкость фильтрующей жидкости, пуаз,
 n — пористость.

Как известно, пористость фиктивного грунта не зависит от диаметра частиц, а зависит только от угла укладки (Θ), который изменяется от 60° (плотная укладка) до 90° (рыхлая укладка).

Для определения угла укладки агрегатов в оттаявших грунтах воспользуемся данными опыта, где наряду с фиктивным коэффициентом фильтрации одновременно был определен действительный коэффициент фильтрации.

Находим пористость грунта по формуле:

$$n = \frac{k}{k_d}, \quad (5)$$

где k_d — действительный коэффициент фильтрации. В нашем случае $k = 1,44 \cdot 10^{-5}$ см/сек, $k_d = 5,53 \cdot 10^{-5}$ и $n = 0,26$. Величина n соответствует наиболее плотной укладке частиц с углом Θ , равным 60° . Подставляя значение n в формулу (4), находим $d = 0,011$ мм. Эффективный диаметр частиц данного грунта, определенный по кривой гранулометрического состава методом Козени, составил величину 0,010 мм.

При $k = 4,53 \cdot 10^{-5}$ см/сек диаметр агрегатов, вычисленный по формуле (4), составил 0,020 мм, а эффективный диаметр частиц, определенный по кривой гранулометрического состава, — 0,018 мм.

Таким образом, диаметр агрегатов соответствует эффективному диаметру частиц. Отсюда следует, что при $\eta=0$ пластичность не сказывается на фильтрационных свойствах оттаявших грунтов и фильтрация в суглинках после их протаивания подчиняется законам для песчаных грунтов.

В заключение остановимся еще на одном свойстве оттаявших грунтов.

Важное значение в оценке несущей способности основания имеет коэффициент консистенции грунта (B), определяемый формулой:

$$B = \frac{W - W_p}{W_t - W_p}, \quad (6)$$

где W — естественная влажность,

W_t и W_p — влажности соответственно на границе текучести и раскатывания.

Для оттаявших грунтов, на наш взгляд, такое определение неточно, так как основную роль в прочностных характеристиках их играет не общая влажность, а влажность заполнителя. Для иллюстрации этого положения в табл. 1 приведены значения B и фактическое состояние оттаявших покровных суглинков района кимберлитовой трубки «Мир» в Якутской АССР.

Таблица 1

Естественная влажность, %	Влажность на границе раскатывания, %	Влажность на границе текучести, %	Коэффициент консистенции грунта (B)	Фактическое состояние
25,5	16	29	0,7	текущее
26,9	18	32	0,6	"
22,7	19	31	0,3	мягкопластичное
26,4	19	32	0,6	текущее
29,4	18	32	0,8	"

Таким образом, фактическое состояние грунта резко отличается от состояния, классифицируемого по НиТУ. По нашему мнению, такое расхождение может быть исправлено, если в формулу (6) вместо естественной влажности подставлять влажность заполнителя.

В настоящей статье описано влияние текстуры оттаявших глинистых грунтов только на их сцепление и коэффициент фильтрации. Однако есть основание полагать, что специфические особенности оттаявших грунтов будут сказываться и на других физических и механических свойствах.

Северное отделение Института
мерзлотоведения им. В. А. Обручева
АН СССР

Поступила в редакцию
5/V 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Шушерина, Изменение физико-механических свойств грунтов под действием промерзания и последующего оттаивания. Сб. Материалы по физике и механике мерзлых грунтов. Изд. АН СССР, М., 1959.
2. А. М. Пчеллиев, Криогенное сложение и его влияние на некоторые физико-механические свойства мерзлых горных пород. Сб. Материалы по физике и механике мерзлых грунтов. Изд. АН СССР, М., 1959.
3. Ф. Г. Бакулин, В. Ф. Жуков, Деформация мерзлых дисперсных грунтов при оттаивании. Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 1955.
4. В. Ф. Жуков, Предпостроечное оттаивание многолетнемерзлых горных пород при возведении на них сооружений. Изд. АН СССР, М., 1958.
5. В. Г. Березанцев, Предельное равновесие вязкой среды под сферическими и коническими штампами. Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 1959.
6. Л. С. Лейбензон, Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. Гостехиздат, 1947.

М. Ф. ШОСТАКОВСКИЙ, Г. Г. СКВОРЦОВА,
М. Я. САМОЙЛОВА, К. В. ЗАПУННАЯ, Э. И. КОСИЦЫНА

ВИНИЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сообщение 1

Виниловые эфиры крезолов каменноугольной смолы

В ранее проведенных исследованиях [1—3] было показано, что реакция Фаворского — Шостаковского может быть успешно использована для изучения состава сложных фенольных смесей. Авторы указанных выше работ винилированием более точно определили качественный состав фенолов низкотемпературной смолы полукоксования черемховских углей. При этом было обнаружено 20 простых виниловых эфиров и доказано их строение [2]. Относительно хорошее разделение при ректификации смеси виниловых эфиров каменноугольных фенолов на составляющие компоненты исследователи объясняют отсутствием водородных связей, смолообразования при высоких температурах, а также вдвое большим интервалом выкипания эфиров по сравнению с исходными фенолами [3, 4].

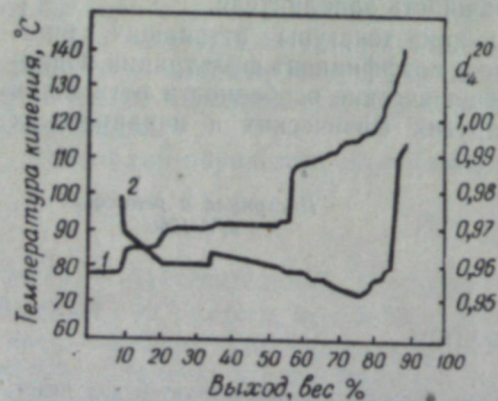


Рис. 1. Изменение температуры кипения (1) и удельного веса (2) виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей в зависимости от выхода фракций.

Винилариловых эфиров разделялась в вакууме на ректификационной колонке на фракции, кипящие в пределах 1—2°. Результаты разгонки представлены кривыми выкипаемости и удельного веса на рис. 1 и в табл. 1. Для выделенных фракций определялись спектры комбинационного рассеяния, основные физико-химические свойства, которые сравнивались со свойствами известных индивидуальных винилариловых эфи-

В настоящей работе изучался состав низших фенолов крезольной фракции. Исходным сырьем служили фенолы среднетемпературной смолы черемховских углей. Одновременно метод винилирования был использован для синтеза индивидуальных ароматических виниловых мономеров для реакции сополимеризации.

Винилирование проводилось в присутствии 5% едкого калия при 190—200°. Выход эфиров в среднем составлял 90% от веса взятых в реакцию фенолов. Полученная смесь

ров [5—8]. С каждой фракцией виниловых эфиров проводился гидролиз в присутствии 5% серной кислоты с последующим синтезом арилгликолевых кислот [2, 3, 9].

В данной работе по сравнению с предыдущей [3] разделение смеси винилариловых эфиров прошло лучше. Этому способствовали большой объем и более узкий интервал выкипания взятых для разгонки виниловых эфиров крезолов смолы полукоксования черемховских углей.

С помощью метода спектрального анализа выделенных фракций винилариловых эфиров мы попытались установить, помимо качественного состава, примерный количественный состав фенолов, входящих в крезольную фракцию.

Экспериментальная часть

Исходные каменноугольные фенолы получены при полукоксовании черемховских углей в печах Лурги при температуре 700—800°.

Плотность фенолов при 30° 1,024, содержание нейтральных масел не более 3,13%, бутилацетата нет. Фракционный состав: до 210° — 45,7 вес. %, до 230° — 15,5 вес. %.

Очистка фенолов от нейтральных масел и обезвоживание

В делительную воронку емкостью 20 л, снабженную механической мешалкой, помещали 2 л сырых фенолов, 8 л 10% раствора едкого натрия и 2 л бензола. Смесь полчаса перемешивали. После 2—2,5 часов отстаивания фенолят отделяли от бензольного слоя, и затем разлагали 20% серной кислотой.

Для обезвоживания фенолы перегоняли в вакууме 10—30 мм рт. ст. При этом воды выделено 11—14% от веса сырых фенолов. Интервал выкипания фенолов 68—167° при 1 мм рт. ст. Остаток и потери при разгонке фенолов составляли 1—3%.

7 л очищенных от нейтральных масел и обезвоженных фенолов разделяли при атмосферном давлении 728—730 мм рт. ст. на три фракции:

1. Крезольную, т. кип. 180—205°, выход — 48,6 вес. %. 2. Ксиленольную, т. кип. 205—225°, выход — 31,0 вес. %. 3. Высшие фенолы, т. кип. выше 225°, выход — 4,0 вес. %.

В дальнейшем работу вели с крезольной фракцией — прозрачным, светло-желтым маслом с т. кип. 180—205°, $n_D^{20} = 1,5440$.

Винилирование крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей

Во вращающийся автоклав емкостью 2 л помещали 308 г крезольной фракции, 46,2 г едкого калия (15% от веса взятых фенолов) и 61,6 г (20%) воды. Ацетилен вводили из баллона под давлением 14 атм. В течение часа смесь выдерживали при 190°. Затем в охлажденный до 30—40° автоклав добавляли новую порцию газа и продолжали реакцию. За весь опыт поглощалось 54,5 атм ацетилена.

Винилирование крезолов повторяли в указанных выше условиях до накопления необходимого количества продукта, на что израсходовано 3 кг крезольной фракции.

Очистка виниловых эфиров крезольной фракции

Выгруженный из автоклава продукт представлял собой маслянистую жидкость коричневого цвета, которую обрабатывали 5% раствором КОН. Щелочную вытяжку промывали смесью серного эфира и бензола. Экстракт присоединяли к виниловым эфирам. Затем продукт сушили над прокаленным поташом и перегоняли из колбы Вюрца. Полученные эфиры после повторной сушки поташом перегоняли в вакууме. Конеч

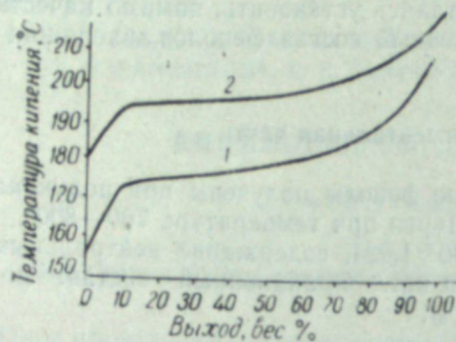


Рис. 2. Выкипаемость по Энглеру виниловых эфиров крезольной фракции (1) и выкипаемость крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей (2).

их выкипания — 140° при 20 мм. Очищенные виниловые эфиры крезольной фракции совершенно бесцветны, показатель преломления $n_D^{20} = 1,5180$. Выкипаемость эфиров в сравнении с выкипаемостью исходных крезолов представлена на рис. 2.

Ректификация виниловых эфиров крезольной фракции

Разделение смеси винилариловых эфиров на узкие фракции проводилось на ректификационной колонке в 56 т.т. Эффективность колонки была определена на смеси дихлорэтан-бензол. Высота рабочей части центральной трубки 110 см. Насадка металлическая трехгранная. Разгонку проводили в вакууме 50 мм. Отбор вели периодически с отжиманием выкипающих фракций. При достижении конечной температуры выкипания фракции кран перекрывали и колонка работала при полном орошении. Во время отбора флегмовое число колебалось от 40 до 70.

В результате разгонки 1570 мл винилкрезиловых эфиров смолы полукоксования черемховских углей было выделено 98 фракций. Интервал их выкипания (75,5—147° при 50 мм) значительно расширился по сравнению с интервалом выкипания исходных фенолов (180—205°).

Фракции с одинаковыми температурой кипения и показателем преломления, а также близким удельным весом сливали вместе. Таким образом было получено 25 фракций, представленных в табл. 1.

Исследуемые фракции виниловых эфиров имели удельные веса от 0,9520 до 0,9942. Показатель преломления изменялся от 1,5160 до 1,5308. Результаты разгонки показаны на рис. 1.

Гидролиз винилариловых эфиров и синтез арилгликолевых кислот

В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, помещали 1 г винилового эфира с температурой кипения 91,5—92,2° (фракция 7), затем добавляли 20 мл 5% серной кислоты. Смесь нагревали при 96—98° на водяной бане в течение часа. Затем выделившееся на поверхность масло отбирали из остывшего раствора и переносили в про-

Таблица 1

Результаты разгонки смеси виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования

№ фракции	Т. кипения при 50 мм	n_D^{20}	d_4^{20}	Выход фракции		Основной состав фракции
				мл	%	
1	76,5—77,5	1,5225	0,9770	124,7	7,9	Вин. эф. фенола
2	77,5—82,5	1,5190	0,9697	24,5	1,6	Промежуточная фр.
3	83,5—85	1,5179	0,9651	101,0	6,4	Вин. эф. орто-этилфенола
4	86,5—88,5	1,5180	0,9627	85,7	5,5	Вин. эф. орто-крезола
5	89,5—90,5	1,5175	0,9608	177,4	11,3	Вин. эф. пара-мета-, орто-крезолов
6	90,5—91,0	1,5180	0,9642	20,5	1,3	Вин. эф. пара-мета-, орто-крезолов
7	91,5—92,2	1,5182	0,9601	285,5	18,2	Вин. эф. мета-крезола
8	92,2—93,5	1,5170	0,9588	58,5	3,7	Вин. эф. пара-крезола
9	98—105	1,5174	—	3,0	0,2	
10	107,5—108,5	1,5170	0,9588	62,4	4,0	
11	108,5—109,5	1,5165	0,9568	29,8	1,9	
12	109,5—111,5	1,5160	0,9564	81,7	5,2	
13	111,5—113,5	1,5166	0,9540	49,5	3,2	Вин. эф. пара-этилфенола
14	113,7—116	1,5170	0,9520	89,3	5,7	Вин. эф. мета-этилфенола
15	116—118,2	1,5175	0,9544	52,0	3,3	Вин. эф. 1, 3, 5-ксиленола
16	118,2—118,8	1,5185	0,9565	5,3	0,3	
17	119,5—121,2	1,5182	0,9570	41,8	2,7	
18	123—124,5	1,5184	0,9594	8,4	0,5	
19	124—126	1,5188	0,9605	6,6	0,4	
20	126,5—128	1,5200	0,9601	11,0	0,7	
21	128,5—129	1,5180	0,9606	19,0	1,2	
22	129,5—131,5	1,5240	0,9658	9,6	0,6	
23	132,5—133,7	1,5300	0,9847	9,4	0,6	
24	133,7—135	1,5300	0,9907	8,5	0,5	
25	138,5—141,5	1,5308	0,9942	16,5	1,1	

Итого: 1381,6 мл + 21,3 мл (89,5%)
Остаток + потери 10,5%.

бирку, где смешивали с 1,5 г монохлоруксусной кислоты, 5 мл 33% щелочи, и нагревали. В дальнейшем синтез вели согласно методике получения арилгликолевых кислот [9]. После трехкратной перекристаллизации из горячей воды полученный осадок плавился при 102°, что совпадает с литературными данными для арилгликолевой кислоты мета-крезола с температурой плавления 102° [9]. Аналогично гидролизовались, а затем превращались в гликолевые кислоты и другие фракции винилариловых эфиров.

Исследование состава фракций виниловых эфиров низших фенолов

В смеси виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей нас интересовало наличие фенола и изомеров крезоло, поэтому наиболее подробно исследовались фракции с первой по девятую, выкипающие от 76 до 100° при 50 мм. Следующие фракции, содержащие виниловые эфиры ксилоленов, детально не исследовались. Состав и свойства кипящих выше виниловых эфиров фракций 18—25 (5% от веса эфиров) также подробно не рассматривались. В целом состав виниловых эфиров крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей изучен нами на 65%.

Фракция 1. Т. кип. $76,5-77,5/50$ мм; $152-153/728$ мм; n_D^{20} 1,5225; d_4^{20} 0,9787; d_4^{20} 0,9770. Физические свойства 1 фракции совпадают со свойствами индивидуального винилфенилового эфира: т. кип. $155-156/760$ мм; $n_D^{20} = 1,5224$; $d_4^{20} = 0,9771$ [6]. Арилгликолевая кислота, полученная из 1-й фракции, плавится при 101° . По литературным данным, фенилгликолевая кислота имеет т. пл. $100-101^\circ$ [9]. Спектр комбинационного рассеяния 1 фракции ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1645 (10); 1002 (10); 1592 (9); 1309 (9); 1234 (7ш); 1166 (7); 1025 (7); 390 (7-6); 1153 (5); 805 (4); 614 (4); 965 (4); 754 (3); 945 (2); 1539 (1); 899 (1-0); 856 (1); 512 (1); 272 (1); 169 (1); 1445 (0). Состав — винилфениловый эфир, 100%, 1247 мл.

Фракция 2. Является промежуточной (см. табл. 1). Составляет всего 1,6% от взятых для разгонки эфиров. Спектр ее ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1645 (10); 1002 (9); 1308 (9); 1596 (8); 1047 (7); 1238 (8); 1157 (6); 1385 (5); 1025 (3); 560 (2); 1544 (1-0); 1104 (0-1); 965 (1); 945 (1); 867 (1); 779 (1); 759 (1); 746 (1); 717 (1); 607 (1); 493 (1); 262 (0) — указывает на присутствие винилового эфира фенола — 56% (13,7 мл) и винилового эфира орто-производного фенола — 44% (10,8 мл). Гидролиз фракции 2 идет с выделением уксусного альдегида и образованием фенола, гликолевая кислота которого после многократной перекристаллизации из горячей воды имела т. пл. 141° . По литературным данным, т. пл. 141° имеет арилгликолевая кислота орто-этилфенола [9]. На основании этого следует считать, что фракция 2 представляет собой смесь винилового эфира фенола и винилового эфира о-этилфенола (спектр неизвестен).

Фракция 3. Кипит от $83,5$ до $88,5/50$ мм; n_D^{20} 1,5179; d_4^{20} 0,9651; при 720 мм выкипает в основном при $165,5-166^\circ$; n_D^{20} 1,5186. Арилгликолевая кислота, полученная из этой фракции, плавится в точке 141° , что соответствует о-этилфенолу [9]. Спектр комбинационного рассеяния ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1637 (10); 1312 (10); 1235 (9ш); 1049 (9); 1607 (7); 1383 (6); 780 (5); 1160 (7); 719 (3-4); 1587 (3); 748 (3); 974 (2); 1469 (0); 988 (1); 858 (1-0); 617 (1); 567 (1); 531 (1); 499 (0-1); 414 (0); 1117 (0); 1023 (0); 824 (1); 975 (1-0) — показывает во фракции 10% (10,1 мл) винилового эфира фенола и 90% (90,9 мл) винилового эфира орто-производных фенола (о-этилфенола и о-крезола). Не расшифрованы линии 1469 (0); 414 (0). Свойства винилового эфира о-крезола: т. кип. $167-168,5^\circ$; $n_D^{20} = 1,5160$; $d_4^{20} = 0,9545$ [6]. Виниловый эфир о-этилфенола в литературе не описан.

Фракция 4. Т. кип. $86,5-88,5/50$ мм; n_D^{20} 1,5180; d_4^{20} 0,9627. Разгонка фракции при 720 мм расширила интервалы выкипания от $162,5$ до $170,5^\circ$, причем показатель преломления основной фракции $167-168,5^\circ$ остался равным 1,5180. В то же время несколько капель, отобранных при $165,5^\circ$, имели n_D^{20} 1,5190.

Температура кипения фракции 4 соответствует температуре кипения винилового эфира о-крезола ($167-168,5/760$ мм). Однако показатель преломления на одну единицу в третьем знаке и удельный вес на восемь единиц в третьем знаке завышены по сравнению с данными для винилового эфира о-крезола [6]. Примесь виниловых эфиров м- и п-изомеров должна занижать удельный вес фракции, по-видимому, только за счет возможного присутствия винилового эфира о-этилфенола можно объяснить завышение показателя преломления и удельного веса. Гидролиз фракции 4 и последующий синтез арилгликолевой кислоты дали осадок с т. пл. 147° . Из литературных данных известно, что т. пл. гликолевой кислоты о-крезола $151-152^\circ$ [9], т. е. наиболее высокая для изомеров крезоло. Спектр ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1636 (10); 1311 (10); 1235 (9);

1047 (9); 1605 (8); 1383 (4); 1154 (4); 746 (4ш); 1583 (3); 1000 (3); 779 (3); 714 (3); 472 (2); 1086 (1); 816 (1); 647 (0); 559 (1); 403 (1-0); 383 (1); 1436 (1); 849 (0). Оптические исследования показали во фракции 4 следующий состав: 88% (75,4 мл) винилового эфира о-крезола, 1048 (10); 1047 (9), 12% (10,3 мл) винилового эфира п-крезола, 816 (1), 815 (8 дв.) и следы, 1436 (0), 1442 (0), винилового эфира м-крезола.

Фракция 5, т. кип. $89,5-90,5/50$ мм; n_D^{20} 1,5175; d_4^{20} 0,9608; представляет собой смесь трех изомеров виниловых эфиров крезоло. Спектр ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1637 (10); 998 (10); 1306 (9); 1379 (8); 1607 (7); 1587 (6); 813 (6); 1257 (5); 1234 (5); 1211 (4ш); 836 (4); 1171 (3); 748 (3); 699 (3); 602 (1, 2); 520 (3); 1150 (2); 1041 (2); 969 (2); 369 (2); 1284 (1); 955 (1), 319 (1); 899 (1); 721 (0); 638 (4); 499 (0); 343 (0); 393 (0); 316 (1ф). В этой большой по объему фракции спектральный анализ доказал наличие трех изомеров крезоло и позволил количественно определить содержание каждого из них: виниловый эфир п-крезола — 60% (106,4 мл), виниловый эфир м-крезола — 25% (44,4 мл), виниловый эфир о-крезола — 15% (26,6 мл).

Фракция 6 составляет всего 1,3% от веса виниловых эфиров крезольной фракции, т. кип. $90,5-91,0/50$ мм; n_D^{20} 1,5180. Необычным для виниловых эфиров крезолов является удельный вес фракции 6, равный 0,9642. Спектр комбинационного рассеяния ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1636 (10); 995 (10); 1308 (9); 1256 (7); 1376 (6); 1605 (4); 1583 (4); 1227 (4); 1155 (3); 841 (3); 1432 (1); 519 (1); 1044 (0); 945 (0); 906 (0); 747 (0); 694 (0). Все линии спектра фракции 6 в основном соответствуют спектру индивидуального винилового эфира п-крезола. Однако интенсивностью линии 1256 является семерка, а для винилового эфира п-крезола линия 1260 имеет интенсивность единицу. Следовательно, во фракции 6, вероятно, возможна примесь винилового эфира м-крезола.

Фракция 7. Отобрана в узком интервале $91,5-92,2/50$ мм; n_D^{20} 1,5182, удельный вес 0,9601. При 725 мм т. кип. $174,5-175,5^\circ$; основная часть фракции $174,5-175,0^\circ$ имеет n_D^{20} 1,5185, свойства фракции соответствуют литературным данным для винилового эфира м-крезола: т. кип. $173-174,5/760$ мм; n_D^{20} 1,5186; d_4^{20} 0,9605 [6], т. кип. $176-177/726$ мм; n_D^{20} 1,5191; d_4^{20} 0,9615.

Арилгликолевая кислота, полученная из фракции 7, плавится при 102° , что совпадает с литературными данными — температура плавления гликолевой кислоты м-крезола — 102° [9]. Спектр комбинационного рассеяния ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1637 (10); 1309 (10); 1252 (10); 1379 (9); 721 (7-8); 1612 (5ш); 998 (5); 1583 (3); 1442 (3); 1281 (3); 901 (3); 480 (3-2); 459 (3); 368 (3); 1151 (1-2); 964 (2); 923 (2); 840 (2); 777 (2); 759 (2); 748 (2); 279 (2); 327 (2); 565 (1); 420 (1); 807 (1); 1504 (0). Линии спектра и их интенсивность полностью совпадают с эталоном спектра индивидуального винилового эфира м-крезола. Следовательно, фракция 7 представляет собой виниловый эфир м-крезола.

Фракция 8. Т. кип. $92,2-93,5/50$ мм; n_D^{20} 1,5170; d_4^{20} 0,9588, что полностью совпадает с физическими константами индивидуального винилового эфира п-крезола. По литературным данным [6], виниловый эфир п-крезола имеет т. кип. $175-175,5^\circ$; n_D^{20} 1,5170; d_4^{20} 0,9587. Гидролизом фракции 8 с последующим синтезом арилгликолевой кислоты получены кристаллы с температурой плавления 133° . Согласно литературным данным [9], гликолевая кислота п-крезола плавится при 135° . Спектр комбинационного рассеяния ($\Delta\nu$ в $см^{-1}$): 1637 (10); 1000 (10); 1309 (9); 1380 (8); 1607 (7); 1588 (7); 1257 (6); 815 (7); 1232 (5); 1208 (5);

837(5); 637(5); 518(5); 1285(4); 749(4); 1146(3ш); 1173(2); 702(2); 372(2ш); 1442(1); 945(1ш); 575(1); 555(1); 1548(0); 791(0); 475(0); 306(0). Все линии спектра индивидуального винилового эфира п-крезола присутствуют в спектре фракции 8. Таким образом, фракция 8 представляет собой виниловый эфир п-крезола. Следующая 9 фракция (т. кип. 98—105°/50 мм) по объему очень небольшая — 3 мл (0,2% от веса исследуемых эфиров) и является промежуточной.

Во фракции 13 обнаружен виниловый эфир п-этилфенола, т. кип. 111,5—113,5°/50 мм, 190—192,0°/725 мм; n_D^{20} 1,5166; d_4^{20} 0,9540. Физические константы фракции соответствуют свойствам винилового эфира п-этилфенола [4]. Гликолевая кислота фракции 13 плавится при 94°. По литературным данным [9], п-этилфенилгликолевая кислота имеет т. пл. 96—97°. Из этой же фракции выделены кристаллы гликолевой кислоты с т. пл. 87°, что совпадает с т. пл. гликолевой кислоты 1, 3, 5-ксиленола.

Фракция 14. Т. кип. 115—116°/50 мм; n_D^{20} 1,5170; d_4^{20} 0,9519, перегнанная при 725 мм фракция имеет т. кип. 196—196,5°. Гидролиз фракции 14 с последующим синтезом выделенного фенола с монохлоруксусной кислотой давал с хорошим выходом кристаллы с т. пл. 75°. По литературным данным [9], среди изомеров ксиленолов и этилфенолов только арилгликолевая кислота м-этилфенола имеет такую относительно низкую температуру плавления — 75°.

Виниловый эфир 1, 3, 5-ксиленола обнаружен во фракции 15. Остальные фракции не исследовались.

В результате проведенной работы с помощью спектров комбинационного рассеяния найдено, что в смеси виниловых эфиров крезольной

Таблица 2

Содержание низших фенолов в крезольной фракции смолы полукоксования черемховских углей

Название фенола	Содержание, вес, %	
	на крезольную фракцию	на товарные фенолы
Фенол	9,5	5,5
О-крезол	12,6	7,3
О-этилфенол	22,3	13,0
М-крезол	11,2	6,5
П-крезол	5,7	3,3
М-этилфенол	3,1	1,9
П-этилфенол		
Всего	64,4	37,5

фракции смолы полукоксования черемховских углей содержится 9,5% винилфенилового эфира, 44,5% — винилкрезиловых эфиров, 10,4% — винилэтиловых эфиров. Количество винилэтиловых эфиров, по всей вероятности, занижено, так как промежуточные фракции, содержащие их, спектральными методами не исследовались.

На основании этих данных можно судить и о примерном количественном составе низших гомолов фенола в товарных каменноугольных фенолах черемховских углей.

Из табл. 2 видно, что в составе каменноугольных фенолов среднетемпературной смолы полукоксования о- и п-крезолов примерно одинаковое количество, а м-изомера вдвое больше, чем о- или п-крезолов. По нашим предварительным расчетам, те же количественные соотношения имеют изомеры этилфенолов.

Выводы

1. Получены виниловые эфиры из крезольной фракции среднетемпературной смолы полукоксования черемховских углей.
2. В исследуемой смеси винилариловых эфиров обнаружены винилфениловый, винил-орто-, мета-, пара-крезиловые, винил-орто-мета-этилфениловые эфиры и доказано их строение. Выделены индивидуальные мономеры: винилфениловый эфир и виниловые эфиры м- и п-крезолов.
3. Установлено с помощью методов винилирования, ректификаций и спектрального анализа винилариловых эфиров количественное содержание фенола — 5,5%, м-крезола — 13,0%, п-крезола — 6,5%, о-крезола и о-этилфенола — 7,3%, м-этилфенола — 3,3%, п-этилфенола — 1,9% в товарных каменноугольных фенолах из черемховских углей.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
13/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова, В. М. Караваева, О. Ф. Шепотько, А. С. Нахманович, Исследования в области синтеза и превращений винилариловых эфиров. Сообщ. 9. Получение виниловых эфиров из фенолов смолы полукоксования черемховских углей. Изв. физ.-хим. ин-та при Иркут. гос. ун-те. т. 4, вып. 2, 153—167 (1959).
2. А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова, Изучение химического состава смеси фенолов смолы полукоксования черемховских углей методом винилирования. Изв. физ.-хим. ин-та при Иркут. гос. ун-те, т. 4, вып. 2, 223—229 (1959).
3. Г. Г. Скворцова, Винилирование фенолов смолы полукоксования черемховских углей, изучение их химического состава. Автореферат; Иркутск, 1955.
4. В. А. Ларина, А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова, Исследование фенолов широкой фракции смолы полукоксования черемховских углей. Изв. физ.-хим. ин-та при Иркут. гос. ун-те, т. 4, вып. 2, 57—74 (1959).
5. А. В. Калабина, Н. А. Тюкавкина, Т. Н. Писарева, В. М. Пенская, Синтез виниловых эфиров некоторых алкоксифенолов. Изв. СО АН СССР, 4, 77 (1960).
6. М. Ф. Шостаковский, Простые виниловые эфиры. Изд. АН СССР, М., 1952.
7. W. Rerpe, Neue Entwicklungen auf dem Gebiete der Chemie als Acetylen und Kohlenoxyds. Berlin, Göttingen, Heidelberg, s. 3—22, 1949.
8. А. В. Калабина, Г. Г. Чистякова, Н. А. Халтурина, Исследования в области синтеза и превращений винилариловых эфиров. Сообщ. II. Синтез виниловых эфиров 1, 2, 4-и 1, 4, 2-ксиленолов. Изв. физ.-хим. ин-та при Иркут. гос. ун-те, т. 4, вып. 2, 147—153 (1959).
9. С. С. Наметкин, Н. Н. Мельников, Ю. А. Баскаков, К. С. Бокарев, Идентификация фенолов, ЖАХ, 5, 7 (1950).

И. В. КАЛЕЧИЦ, Ф. Г. САЛИМГАРЕЕВА, М. Ф. ИВАНОВА,
Б. В. ТРЖЦИНСКАЯ

О ХИМИЗМЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ В УСЛОВИЯХ ЖИДКОФАЗНОЙ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ

При изучении путей образования низших фенолов в процессе деструктивной гидрогенизации было найдено [1], что небольшое количество фенолов образуется из нейтральных кислородных веществ. Сопоставление материальных балансов гидрогенизации полукоксовой смолы из черемховского угля также показало, что в мягких условиях общее количество фенолов несколько увеличивается [2]. Н. И. Попова и М. В. Шорохова [3] подвергли нейтральные кислородные соединения полукоксовой смолы омылению спиртовой щелочью и выделили из продуктов омыления фенолы, кипевшие в широких пределах. Следовательно, в смоле присутствуют сложные эфиры, образованные за счет этерификации фенолами*, которые могут давать при гидрогенизации фенолы.

В связи с этим представляло несомненный интерес изучить поведение сложных эфиров в условиях деструктивной гидрогенизации и определить на примерах гидрирования индивидуальных эфиров, могут ли они давать фенолы, а если могут, то какие из эфиров являются наиболее важным источником фенолов.

Насколько нам известно, превращения сложных эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации до сих пор не изучались.

Условия жидкофазного процесса, в которых доминируют термические реакции, позволили одновременно сравнить прочность связей эфирной группировки в зависимости от ее структуры, что представляло известный теоретический интерес.

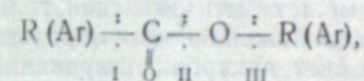
Выход продуктов деструктивной гидрогенизации сложных эфиров (вес. %) Таблица 1

Исходный сложный эфир	Выход на исходное вещество					
	бензол	толуол	бензойная кислота	фенол	неизмененное вещество и примеси	газ+вода+потери
Диметилфталат	31,5	5,6	0,8	—	10,7	51,4
Диэтилфталат	32,8	3,0	0,7	—	5,9	57,6
Дибутилфталат	21,8	5,5	0,7	—	7,4	64,6
Метилбензоат	43,7	8,6	1,3	—	9,2	37,2
Этилбензоат	37,4	6,0	1,2	—	16,0	39,4
Фенилбензоат	19,8	16,6	4,4	24,4	18,1	16,7
Фенилсалицилат	12,8	—	0,9	48,9	19,7	17,7
Фенилацетат	13,0	5,2	—	39,4	11,7	31,3

* Ниже такие сложные эфиры для краткости называются арильными сложными эфирами, а сложные эфиры, образованные этерификацией кислот спиртами, — алкильными сложными эфирами.

Нами были проведены опыты гидрогенизации 8 сложных эфиров: диметилфталата, диэтилфталата, дибутилфталата, метилбензоата, этилбензоата, фенилбензоата, фенилсалицилата и фенилацетата.

Количественным анализом полученных гидрогенизатов были установлены их состав и выход отдельных веществ (табл. 1). Пересчет весовых выходов на молярные позволил определить вероятность разрыва тех или иных связей в каждом отдельном случае. Так, обозначив в молекуле сложного эфира возможные места разрыва через I, II и III:



мы установили, что разрыв в положении III наименее вероятен, а доминирование разрыва по положениям I и II определяется тем, как этерифицировалась кислота; спиртом или фенолом; в первом случае рвется главным образом связь I, во втором — связь II. В табл. 2 приведено соотношение между вероятностями разрыва связей; вероятность разрыва молекулы в положении II принята за единицу.

Приведенные в табл. 2 соотношения вероятностей разрывов по положениям I, II, и III следует рассматривать лишь как первое приближение, характеризующее только качественно сравнительную прочность связей в эфирной группировке. Это следует из того, что образующиеся свободные радикалы могут, очевидно, вступать в самые различные реакции, протекающие по цепному механизму. Эти реакции могут приводить не только к образованию более простых продуктов (деметилирование толуола до бензола [4], восстановление фенола [5], декарбокислирование

Таблица 2

Соотношение между вероятностями деструкции эфирной группировки в различных положениях

Исходный сложный эфир	Положение I		Положение II		Положение III		Соотношение вероятностей разрывов в положениях I:II:III
	вещество, по которому определена интенсивность разрыва	его выход, мол. %	вещество, по которому определена интенсивность разрыва	его выход, мол. %	вещество, по которому определена интенсивность разрыва	его выход, мол. %	
Диметилфталат	бензол	70,3	толуол	10,6	бензойная кислота	1,1	6,6:1:0,1
Диэтилфталат	•	99,3	•	7,2	•	1,3	13,0:1:0,2
Дибутилфталат	•	77,5	•	16,6	•	1,6	4 1:1:0,1
Метилбензоат	•	77,6	•	12,7	•	1,5	6,1:1:0,1
Этилбензоат	•	71,9	•	8,5	•	1,5	3,5:1:0,2
Фенилбензоат	•	50,3	•	35,7	•	7,2	0,6:1:0,2*
Фенилсалицилат	бензол	35,1	фенол + о-крезол	110,2	салицил. и бензойные кислоты	1,5	0,4:1:0,1**
Фенилацетат	•	22,6	фенол	57,0	бензол	—	0,4:1***

* Для вычисления интенсивности разрыва по положению I из молярного выхода бензола вычтена величина молярного выхода бензойной кислоты, так как ее образование сопровождается образованием бензола, и остаток уменьшен вдвое, так как разрыв в положении I дает две молекулы бензола.

** Для вычисления интенсивности разрыва по положению I из молярного выхода бензола вычтен выход кислот (см. выше), для вычисления интенсивности разрыва по положению II из молярного выхода фенола вычтена интенсивность разрыва по положению I, так как в этом случае образуются бензол и фенол, а остаток уменьшается вдвое, так как образуются о-крезол и фенол.

*** Так как бензол образуется при разрыве и по положению I, и по положению II, в соотношении дана их сумма.

бензойной кислоты [6]), но и давать продукты метилирования или конденсации (М. Г. Гоникберг и Ли Гуан-нянь [7] в продуктах термического превращения фенола нашли *p*-крезол, дифенил и окись дифенилена).

Наши данные не позволили расшифровать механизм всех цепных реакций. Однако метилирование и конденсация, видимо, не играют существенной роли, так как если в опытах с алкильными эфирами образование толуола может объясняться метилированием бензола, то в опыте с фенилбензоатом радикал метила не образуется и высокий выход толуола, следовательно, может быть объяснен только разрывом по положению II. Далее, предположению, что образование бензола идет в значительной степени за счет декарбоксилирования бензойной кислоты и, следовательно, доминирует разрыв по положению III, противоречат данные опытов с фенилацетатом, из которого бензойная кислота не образуется, но все равно доминирует разрыв по положению II. Таким образом, сделанные нами качественные выводы указывают на интенсивности первичных реакций, которые лишь в незначительной мере искажены вторичными. Скорее всего значения вероятности разрыва по положению I несколько завышены, а по положениям II и III несколько занижены этими вторичными реакциями. Вторичными реакциями, видимо, объясняется также большая разница в молярных выходах толуола и фенола при гидрогенизации фенилбензоата, хотя при разрыве по положению II они должны были бы образовываться в эквимолекулярных количествах. Однако выход бензола при деструкции алкильных эфиров во всех опытах в несколько раз больше выхода толуола, что не оставляет сомнения в качественном доминировании разрыва по положению I, а при деструкции арильных эфиров выход бензола становится гораздо меньше выходов продуктов, которые следует ожидать при расщеплении по положению II.

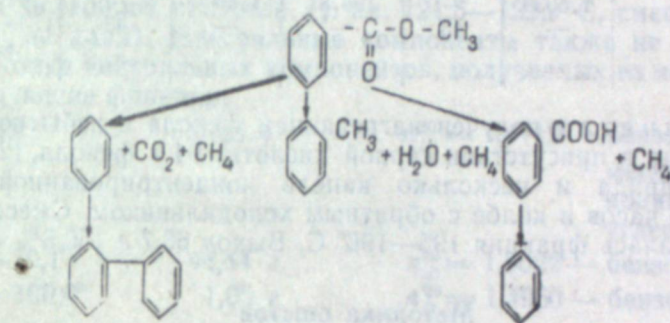
Эти несомненные качественные различия можно объяснить с учетом взаимного влияния атомов. В условиях жидкофазного процесса с малоактивным железным катализатором должен доминировать термический крекинг, протекающий через промежуточное образование свободных радикалов. Такой механизм процесса доказывается очень сходными результатами опытов термического крекинга высших фенолов [8, 9] и жидкофазной гидрогенизации высших фенолов [5], малым различием выходов низших фенолов при жидкофазной гидрогенизации с железным катализатором и без катализатора [10], а также составом продуктов деструкции 5-инданола и β -тетрагидронафтола [11]: в них преобладают в первом случае пропилфенолы и крезолы, во втором — бутилфенолы, этилфенолы и карболовая кислота. Эти составы характерны для превращений, протекающих по радикальному механизму: сложный радикал упрощается, отщепляя два углеродных атома [12].

При термическом крекинге в первую очередь должна разрываться связь, имеющая пониженную электронную плотность. Это будет σ -связь, часть электронной плотности которой оттянута соседними электронофильными группами. В сложных эфирах наиболее сильной электроно-акцепторной группой является карбонильная, чем, видимо, и объясняется доминирование разрыва либо по связи I, либо по связи II, примыкающим к ней. Но сравнительная прочность этих двух связей определяется свойствами групп, соседних с карбонильной. В алкильных эфирах связь II должна иметь большую электронную плотность, так как эфирный кислород легче отдает *p*-электроны, чем фенильная группа, обладающая, как известно, способностью не только давать, но и в ряде случаев оттягивать электроны (в производных бензола с заместителями первого рода). В арильных эфирах способность эфирного кислорода

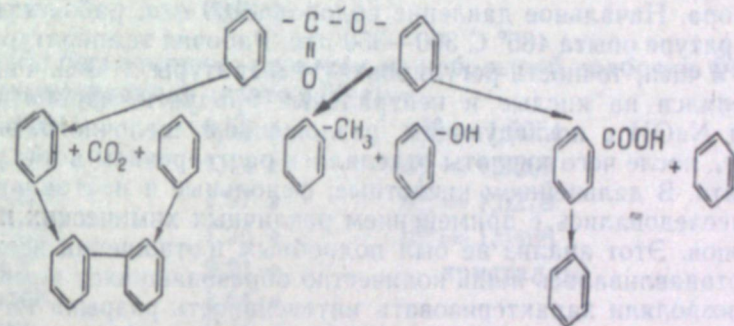
отдавать электроны ослаблена влиянием фенила, который сам может оттягивать часть электронной плотности *p*-электронов. Вследствие этого усиливается оттягивание электронной плотности от фенила, входящего в кислотный остаток, к карбонильной группе, и, как следствие, повышается электронная плотность связи I, которая становится прочнее связи II. В случае алифатического кислотного остатка (например, метил в фенилацетате), также преобладает разрыв по связи II, так как алкилы обладают электронодонорными свойствами.

В соответствии с изложенным выше и результатами определения состава гидрогенизатов схему превращений сложных эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации можно представить следующим образом.

А. Алкильные сложные эфиры (на примере метилбензоата):



Б. Арильные сложные эфиры (на примере фенилбензоата):



Исходные вещества

Диметилфталат, диэтилфталат, дибутилфталат, метилбензоат и фенилсалицилат применялись продажные. Перед опытами эти эфиры перегонялись; их константы приведены в табл. 3.

Этилбензоат получен кипячением в течение 4 часов бензойной кислоты и абсолютного спирта в присутствии концентрированной серной кислоты. Из 90 г кислоты, 300 мл спирта с добавкой 9 мл H_2SO_4 получено 90 г эфира (81,3% от теоретического).

Фенилбензоат синтезирован из фенолята натрия и хлористого бензонла. 94 г фенола растворялось в 1500 мл 10% NaOH и добавлялось при перемешивании к свежеперегнанному хлористому бензонлу (141 г). Кристаллический осадок отделялся фильтрованием, подсушивался между листами фильтровальной бумаги и дважды перекристаллизовывался из горячего спирта. Выход 128,5 г (64,5% от теоретического).

Таблица 3

Физические константы исходных сложных эфиров

Эфир	Экспериментальные данные			Литературные данные			источник
	n_D^{20}	т. пл., °C	т. кип., °C	n_D^{20}	т. пл., °C	т. кип., °C	
Диметилфталат	1,5150	—	278—279	1,5155	—	280	(13)
Диэтилфталат	—	—	295—297	—	—	298—299	(13)
Дибутилфталат	1,4919	—	337—337,5	1,4925	—	340	(13)
Метилбензоат	1,5178	—	193,3/733	1,5144	—	199,5	(14)
Этилбензоат	1,5030	—	212	1,5029	—	212,4	(14)
Фенилбензоат	—	68—69	312	—	70—71	312	(13)
Фенилацетат	1,5030	—	195,8	1,5030	—	195,8	(13)
Фенилсалицилат	—	43	—	—	43	172—3/12	(13)
						<i>м.м.</i>	

Фенилацетат получен нагреванием фенола с избытком уксусного ангидрида в присутствии серной кислоты. 94 г фенола, 128 мл уксусного ангидрида и несколько капель концентрированной H_2SO_4 нагревались 6 часов в колбе с обратным холодильником. Смесь перегонялась, отбиралась фракция 195—196° С. Выход 68,7 г (50,5% от теоретического).

Методика опытов

Опыты проводились в литровом автоклаве с мешалкой. Каждый раз загружалось 80—100 г вещества и 5% промышленного железного катализатора. Начальное давление водорода 160 ата, рабочее давление при температуре опыта 485° С 300—350 ата. Рабочая температура выдерживалась 3 часа, точность регулировки температуры $\pm 3^\circ C$. Гидрогенизат разделялся на кислые и нейтральные продукты обработкой 10% раствором NaOH с последующим разложением щелочного экстракта 30% H_2SO_4 , после чего кислоты отделялись растворением в 5% растворе бикарбоната. В дальнейшем кислотные, фенольные и нейтральные компоненты исследовались с применением различных химических и физических методов. Этот анализ не был подробным в отношении всех компонентов; устанавливалось лишь количество образовавшихся компонентов, которые позволяли характеризовать интенсивность разрыва по той или иной связи (главным образом бензол, толуол, фенол, бензойная кислота).

Гидрогенизация фталевых эфиров

В трех параллельных опытах гидрогенизации диметилфталата выход жидкого гидрогенизата варьировал от 46,5 до 50,4%, составив в среднем 48,5%, кислых компонентов было только 0,8%; соответственные данные в опытах с диэтилфталатом — от 42,0 до 42,7%, среднее 42,4%, кислых компонентов 0,7%, в опытах с дибутилфталатом — от 34,6 до 36,1%, среднее 35,4%, кислых от 0,6 до 0,9%, среднее 0,8%. Кислые продукты во всех опытах представляли собой кристаллическое вещество с т. пл. 121,0—121,5° С, что соответствует бензойной кислоте. Смешанная проба депрессии не дала.

Нейтральные компоненты не ацетируются, что говорит об отсутствии спиртов; перегонка этих компонентов показала, что все они примерно на $\frac{1}{5}$ выкипают в пределах кипения бензола и толуола (см. табл. 1). Остатки после отгона этих углеводородов представляют собой

вязкие высококипящие вещества, состоящие по данным элементарного анализа в основном из непрореагировавших исходных эфиров. Эти остатки дают серебряное зеркало, но вследствие малого количества вещества выделить альдегиды не удалось.

Гидрогенизация метил- и этилбензоата

Выход жидкого гидрогенизата в опытах гидрогенизации метилбензоата варьировал (3 опыта) от 62,3 до 63,3%, составив в среднем 62,8%, в том числе кислых продуктов 1,3%; соответственные данные в опытах гидрогенизации этилбензоата составили от 56,8 до 64,4%, в среднем 60,6%, кислых в среднем 1,2%.

Кислые компоненты, как и в опытах с фталатами, были представлены только бензойной кислотой (т. пл. 121,5—122,0° С, смешанная проба депрессии не дала). Нейтральные компоненты также не ацетилировались. Разгонка нейтральных компонентов, полученных из метилбензоата, дала следующие фракции:

до 78,2°	1,35 г	$n_D^{20} = 1,4719$ — бензол с примесью метанонафтаэновых углеводородов
78,2—79,1°	44,44 г	$n_D^{10} = 1,5022$ — бензол
79,1—100,0°	1,05 г	$n_D^{20} = 1,4950$ — бензол + толуол
100—106,0°	8,78 г	$n_D^{20} = 1,4968$ — толуол
Остаток	9,35 г	
Потери	4,66 г	

Остаток был вторично разогнан из небольшой колбочки Фаворского на следующие фракции (взято 8,66 г):

121—190°	0,58 г	$n_D^{20} = 1,5051$
193—199°	1,44 г	$n_D^{20} = 1,5203$
199—210°	1,57 г	$n_D^{20} = 1,5278$
210—225°	1,26 г	$n_D^{20} = 1,5498$
247°	2,21 г	кристаллы
Остаток	1,44 г	
Потери	0,16 г	

Фракция 193—199° была очищена дополнительной перегонкой; снят спектр поглощения в ультрафиолете, который совпал со спектром поглощения метилбензоата (максимумы при длинах волн 219, 223, 228, 232 м μ , минимумы — 220, 225, 230 м μ). Фракция 247° и остаток представляли собой почти чистый дифенил, который после перекристаллизации из спирта имел т. пл. 68,0—68,5° (по литературным данным 70,0°), смешанная проба депрессии не дала. Спектр поглощения выделенного дифенила совпал с приведенным в литературе (максимум 247 м μ , минимум 221 м μ).

Таким образом, в нейтральных компонентах метилбензоата идентифицированы бензол, толуол, дифенил и метилбензоат. Неохарактеризованные фракции составили лишь небольшую долю гидрогенизата. Нейтральные компоненты, полученные гидрированием этилбензоата, исследовались менее подробно, перегонка дала фракцию бензола (60%), небольшую фракцию толуола (~10%) и остаток — вязкое масло, перегонявшееся при высоких температурах в широких пределах.

Гидрогенизация фенолбензоата

Выход жидкого гидрогенизата составил в двух параллельных опытах 81,3 и 85,2%, а в среднем 83,3%. Гидрогенизат содержал значительное количество кислых компонентов, в том числе фенолов 32,5 и 37,1%, в среднем 34,8%, и кислот от 4,2 до 4,5%, в среднем 4,4%. Кислоты представляли собой твердое вещество, которое после перекристаллизации плавилось при 121,0—122,0° и было идентифицировано как бензойная кислота.

Фенолы были перегнаны из колбочки Фаворского в вакууме 20 мм. Разгонка показала, что 70% фенолов перегоняются при температуре 84°, что соответствует карболовой кислоте. Присутствие последней было доказано также снятием спектра поглощения фракции в ультрафиолете (максимумы 270 мμ и 277,4 мμ). Кроме карболовой кислоты, присутствуют высшие фенолы, так как температура фракций быстро повышается: 12,5% фенолов перегоняются в интервале 86—173,0°, 7,5% — в интервале 179—181°/20 мм, (10% остаются в остатке). Эта температура близка к температуре кипения п-оксидифенила, образование которого можно ожидать за счет сочетания фенола с фенильным радикалом. Однако вследствие малого количества вещества доказать присутствие п-оксидифенила не удалось. Нейтральные компоненты были разогнаны, как и в предыдущих опытах, и были разделены на бензол, толуол и остаток.

Гидрогенизация фенолсалицилата

Выход жидкого гидрогенизата в двух параллельных опытах составил 81,7 и 82,9%, в среднем 82,3%. Кислых компонентов было значительно меньше, чем в опытах с фенолбензоатом, — 0,9%, а фенолов — 48,9%. В кислых компонентах салициловая кислота не была обнаружена, а бензойная кислота идентифицирована, как и в предыдущих опытах (т. пл. 121,0—122,0°). Разгонка фенолов показала, что 87,5% перегоняются при 84°/20 мм и представляют собой карболовую кислоту. Остаток, в котором должен присутствовать о-крезол, ближе не исследовался. Перегонка нейтральных компонентов дала 40% бензола, а остальные 60% перегонялись в широких пределах, и характерных фракций получено не было. Элементарный анализ отдельных фракций показал присутствие 7—10% кислорода, следовательно, эта сложная смесь содержала не только углеводороды, а главным образом различные нейтральные кислородные соединения. Последние давали серебряное зеркало.

Гидрогенизация фенолацетата

Выход жидкого гидрогенизата составил 68,0 и 69,4%, в среднем 68,7, в том числе 39,4% фенолов. Карбоновых кислот не было. Фенолы целиком перегонялись при 84°/200 мм и представляли собой чистую карболовую кислоту (т. пл. 41,5°). Нейтральные продукты по данным разгонки содержали бензол, значительно меньше толуола и остаток (40%), который кипел в широких пределах и ближе не исследовался.

Выводы

1. Примерами жидкофазной гидрогенизации 8-индивидуальных сложных эфиров доказано, что арильные сложные эфиры дают в этих условиях фенолы, в то время как алкильные сложные эфиры главным образом восстанавливаются до углеводов.

2. Показано, что алкильные сложные эфиры расщепляются в основном по связи между бензольным кольцом и карбоксильной группой, а арильные сложные эфиры — по связи между карбонильной группой и эфирным кислородом.

3. Предложены схемы превращения сложных эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации. Эти схемы предполагают доминирование в данных условиях термического расщепления по радикальному механизму.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
19/XI 1959

ЛИТЕРАТУРА

- И. В. Калечиц, Ф. Г. Салимгареева. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 3, сер. хим., 1955, стр. 79.
- И. В. Калечиц, Р. И. Сидоров. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 18, сер. хим., 1959, стр. 42.
- Н. И. Попова, М. В. Шорохова. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 3, сер. хим., 1955, стр. 40.
- М. Г. Гоникберг, В. Е. Никитенков. Изв. АН СССР, ОХН, 5, 936, 1954.
- И. В. Калечиц, Ф. Г. Салимгареева. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 4, сер. хим., 1956, стр. 12.
- Б. К. Климов, И. Ф. Богданов. Тр. Ин-та горючих ископ. АН СССР, т. III, 1954, стр. 151.
- М. Г. Гоникберг, Ли Гуан-янь. ДАН СССР, 120, № 6, 1259 (1958).
- V. W. Jones, M. V. Neuworth, Ind. Eng. Chem № 44, 2872, 1952.
- R. Kubicka. Freiburger Forschungshefte, A36, 95, 1959.
- Ф. Г. Салимгареева, Б. В. Давидович, М. Ф. Иванова. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 18, сер. хим., 1959, стр. 95.
- И. В. Калечиц, Си Цзу-вей, Ф. Г. Салимгареева. Тр. Вост.-Сиб. фил. СО АН СССР, вып. 26, сер. хим., 1959, стр. 45.
- Ф. Ц. Гансфорд. В кн. А. Фаркаша «Физическая химия углеводов». М., Гостоптехиздат, 1958, стр. 198.
- Справочник химика, II. Госхимиздат, 1951, стр. 280.
- Химические реактивы и препараты. Госхимиздат, 1953, стр. 181.

А. С. БЕРГЕР

**О ФАЗОВОМ СОСТАВЕ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
β-ДВУХКАЛЬЦИЕВОГО СИЛИКАТА
С БЕССОДОВЫМИ РАСТВОРАМИ АЛЮМИНАТА НАТРИЯ**

О природе соединений, образование которых приводит к вторичным потерям окиси алюминия при бессодовом выщелачивании глиноземсодержащих спеков, нет единого мнения.

Некоторые авторы считают, что окись алюминия связывается в трехкальциевый гексагидроалюминат — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [1, 2]. Чжен Нен-и (Академия наук КНР) установил образование в этих условиях производных трехкальциевого гексагидроалюмината типа гидрогранатов. Последние представляют собой непрерывный ряд твердых растворов, которые трехкальциевый гексагидроалюминат образует с гроссуляром — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$. Отдельные члены этого ряда могут рассматриваться как продукты частичного замещения воды в $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ группами SiO_2 [3].

Другие исследователи [4, 5] полагают, что основным соединением, в виде которого теряется окись алюминия, а также щелочь, является гидроалюмосиликат натрия — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,7\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. В тех случаях, когда молярное отношение Na_2O к Al_2O_3 в шламах меньше единицы, по мнению этих авторов, образуются водные алюмосиликаты кальция путем замещения в молекуле гидроалюмосиликата натрия окиси натрия окисью кальция.

В. А. Мазель [6] считает, что при агитационном выщелачивании тонкоизмельченного нефелинового спека быстро наступает насыщение алюминатного раствора кремнеземом, вследствие чего создаются условия для выделения гидроалюмосиликата натрия в осадок. При диффузорном выщелачивании кускового бокситового спека образуются трехкальциевый гексагидроалюминат или водные алюмосиликаты кальция.

Возможность образования водных алюминатов и алюмосиликатов кальция при выщелачивании в отсутствие соды обусловлена разрушением β-двухкальциевого силиката спека в щелочных алюминатных растворах с выделением гидрата окиси кальция, который способен взаимодействовать с окисью алюминия и кремнеземом, присутствующими в этих растворах.

Экспериментальный материал о составе и свойствах кальциевых гидроалюмосиликатов, образующихся в условиях выщелачивания алюминатных спеков, очень ограничен.

В задачу настоящей работы входило изучить фазовый состав продуктов обработки β-двухкальциевого силиката бессодовыми растворами алюмината натрия и выяснить природу новообразований.

Исходные вещества и материалы

В качестве исходного β-двухкальциевого силиката использовался продукт выщелачивания спека, полученного на основе маложелезистой пробы (Fe_2O_3 вал. — 3,04%) уррита одного из сибирских месторождений.

Брикетируемая шихта из измельченного уррита, соды (ХЧ) и карбоната кальция (ЧДА), составленная в молярных отношениях:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 2 : 1, \quad \frac{\text{CaO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 : 1, \quad \frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1,05,$$

спекалась в силитовой печи при 1250° в течение 30 мин. Спек после измельчения до полного прохождения через сито с размером стороны отверстия 246 м выщелачивался при $T : \text{Ж} = 1 : 4$, $t = 70^\circ\text{C}$ в течение 15 мин. раствором следующего состава: $\text{Na}_2\text{O}_{\text{карб}} = 1$ моль и $\text{Na}_2\text{O}_{\text{кауст}} = 0,25$ моля на 1 моль Al_2O_3 в спеке. Шлам от выщелачивания после отделения от раствора, промывки, сушки и прокаливании при 1000° до постоянного веса измельчался до полного прохождения через сито со стороны отверстия 53 м и имел следующий химический состав (%):

п.п.п.	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O
	0,08	31,06	4,10	2,20	0,37	1,53	61,36
							1,24

Для установления фазового состава шлам подвергался химическому, термическому (ДТА) и рентгеновскому анализам. Определение CaO , входящей в состав $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, по количеству окиси кальция в борнокислой вытяжке [7] показало, что в виде β-двухкальциевого силиката находится 57,79% CaO (расчетное количество окиси кальция, связанной в $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, исходя из содержания SiO_2 в шламе, равно 57,98%). Таким образом, полученный шлам примерно на 90% состоит из β-двухкальциевого силиката. При микроскопическом просмотре шлама обнаружено, что препарат состоит из агрегатов мельчайших желтовато-бурых частиц размером 1 м и менее, $N_{\text{ср}} > 1,700$.

Межплоскостные расстояния линий на дебаеграмме образца почти полностью совпадают с межплоскостными расстояниями для синтетического $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ по литературным данным [8], а интенсивности их несколько ослаблены. Кроме того, на рентгенограмме шлама имеется несколько слабых линий (2,48; 1,60 и 1,58 kx), отсутствующих в списке линий синтетического образца.

Растворы алюмината натрия готовились растворением металлического алюминия в растворах едкого натра, приготовленных из химически чистого едкого натра. После растворения алюминия они фильтровались через капроновый фильтр и анализировались на содержание Al_2O_3 и $\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$ (в данном случае равно $\text{Na}_2\text{O}_{\text{кауст}}$).

Методика эксперимента и анализов

Навеска β-двухкальциевого силиката помещалась в стеклянный реакционный сосуд с мешалкой и гидравлическим затвором для изоляции содержимого сосуда от атмосферного воздуха. Опыты проводились в термостате с точностью регулировки температуры $\pm 0,1^\circ\text{C}$. В сосуд наливался определенный объем алюминатного раствора, и в действие приводилась мешалка, момент пуска в ход которой считался временем начала опыта. После окончания опыта содержимое сосуда быстро отфильтровывалось на воронке Бюхнера через капроновый фильтр. Промытый осадок высушивался при $105\text{--}110^\circ$ до постоянного веса и подвергался дальнейшим анализам. Валовый состав образцов определялся

общепринятыми методами анализа силикатов. Содержание Na_2O во всех препаратах было определено на пламенном фотометре ИСП-51.

В основу рационального химического анализа для установления фазового состава образцов положена методика, предлагаемая рядом авторов [7] для определения фазового состава глиноземистого цемента. Препарат последовательно подвергается трем обработкам. 1) Сначала производится обработка 5% раствором борной кислоты при комнатной температуре и непрерывном встряхивании в течение 1,5 час. (навеска препарата — 0,25 г, объем раствора — 100 мл). При этом в раствор переходит только окись кальция, связанная в β -двухкальциевый силикат, из которого она после отделения твердого остатка осаждается оксалатом аммония с последующим титрованием раствором перманганата калия (0,05 N). 2) Остаток на фильтре обрабатывается в колбе с обратным холодильником 10% раствором соды (объем раствора — 100 мл) при температуре кипения в течение 2 часов. При этом в раствор переходит окись алюминия, связанная в гексагидроалюминат, и определяется весовым методом после осаждения аммиаком. 3) Остаток на фильтре после содовой обработки подвергается второй борнокислой обработке в описанных выше условиях, при которой в раствор переходит окись кальция, связанная в трехкальциевый гексагидроалюминат.

Во всех опытах соблюдалось постоянным $T : Ж = 1 : 5$ (навеска β -двухкальциевого силиката — 10 г, объем раствора — 50 мл).

Экспериментальные результаты

Влияние продолжительности опыта на состав твердой фазы

Из данных химического анализа (табл. 1) видно, что содержание окиси алюминия в образцах через 6 час. после начала опыта достигает максимального значения и при увеличении продолжительности опыта растет очень незначительно. Препараты 1—4 получены действием на β -двухкальциевый силикат раствора следующего состава: $\text{Na}_2\text{O}_{\text{кауст}} = 250,6 \text{ г/л}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 251,3 \text{ г/л}$; $\alpha_k = 1,64$; препараты 5—8 — $\text{Na}_2\text{O} = 105,2 \text{ г/л}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 102,0 \text{ г/л}$; $\alpha_k = 1,70$; препараты 9—12 — $\text{Na}_2\text{O} = 13,0 \text{ г/л}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,8 \text{ г/л}$; $\alpha_k = 1,67$.

В первые 6 часов от начала опыта количество окиси алюминия в продуктах взаимодействия $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ с алюминатными растворами тем больше, чем выше концентрация действующего раствора, но после 6 часов содержание окиси алюминия в препаратах, полученных действием растворов с концентрацией $\sim 100 \text{ г/л Al}_2\text{O}_3$, примерно того же порядка, что и в препаратах, полученных действием более концентрированного раствора $\sim 250 \text{ г/л Al}_2\text{O}_3$. Во всех препаратах процентное содержание окиси натрия в 5—10 раз меньше процентного содержания окиси алюминия и составляет 0,15—0,3 моля Na_2O на 1 моль Al_2O_3 .

Молярное отношение H_2O к Al_2O_3 (в данном случае $\text{H}_2\text{O}, \% = \text{п.п.}, \%$) с течением времени уменьшается, достигая через 6 час. для каждой концентрации действующего раствора (см. выше) определенного постоянного значения:

№ препарата	1	2	3	4
Мол. отн. H_2O к Al_2O_3	5,06	4,37	4,12	4,16
№ препарата	5	6	7	8
Мол. отн. H_2O к Al_2O_3	5,85	4,73	4,30	4,09
№ препарата	9	10	11	12
Мол. отн. H_2O к Al_2O_3	14,2	7,73	7,10	6,99

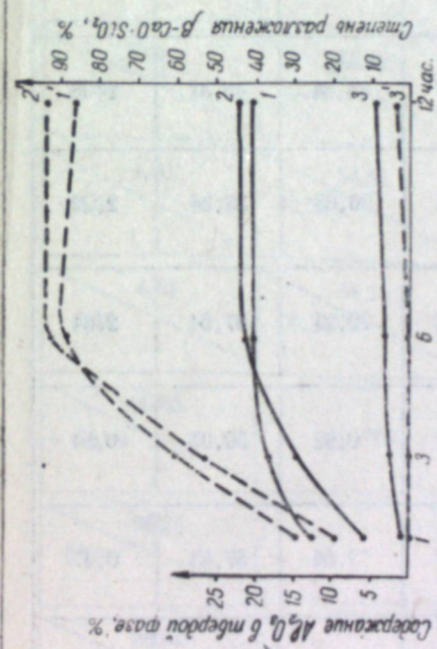


Рис. 1. Зависимость содержания окиси алюминия в твердой фазе и степени разложения β -двухкальциевого силиката от продолжительности опыта.
Сплошная линия — содержание Al_2O_3 в твердой фазе, %; штриховая линия — степень разложения $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, %; Al_2O_3 : 1, 1' — 251,3 г/л Al_2O_3 ; $\alpha_k = 1,64$; 2, 2' — 102,0 г/л Al_2O_3 ; $\alpha_k = 1,70$; 3, 3' — 12,8 г/л Al_2O_3 ; $\alpha_k = 1,67$.

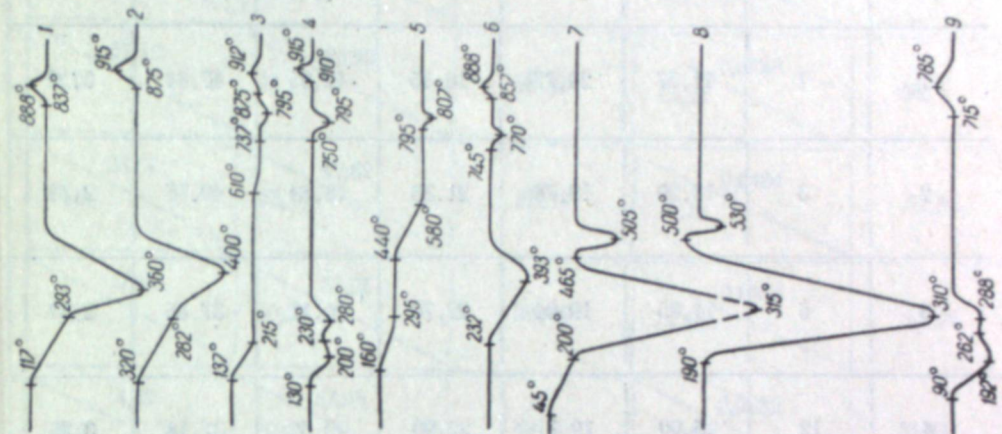


Рис. 2. Дифференциальные кривые нагревания.
1 — препарата 3, 251,3 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 1,64$; 2 — препарата 7, 102 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 1,70$; 3 — препарата 14, 48,9 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 1,67$; 4 — препарата 13, 26,9 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 1,60$; 5 — препарата 11, 12,8 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 1,67$; 6 — препарата 16, 48,9 г/л Al_2O_3 , $\alpha_k = 0,75$; 7 — синтетического трехкальциевого гексагидроалюмината; 8 — синтетического гидравлического глинозема; 9 — синтетического гидравлического силиката натрия.

Результаты валового и рационального химического анализов препаратов,

№ препарата	Время опыта в часах	Химический состав препарата, %					
		п. п. п.	SiO ₂	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O
1	1	11,57	20,77	16,15	12,95	47,84	1,22
2	3	14,29	19,78	21,33	18,64	40,76	2,73
3	6	14,85	19,94	22,70	20,17	37,85	2,53
4	12	15,00	19,71	22,90	20,32	37,18	3,35
5	1	5,70	27,39	9,30	5,58	55,66	0,91
6	3	12,34	22,30	17,87	14,84	45,31	1,35
7	6	15,57	19,52	23,25	20,65	38,84	2,22
8	12	16,06	19,03	24,68	22,21	37,04	2,64
9	1	2,30	31,07	4,87	0,92	59,05	0,54
10	3	3,49	30,50	6,42	2,56	57,83	0,47
11	6	3,61	30,34	6,75	2,89	57,42	0,49
12	12	6,11	28,52	8,65	5,00	54,61	0,54

Примечание. В содовую вытяжку переходит также железо.

Таблица I

полученных при различной продолжительности опыта (t опыта 90°C)

1-я борнокислая обработка	2-я борнокислая обработка	Извлечение CaO в обе вытяжки, %	Содовая обработка	Извлечение R ₂ O ₃ в содовую вытяжку %
KMnO ₄ , мл CaO, %	KMnO ₄ , мл CaO, %		R ₂ O ₃ , г R ₂ O ₃ , %	
57,17 32,06	26,95 15,11	98,60	0,0398 15,92	98,5
26,57 14,90	42,62 23,90	95,17	0,0404 16,16	75,76
7,12 3,99	53,95 30,26	90,49	0,0364 14,56	64,14
4,45 2,50	54,65 30,64	89,13	0,0332 13,28	58,00
84,6 47,42	14,85 8,30	96,40	0,0224 8,96	96,34
35,0 19,63	42,42 23,79	95,83	0,0372 14,88	83,27
4,50 2,52	54,55 30,59	85,25	0,0386 15,44	66,40
4,10 2,30	54,10 30,34	88,13	0,0337 13,48	54,62
100,05 56,08	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
98,25 55,0				
98,05 54,99				
87,75 49,21	10,25 5,75	100,0	0,0208 8,32	96,04

Из рис. 1 видно, что содержание Al_2O_3 в препаратах и степень разложения исходного β -двухкальциевого силиката в них увеличиваются параллельно (в препаратах с максимальным содержанием окиси алюминия (3, 4, 7, 8) исходный β - $2CaO \cdot SiO_2$ разложен на 88—93%).

Степень разложения β -двухкальциевого силиката для каждого препарата рассчитывалась следующим образом. Количество CaO , связанное в β - $2CaO \cdot SiO_2$ в данном препарате, исходя из предположения, что β -двухкальциевый силикат в процессе взаимодействия остался неизменным, принималось за первоначальное и подсчитывалось по формуле:

$$CaO \text{ в } C_2S_{\text{исх}} = a \cdot \frac{57,79}{61,36} \%,$$

где 61,36 — валовое содержание CaO в исходном нефелиновом шламе в %, 57,79 — количество CaO в %, переходящее в первую борнокислую вытяжку в исходном нефелиновом шламе и соответствующее количеству окиси кальция, связанной в β - $2CaO \cdot SiO_2$, a — валовое содержание CaO в данном препарате в %.

Содержание CaO , фактически связанное в данном препарате в β -двухкальциевый силикат (% CaO в $C_2S_{\text{факт}}$), определялось по количеству окиси кальция, переходящей в раствор при первой борнокислой обработке данного препарата.

Отношение

$$\frac{\% CaO \text{ в } C_2S_{\text{исх}} - \% CaO \text{ в } C_2S_{\text{факт}}}{\% CaO \text{ в } C_2S_{\text{исх}}} \cdot 100$$

характеризует собой степень разложения β -двухкальциевого силиката в %. Кривые нагревания ДТА, типичные для этих препаратов, изображены на рис. 2 (кривые 1, 2, и 5). Эти термограммы характеризуют препараты, полученные при 6-часовом опыте. С уменьшением или увеличением продолжительности опыта меняется только величина эффектов. На кривых охлаждения термические эффекты отсутствуют. Постоянство характера термограмм свидетельствует о том, что с течением времени природы образующихся соединений не изменяется.

Влияние концентрации действующего раствора алюмината натрия на состав твердой фазы

С увеличением концентрации действующего на β -двухкальциевый силикат алюминатного раствора до 100 г/л Al_2O_3 (рис. 3, табл. 2, табл. 1, препараты 3, 7 и 11) содержание Al_2O_3 в твердой фазе сначала растет, а затем становится постоянным. Аналогичным образом изменяется степень разложения β - $2CaO \cdot SiO_2$.

Содержание Na_2O в среднем равно 0,17—0,19 моля на 1 моль Al_2O_3 (крайние пределы колебаний: 0,28 моля в препарате № 11 и 0,07 моля в препарате 14).

Молярное отношение H_2O к Al_2O_3 по мере увеличения концентрации действующего раствора уменьшается, стремясь к постоянному значению, равному в данном случае 4.

Термические кривые нагревания (кривые 1—5 рис. 2) для образцов, полученных действием растворов, содержащих 100 и 250 г/л, аналогичны друг другу. На кривых нагревания препаратов, полученных действием более слабых растворов, эффекты выражены менее четко, иногда

Таблица 2
Результаты валового и рационального химического анализов препаратов, полученных действием алюминатных растворов различной концентрации (1 опыта 90°C, продолжительность опыта 6 час.).

№ препарата	Состав алюминатного раствора			Химический состав препарата, %						1-ая борнокислая обработка	2-ая борнокислая обработка	Извлечение CaO в обе вытяжки, %	Содовая обработка	Извлечение R_2O_3 в соловую вытяжку, %
	Na_2O кауст, г/л	Al_2O_3 , г/л	n_k	п. п. п.	SiO_2	R_2O_3	Al_2O_3	CaO	Na_2O	КМnO ₄ , мл	КМnO ₄ , мл			
										CaO, %	CaO, %	R_2O_3 , %		
13	26,2	26,9	1,60	9,76	26,70	10,55	7,16	50,75	0,49	76,72	14,00	100,0	0,0252	95,5
										43,02	7,85		10,08	
14	49,6	48,9	1,67	10,05	25,50	15,22	11,94	49,07	0,48	58,95	28,90	99,27	0,0371	97,50
										33,05	15,76		14,84	

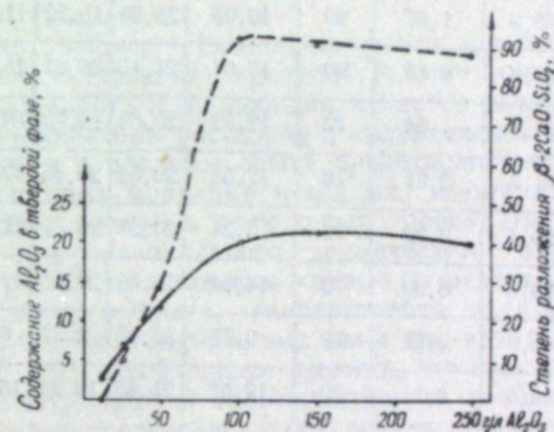


Рис. 3. Зависимость содержания окиси алюминия в твердой фазе и степени разложения β -двухкальциевого силиката от концентрации действующего раствора алюмината натрия. ($n_k = 1,6 - 1,7$).

Сплошная линия — содержание Al_2O_3 в твердой фазе, % штриховая линия — степень разложения β - $2CaO \cdot SiO_2$, %.

носят характер перегибов, которые не всегда воспроизводятся. На кривых охлаждения во всех случаях какие-либо эффекты отсутствуют.

Влияние каустического модуля действующего раствора алюмината натрия на состав твердой фазы

Из табл. 3 следует, что при высоких концентрациях действующих растворов алюмината натрия (100—250 г/л Al_2O_3) изменение каустического модуля раствора в пределах 1,6—6,6 не оказывает существенного влияния на состав образующейся твердой фазы. Это объясняется тем, что для данных концентраций при значении каустического модуля 1,6—1,7 уже достигается достаточно полное разложение β -двухкальциевого силиката (препараты 3 и 7), а образцы содержат максимальное количество окиси алюминия. В препаратах 15 и 18, по данным рационального химического анализа, степень разложения исходного β - $2CaO \cdot SiO_2$ равна 91,3 и 95,5%.

Таблица 3

Состав препаратов, полученных действием алюминатных растворов с различным каустическим модулем (Продолжительность опыта 6 час.)

№ препарата	Состав алюминатного раствора			t опыта, °C	Химический состав препарата, %					
	Na ₂ O кауст., г/л	Al ₂ O ₃ , г/л	μ _к		п. п. п.	SiO ₂	R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O
3	250,6	251,3	1,64	90	14,85	19,94	22,70	20,17	37,85	2,33
15	251,6	151,3	2,71	90	13,46	20,24	23,99	21,44	38,20	3,52
7	105,3	102,0	1,70	90	15,57	19,52	23,25	20,65	38,84	2,22
17	198,5	99,4	3,29	90	13,71	20,93	21,10	18,40	40,41	3,02
18	399,5	99,6	6,60	90	15,99	19,01	23,20	20,85	36,12	4,50
14	49,6	48,9	1,67	90	10,05	25,60	15,22	11,94	49,07	0,48
16	250,0	48,9	8,75	90	13,04	21,15	20,81	18,00	42,06	2,20
19	250,6	251,3	1,64	70	12,93	20,68	19,70	16,89	43,90	1,85
20	251,6	151,3	2,71	70	12,53	20,66	20,40	17,53	42,97	2,40
21	198,5	99,4	3,29	70	13,24	20,98	20,37	17,60	42,83	2,60
22	399,5	99,6	6,60	70	14,84	19,30	20,55	17,92	39,40	3,65
23	49,6	48,9	1,67	70	9,72	26,48	9,52	6,06	51,80	0,52
24	250,0	48,9	8,75	70	12,86	21,43	19,30	16,44	42,83	2,04

С увеличением каустического модуля действующего раствора содержание окиси натрия в твердой фазе несколько возрастает, в препаратах 7, 17 и 18 оно равно соответственно 0,16, 0,36 и 0,36 моля Na₂O на 1 моль Al₂O₃.

При более низкой концентрации действующего алюминатного раствора (50 г/л Al₂O₃) увеличение каустического модуля с 1,67 до 8,75 в значительной степени отражается на содержании Al₂O₃ в твердой фазе (ср. препараты 14 и 16; 23 и 24); содержание Al₂O₃ увеличивается в 1,5—2,5 раза. Количество окиси натрия (в процентном выражении) возрастает при этом в 5 раз, оставаясь в молярном отношении равным 0,14—0,20 моля Na₂O на 1 моль Al₂O₃.

Молярное отношение H₂O к Al₂O₃ во всех препаратах (за исключением 23-го) отличается большим постоянством. Его среднее значение для 11 образцов равно 4,28, при крайних пределах колебаний 3,60—4,77.

Характер дифференциальных кривых нагревания (кривые 1, 2 рис. 2) для продуктов, полученных действием растворов высоких концентраций (100—250 г/л Al₂O₃), не меняется при изменении каустического модуля действующего раствора в интервале 1,6—6,6. Сравнение кривой 3 с кривой 6 (рис. 2) показывает, что при увеличении каустического модуля от 1,64 до 8,67 при концентрации действующего раствора 50 г/л Al₂O₃ характер кривой нагревания в области высоких температур не меняется, а при низких температурах вместо перегиба при 137—215° появляется четкий эндотермический эффект в интервале 232—393°.

Влияние температуры на состав твердой фазы

Сравнение составов препаратов, полученных при 90 и 70° (табл. 3) обнаруживает небольшую разницу. В продуктах взаимодействия при 90° несколько выше содержание окиси алюминия (в среднем на 3%) и величина потерь при прокаливании (от 0,18 до 2,3%).

Зависимости состава твердой фазы от величины каустического модуля действующего раствора алюмината натрия, о которых говорилось выше, одинаково хорошо соблюдаются при обеих температурах. Кривые нагревания продуктов, полученных при 70 и 90°, совершенно аналогичны.

Обсуждение результатов

Из сопоставления количеств окиси алюминия и окиси натрия, содержащихся в препаратах, видно, что молярное отношение Na₂O к Al₂O₃ в них гораздо меньше 1: от 0,1 до 0,3 моля Na₂O на 1 моль Al₂O₃. Следовательно, гидроалюмосиликат натрия, если он и образуется, не является основным соединением, в виде которого связана окись алюминия в исследуемых образцах.

К преимущественному связыванию окиси алюминия может приводить образование следующих соединений: гидраргиллита, трехкальцевого гексагидроалюмината и гидроалюмосиликатов кальция. Возможность разложения алюминатных растворов с выделением нерастворимой гидроксиды алюминия в процессе опыта предотвращалась достаточно высокими каустическими модулями исходных алюминатных растворов. Отсутствие гидраргиллита в полученных препаратах подтверждается результатами дифференциального термического и рентгенофазового анализов. На рис. 2 представлены кривые нагревания ДТА трехкальцевого гексагидроалюмината, гидраргиллита и гидроалюмосиликата натрия, специально синтезированных нами для этой цели (соответственно кривые 7, 8 и 9). Необходимо отметить, что на кривой нагревания 3CaO · Al₂O₃ · 6H₂O второй эндотермический эффект (465—505°) не свойственен самому соединению и обусловлен присутствием некоторого количества гидрата окиси кальция, оставшегося неосвоенным в процессе синтеза препарата.

Сравнение кривых нагревания исследуемых образцов с кривыми 7—9 (рис. 2) показывает, что в случае четко выраженных эффектов на первых они больше всего похожи на кривую 7, характерную для 3CaO · Al₂O₃ · 6H₂O, с той разницей, что начало, конец и неизменно воспроизводящийся перегиб на левой ветви низкотемпературного эндотермического эффекта сдвинуты на 75—100° в сторону более высоких температур (120° вместо 45°; 275—295° вместо 200° и 375—400° вместо 315° соответственно). Ни в одном случае ни экзотермический пик при 500°, ни эндотермический минимум при 530°, свойственные гидраргиллиту, не наблюдаются. Природа высокотемпературного экзотермического эффекта на кривых нагревания этих препаратов остается пока неясной.

Рентгенограммы образцов (излучение железное, отфильтрованное окисью марганца, 30 кВ, 10 мА, диаметр камеры — 57,3 мм, экспозиция — 20 час.) подтверждают отсутствие гидраргиллита, но не дают ясного представления о природе новообразований.

Дебаеграммы препаратов, полученных при низких концентрациях действующего алюминатного раствора (например препарата 12) почти полностью, за исключением самых слабых линий, повторяют рентгенограмму исходного β-двухкальцевого силиката. На рентгенограммах образцов, полученных действием концентрированных растворов (например

Фазовый состав препаратов, в которых исходный β -двухкальциевый силикат прореагировал в наибольшей степени

№ препарата	Состав остатка, %					Состав остатка, мол.					Состав остатка в расчете на 1 моль Al_2O_3				
	% CaO в составе β - $CaO \cdot SiO_2$	% SiO_2 в составе β - $CaO \cdot SiO_2$	CaO	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	H_2O	CaO	Na_2O		Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	H_2O
			33,86	2,33	20,17	1,36	17,80	0,0086	0,297	0,825		0,038	0,197	0,0086	0,297
3	3,99	2,14	33,86	2,33	20,17	1,36	17,80	14,85	0,605	0,038	0,197	0,0086	0,297	0,825	$3,2CaO \cdot 0,2Na_2O \cdot 1,0Al_2O_3 \cdot 0,04Fe_2O_3 \cdot 1,55SiO_2 \cdot 4,1H_2O$
7	2,52	1,35	36,32	2,22	20,65	1,39	18,17	15,57	0,649	0,035	0,202	0,0087	0,303	0,868	$3,2CaO \cdot 0,2Na_2O \cdot 1,0Al_2O_3 \cdot 0,04Fe_2O_3 \cdot 1,4SiO_2 \cdot 4,3H_2O$
8	2,30	1,23	34,74	2,64	22,21	1,83	17,80	16,06	0,620	0,043	0,218	0,0083	0,297	0,892	$2,8CaO \cdot 0,2Na_2O \cdot 1,0Al_2O_3 \cdot 0,04Fe_2O_3 \cdot 1,4SiO_2 \cdot 4,1H_2O$
15	3,14	1,68	35,06	3,52	21,44	1,37	18,56	13,46	0,626	0,057	0,210	0,0086	0,309	0,748	$3,0CaO \cdot 0,3Na_2O \cdot 1,0Al_2O_3 \cdot 0,04Fe_2O_3 \cdot 1,5SiO_2 \cdot 3,5H_2O$
18	1,55	0,83	34,57	4,50	22,85	1,30	18,18	15,99	0,617	0,073	0,204	0,0081	0,303	0,888	$3,0CaO \cdot 0,4Na_2O \cdot 1,0Al_2O_3 \cdot 0,04Fe_2O_3 \cdot 1,5SiO_2 \cdot 4,4H_2O$

препаратов 4 и 8), хорошо сохраняется в качестве самой интенсивной наиболее сильная линия β - $2CaO \cdot SiO_2$ (2,73 кх), значительно возрастает интенсивность линий, соответствующих межплоскостным расстояниям 2,24; 1,99 и 1,64 кх, и появляется несколько слабых дополнительных линий ($d = 3,30$; 3,06; 1,14 кх). Исследуемые препараты, судя по небольшому числу линий на рентгенограммах, плохо откристиллизованы (в списке гидраргиллита, синтезированного нами из растворов, содержащих 150 г/л Al_2O_3 при $\alpha_k = 1,65$, насчитывается 45 линий).

Все препараты содержат определенное количество непрореагировавшего β -двухкальциевого силиката, т. е. образцы не являются мономинеральными. Однако для препаратов, в которых количество неразложившегося β -двухкальциевого силиката составляет 2,5—5% от их веса, оказалось интересным рассчитать состав остатка (по отношению к 1-ому молью Al_2O_3) после вычета из валового содержания окиси кальция и кремнезема в указанных препаратах тех количеств этих компонентов, которые по данным рационального химического анализа связаны в β - $2CaO \cdot SiO_2$. Из результатов расчетов, приведенных в табл. 4, видно, что состав указанного остатка отличается вполне удовлетворительным постоянством и близостью к формуле: $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 1,5SiO_2 \cdot 4H_2O$ (если пренебречь неболь-

шой примесью железа, перешедшего из исходного нефелинового шлама, и оставить открытым вопрос о природе связи окиси натрия).

По своему составу гидроалюмосиликат кальция — $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 1,5SiO_2 \cdot 4H_2O$ — может быть отнесен к гидрогранатам. Термографически гидрогранаты ведут себя аналогично гексагидроалюминату кальция [9], что наблюдается и в данном случае. В отличие от $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, разлагающегося практически полностью 10% содовым раствором, гидрогранаты, по данным Чжен Нен-и, отдают в содовую вытяжку не более 20% связанной в них окиси алюминия. Препараты, синтезированные нами, отличаются от гидрогранатов меньшей устойчивостью по отношению к содовым растворам: в содовую вытяжку переходит 55—65% Al_2O_3 , связанной в них (см. табл. 1). Нужно отметить, что способность к полному разложению в содовых растворах утрачивается, начиная с определенного содержания SiO_2 в составе гидроалюмосиликатов кальция, так как у препаратов, полученных действием концентрированных растворов при малой продолжительности опыта (препараты 1 и 5) и растворов малых концентраций (препараты 12—14), в содовую вытяжку переходит около 95% Al_2O_3 , а суммарное извлечение CaO в две борнокислые вытяжки близко к 100%.

Характерной способностью гидрогранатов является более высокий показатель преломления, чем у чистого $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$. Между количеством кремнезема, входящего в состав гидрограната, и его показателем преломления существует определенная количественная зависимость [10], согласно которой показатель преломления гидрограната, содержащего 1,5 моля SiO_2 на 1 моль Al_2O_3 , должен быть больше 1,63.

В отличие от гидрогранатов исследуемые образцы при просмотре под поляризационным микроскопом обнаруживают следующие оптические свойства: очень тонкодисперсны; состоят из мельчайших (размером менее 1μ) бесцветных и желтоватых, слегка анизотропных частиц; оптически неоднородны — численные значения показателя преломления для отдельного препарата колеблются в довольно широких пределах, оставаясь во всех случаях ниже 1,600 (у $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ $N = 1,602—1,604$). У наиболее гомогенных образцов показатель преломления близок к 1,577 (пределы колебаний $N = 1,570—1,594$).

Исследуемые образцы отличаются от гидрогранатов гораздо худшей откристиллизованностью: не дают на рентгенограмме сколько-нибудь четкой картины, поддающейся расшифровке, в то время как гидрогранаты хорошо воспроизводят рентгенографическую характеристику трехкальциевого гексагидроалюмината (с некоторым сдвигом линий, связанным с образованием твердых растворов).

Для снижения вторичных потерь окиси алюминия, связанных с образованием гидроалюмосиликатов кальция, необходимо введение соды в растворы, идущие на выщелачивание спеков. Изучение величины потерь окиси алюминия и щелочи при действии на β -двухкальциевый силикат растворов алюмината натрия в присутствии соды в зависимости от указанных выше факторов, а также фазового состава твердых продуктов взаимодействия является предметом дальнейших исследований.

Выводы

1. Содержание окиси алюминия в твердой фазе увеличивается по мере увеличения степени разложения исходного β -двухкальциевого силиката. Последняя в наиболее гомогенных образцах, содержащих максимальное количество окиси алюминия (20—22%), составляет 90—95%

от первоначального содержания β -двухкальциевого силиката в препарате.

2. Основными продуктами взаимодействия β -двухкальциевого силиката (в виде нефелинового шлама) с бессодовыми растворами алюмината натрия являются водные алюмосиликаты кальция, состав которых приближается к формуле $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

3. При достаточно высоких концентрациях действующего раствора алюмината натрия (100—250 г/л Al_2O_3) указанные гидроалюмосиликаты кальция образуются, начиная с 1-го часа взаимодействия, при 70—90° и любом каустическом модуле, в интервале значений последнего 1,6—6,6.

4. Указанные гидроалюмосиликаты кальция обладают следующими свойствами: а) имеют переменный показатель преломления, для наиболее гомогенных образцов близкий к 1,577; б) термографически ведут себя аналогично $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, с той разницей, что температуры начала, конца и перегиба на левой ветви эндотермического эффекта на 75—100° сдвинуты в область высоких температур; в) 10% раствором соды разлагаются не полностью, с переводом в раствор 50—65% окиси алюминия, содержащейся в них.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
3/III 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. М. Песни, А. Ф. Думская, О. Л. Ривина, О химических процессах при получении окиси алюминия по методу спекания. Тр. ГИПХА, вып. 32, 1940, стр. 25—41.
2. М. Г. Лейтензон, О характере вторичных потерь глинозема при поточном выщелачивании кускового спека. Мат. Всес. совещ. по химии и технологии глинозема. Изд. СО АН СССР, 1960.
3. Н. А. Торопов, Гидратация алюминатов и алюмоферритов кальция. В кн. «Химия цементов», М., 1956, стр. 203—214.
4. И. С. Лилеев, О роли кремнезема в процессе получения окиси алюминия. Дисс. ЛХТИ. Л., 1948, стр. 309—313.
5. М. Н. Смирнов, М. Ф. Малышев, Современное состояние процесса выщелачивания спеков и изыскание прогрессивной технологической схемы их переработки. Тр. ВАМИ, № 42, Л., 1959, стр. 32—44.
6. В. А. Мазель, О механизме процесса выщелачивания алюминатных спеков. Тр. ВАМИ, № 39, Л., 1957, стр. 170—180.
7. С. М. Рояк, Э. И. Нагерова, Г. Г. Корниенко, Исследование фазового состава глиноземистого цемента химическим методом. Цемент, № 2, 1959, стр. 22—24.
8. J. D. Hanawalt, H. W. Rinn, L. K. Frevel, Chemical Analysis by X-Ray Diffraction Classification and use of X-Ray Diffraction Patterns. Ind. Eng. Chem. № 9, p. 457—481, 1938.
9. С. А. Миронов, О. М. Астреева, Л. А. Малинина, О взаимодействии минералов трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита с тонокомолотым кварцевым песком при автоклавной обработке. Цемент, № 2, 1957, стр. 9—13.
10. О. М. Астреева, Петрография вяжущих материалов. Госстройиздат, М., 1959, стр. 140—145.

Е. П. ОЖИГОВ, Л. И. КОРЕНЬ, Л. В. ХОЖАИНОВА

ПОЛУЧЕНИЕ ДОЛГОДЕЙСТВУЮЩИХ МИКРОУДОБРЕНИЙ (ФРИТТ) ИЗ ДАТОЛИТОВЫХ РУД

За последнее время в сельском хозяйстве большое значение приобретают долгодействующие микроудобрения, вносимые один раз на ряд лет. С этой целью удобрения вносятся с сорбентами [1], в ячейках вспученного перлита [2], покрываются медленнорастворимыми пленками [3].

Заслуживает внимания также способ получения комплексных долгодействующих микроудобрений в виде стекловидных сплавов — фритт [1, 4—7].

Преимущество фритт как долгодействующих удобрений заключается в том, что вследствие слабой растворимости микроэлементы из них не вымываются водой. При контакте с корневой системой растений микроэлементы из фритт медленно небольшими дозами поступают в растение. Фритты как удобрения вносятся один раз на ряд лет и могут содержать несколько видов микроэлементов. Фритты слабо реагируют с веществами почв и не образуют вредных для растений соединений. Они не разрушаются при обработке почвы и ввиду малой растворимости не приносят вреда, когда внесены в избытке [1, 5—7].

Обычно фритты получают путем сплавления смеси песка и других стеклообразующих веществ (или ранее сваренного стекла) с различными солями микроэлементов. Сплавление происходит при температуре порядка 1550°С. В состав фритт входят 25—85% SiO_2 , 3—20% CaO и MgO , 2—15% Fe_2O_3 , 1—35% Na_2O и K_2O , 1—50% окислов микроэлементов.

Основным недостатком обычных фритт является то, что для приготовления их используются соли микроэлементов, получаемые сложной химической переработкой руд с отделением большого количества силикатного балласта.

Наши исследования показывают, что комплексные долгодействующие микроудобрения в виде фритт можно получать непосредственным сплавлением датолитовой руды с горными породами, концентратами, отходами, содержащими микроэлементы. Легкоплавкой стеклообразующей основой служит датолит, содержащий один из наиболее необходимых микроэлементов — бор. Состав датолитовых руд близок к составу фритт: помимо бора, в них содержатся нужные количества других окислов, требующихся для образования стекла. Бор играет роль плавня, заменяя щелочи. Расплавление и образование стекловидной фазы происходят при сравнительно низких температурах и без введения дефицитных щелочей. Становится возможным использовать некондиционные бедные концентраты, отходы и руды. Очевидно, что вместо датолитовых руд можно использовать также другое борсодержащее сырье.

В последнее время разрабатываются различные способы получения обычных борных удобрений из бедных датолитовых руд. По схеме НИУИФа [9] датолитовая руда обрабатывается серной кислотой. По технологии УНИХИМа [10] она подвергается термообработке, причем в качестве удобрения предложено использовать спеки, получающиеся в результате такой термообработки.

Датолитовые руды представлены боросиликатным минералом — датолитом ($2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и вмещающими породами: кварцем и карбонатом ($\text{SiO}_2, \text{CaCO}_3$) или геденбергитом ($\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$) и гранатом ($3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$). Химический состав датолита следующий: B_2O_3 — 21,9%, SiO_2 — 37,5%, CaO — 35,0%, H_2O — 5,6% (в пересчете на расплав: B_2O_3 — 23,1%, SiO_2 — 39,7%, CaO — 37,2%). Химический состав датолитовых руд колеблется в пределах: B_2O_3 — 5—15%, SiO_2 — 30—50%, CaO — 20—40%, окислов железа — до 10%.

Нами исследовались три образца датолитовых руд.

Первый образец представлял собой кварц-карбонатную, бедную бором руду (7,63% B_2O_3). Такие руды широко распространены, но химическая переработка их затруднена из-за большого количества трудноотделимого силикатного балласта.

Второй образец был представлен также кварц-карбонатной рудой с относительно высоким содержанием B_2O_3 (13,25%).

В качестве третьего образца исследовалась геденбергитовая руда. Содержание B_2O_3 в ней было меньше (12,16%), чем в предыдущем образце, однако она содержала примеси марганца и железа и, очевидно,

Химический состав датолитовых руд (вес. %)*

Компоненты	Кварц-карбонатная руда		Кварц-карбонатная руда		Геденбергитовая руда	
	I образец		II образец		III образец	
	руда	стекло	руда	стекло	руда	стекло
SiO_2	45,00	53,65	40,36	45,32	41,16	42,75
Al_2O_3	0,20	0,24	1,42	1,60	—	—
B_2O_3	7,63	9,10	13,25	14,90	12,16	12,62
Fe_2O_3	0,60	0,72	0,69	0,78	3,83	3,96
FeO					5,60	5,80
CaO	30,12	35,92	33,00	37,10	31,72	32,91
MgO	0,21	0,25	0,27	0,30	1,06	1,10
MnO	—	—	—	—	0,83	0,86
R_2O	0,10	0,12	—	—	—	—
п. п. п.	16,14	—	10,50	—	3,84	—
Сумма	100,00	100,00	99,49	100,00	100,20	100,00

* Химический анализ выполнялся химиками-аналитиками Н. В. Боровицкой и Л. К. Иваненко.

могла после расплавления служить готовой комплексной бор-марганцевой железистой фриттой. Наличие железа и марганца затрудняло химическую переработку руды, но облегчало переплавку ее на фритты.

Химический состав образцов и пересчет их на прокаленное вещество (расплав, стекло) приведены в табл. 1.

Пересчет на минералогический состав показывает, что в первом образце содержится 35% датолита, 32% кальцита и 32% кварца, т. е. образец представляет собой кварц-карбонатную руду. Другой образец кварц-карбонатной руды (обр. 2) содержит 61% датолита, 20% каль-

Таблица 2 Выщелачивание B_2O_3 из бор-марганцевых (датолит-геденбергитовых) и борных (датолитовых) фритт

Руда	Режим сплавления	Введено реагентов, %	Навеска	Выщелачивание водой		Выщелачивание лимон. кислотой		Общая усвояемость B_2O_3				Продукт сплавления
				степень извлечен. B_2O_3 в водн. вытяж., % (К)	степень извлечен. B_2O_3 в лимон. кисл. вытяж., % (К)	лимонно-растворим. B_2O_3 , %	степень извлечен. B_2O_3 в остатке, %	вес остатка после выщелачивания, г	содержание B_2O_3 в остатке, %	усвояемый B_2O_3 , %	степень извлечения B_2O_3 , % (К)	
Геденбергитовая	1200—1300	100	2	11,78	2,29	10,61	90,0	0,484	3,72	10,88	92,3	стекло
	1100—1200	95	2	12,42	4,34	11,60	93,3	0,276	1,50	12,14	97,6	стекло
	1100—1200	90	2	11,64	3,69	11,19	96,1	0,130	< 1,50	11,62	99,8	стекло
	1100—1200	80	0,4	≈ 10	3,00	≈ 9,7	≈ 97	—	по анал.	≈ 10	≈ 100	стекло
	без термообработ.	100	2	12,36	0,72	2,77	22,4	1,5372	12,36	2,86	23,1	порошок
	1000	100	2	12,77	0,59	10,41	81,5	0,79	4,48	11,00	86,1	спек-сплав
	1100	100	2	13,00	0,49	11,76	90,4	0,456	3,25	12,25	94,16	сплав
	1200	100	1	12,58	0,54	11,54	94,9	0,092	1,00	12,48	99,2	стекло
	1000—1300	95	1	11,64	0,36	11,23	96,4	0,050	< 1,00	11,59	99,5	стекло
	через 100	90	1	10,91	0,36	10,52	96,4	0,0254	< 1,00	10,88	59,7	стекло
	1000—1300	80	1	9,32	0,36	8,90	95,4	0,058	< 1,00	9,26	59,3	стекло
	через 100	100	0,5	8,78	1,73	6,72	76,5	0,1472	1,01	8,45	96,2	спек-сплав
Бедная кварц-карбонатная	1200	100	1	8,79	1,26	7,31	83,1	0,1690	1,28	8,57	97,4	сплав
	1300	100	1	8,44	0,90	7,36	87,2	0,2380	0,75	8,26	97,8	стекло
	1360	100	1	—	—	—	—	—	—	—	—	стекло
Богатая кварц-карбонатная	1100	100	2	14,82	0,97	13,59	91,7	0,4994	1,01	14,56	98,2	спек-сплав
	1200	100	1	14,22	1,03	13,02	91,5	0,1212	1,34	14,05	98,7	сплав
	1300	100	2	14,24	0,40	13,78	96,7	0,3326	0,38	14,18	99,5	стекло

цита и 17% кварца. Содержание датолита в геденбергитовой руде составляет 54%, т. е. является высоким.

Богатая кварц-карбонатная датолитовая руда с 13,25% B_2O_3 начинает плавиться при 1100—1200° и при 1300° С представляет собой совершенно однородное стекло.

Непригодные для химической переработки, но широко распространенные бедные руды также достаточно легкоплавки и образуют хорошие проваренные стекла. Расплавление кварц-карбонатной руды, содержащей 7,63% B_2O_3 , начинается при 1200—1300° и заканчивается при 1360°.

Геденбергит-датолитовая руда, содержащая 12,16% B_2O_3 но имеющая примеси железа и марганца, начинает плавиться, как и кварц-карбонатная руда, с 13,25% B_2O_3 при 1100—1200° и расплавляется полностью при 1300°, образуя бор-марганцевую фритту.

Вводя в состав шихты щелочи, можно добиться дальнейшего снижения температур получения фритт. Добавки щелочей (в виде карбонатов) в количестве 5, 10 и 20% от веса шихты понижают температуры начала и полного расплавления на 50—100°. Увеличение содержания щелочей сверх 5% практически не приводит к дальнейшему понижению точки плавления. В качестве добавки, понижающей точку плавления, лучше вводить калий (поташ, хлористый калий), являющийся одним из основных питательных веществ растений. Шихта с добавкой поташа расплавляется при тех же температурах, что и с добавкой соды, правда расплав получается более вязким.

Свойства фритт, полученных из геденбергитовой руды с различными количествами соды (бор-марганцевая фритта), бедной и богатой кварц-карбонатной руды (борная фритта), а также из геденбергитовой руды с добавками поташа (комплексная калий-бор-марганцевая фритта), можно видеть из данных, приведенных в табл. 2, 3.

Таблица 3

Выщелачивание B_2O_3 из бор-марганцевых калийных фритт на основе геденбергит-датолитовой руды

Режим сплавления	Введение реагентов, %		Сплав	Выщелачивание водой			Выщелачивание лимонной кислотой			Общая усвояемость B_2O_3			Продукт сплавления	
	температура, °С	выдержка, мин.		руда	поташа	навеска, г	содержание B_2O_3 , %	водорастворимый B_2O_3 , %	K_1	лимонно-растворимый B_2O_3 , %	K_2	вес остатка, г		содержание B_2O_3 в остатке, %
1200	10	95	5	2	12,49	0,36	2,8	12,06	96,5	0,3652	0,39	12,42	99,3	Расплав
1200	30	95	5	2	12,49	0,32	2,5	12,05	96,4	0,3610	0,64	12,37	98,9	*
1300	30	95	5	2	11,09	0,27	2,4	10,72	96,6	0,3710	0,53	10,59	99,50	Стекло
1000	30	90	10	2	12,09	0,75	6,2	11,15	92,2	0,3278	1,15	11,90	98,4	Спек-сплав
1100	30	90	10	2	12,02	0,64	5,3	11,24	93,5	0,3138	0,92	11,88	98,8	Расплав
1200	10	9	10	2	11,80	0,73	6,10	10,96	92,8	0,2098	1,02	11,69	98,9	*
1200	30	90	10	2	11,88	0,58	4,88	11,19	94,1	0,2382	0,90	11,77	98,98	*
1300	30	90	10	2	11,01	0,27	2,45	10,62	96,4	0,3770	0,66	10,89	98,85	Стекло
800	10	80	20	2	10,36	1,84	17,7	5,77	55,6	0,7368	7,47	7,61	73,3	Спек
1000	10	80	20	2	11,08	1,19	10,7	8,85	79,8	0,2224	0,81	10,04	90,5	Сплав
1100	10	80	20	1	11,12	1,44	12,94	9,61	86,4	0,0606	1,00*	11,05	99,34	Расплав
1200	10	80	20	2	10,58	0,73	6,89	9,79	92,5	0,0974	1,18	10,52	99,39	Стекло
1300	30	80	20	2	9,29	0,27	2,90	8,84	95,1	0,2010	1,79	9,11	98,00	*

* Предположительно

Во фриттах нами определялся водо-, лимоннорастворимый и общий усвояемый бор по методике [11]. За лимоннорастворимый B_2O_3 принималась та часть его, которая выщелачивается лимонной кислотой (2%-ный раствор) из осадка после водной обработки.

Методика определений коротко сводилась к следующему. Навеска помещалась в колбу и обрабатывалась в ней встряхиванием в течение 30 мин. с 100-кратным количеством дистиллированной воды при 20°, после чего отфильтровывалась; остаток на фильтре промывался 50 мл воды и переносился в колбу для 30-минутной обработки таким же количеством 2%-ного водного раствора лимонной кислоты, затем вновь отфильтровывалась и отмывалась 50 мл воды. Полученные продукты (исходные вещества, фильтраты, сухие остатки) подвергались химическому анализу, на основании которого производился расчет.

Из приведенных данных видно, что полученные стекловидные удобрения являются полноценными фриттами, так как усвояемый бор в них составляет 90—100%. Водой выщелачивается лишь несколько процентов бора.

Укажем некоторые закономерности общего порядка.

С увеличением температуры сплавления содержание лимоннорастворимого B_2O_3 в общем повышается, а водорастворимого — уменьшается. Можно отметить, что увеличение водорастворимости бора или микроэлементов с увеличением температуры, связанное с разрыхлением кристаллической решетки, после перехода в стабильное стеклообразное состояние падает; напротив, расплавление слаборастворяющихся в органических кислотах минералов в стекло приводит к хорошему выщелачиванию кислотами.

Температуры получения расплавов из различных руд близки между собой. Близки и свойства фритт. Однако кварц-карбонатные руды (бедные и богатые) хуже геденбергитовых. Вероятно, сказывается влияние активирующих веществ (Fe, Mn), т. е. комплексные фритты лучше и по условиям их получения и по свойствам. Хуже других бедные кварц-карбонатные руды: из бедных составов общее извлечение меньше, тогда как основные стекла больше выщелачиваются водой.

Свойства фритт улучшаются с увеличением времени выдержки (очевидно, до некоторого предела, близкого к равновесному состоянию стекла при данной температуре).

Результаты предыдущей работы [12] и данные работ УНИХИМа [10] по спеканию датолита с содой показывают, что слишком большое количество щелочей (30—130% сверх 100% датолита) приводит к почти полному растворению фритты в воде (в этом случае оптимальная по выходу B_2O_3 температура лежит в пределах спека).

Свойства K- и Na-фритт практически одинаковы. Однако, хотя калиевые фритты хуже провариваются, им следует отдать предпочтение.

Заметим, что для введения других микроэлементов можно использовать руды, горные породы, отходы. Однако все они, как и употребляемое борсодержащее сырье, не должны содержать не только ядовитых для растений веществ (свинец и др.), но и больших количеств Al_2O_3 , ухудшающих свойства фритт.

Для увеличения содержания марганца нами вводился марганец-содержащий силикат — геденбергит (химический состав его: SiO_2 — 46,42%, Al_2O_3 — 0,20%, B_2O_3 — 1,17%, Fe_2O_3 — 3,56%, FeO — 14,44%, MnO — 3,10%, CaO — 26,10%, MgO — 3,62%, п.п.п. — 1,92%. Температура получения этих фритт и их свойства по растворимости практически не отличались от ранее приведенных.

С этой же целью нами вводился в геденбергит-датолитовую руду

алюмосиликат — аксенит, содержащий одновременно марганец и бор (химический состав: SiO_2 — 41,27%, Al_2O_3 — 18,38%, B_2O_3 — 5,72%, Fe_2O_3 — 1,18%, FeO — 2,90%, MnO — 8,10%, CaO — 21,68%, MgO — 0,26%, п. п. п. — 0,51%) в количествах 20, 40, 60, 80 и 100% от веса шихты. Если температура плавления и в этом случае мало отличалась от ранее указанных температур, то свойства резко ухудшались. Например, выщелачивание компонентов фритты, сваренной из 60% геденбергитового датолита и 40% аксенита (температура получения 1200°), характеризуется данными, приведенными в табл. 4.

Таблица 4
Выщелачивание бор-марганцевой фритты, сваренной из 60% геденбергит-датолитовой руды и 40% аксенита

Компоненты	Растворение фритты				Химический состав сухого остатка, %
	содержание компонентов в исходной навеске, %	перешло в водную вытяжку, %	перешло в лимоннокислую вытяжку, %	осталось в осадке, %	
SiO_2	42,64	0,13	16,82	25,80	44,44
Al_2O_3	7,01	0,21	3,47	4,15	7,15
FeO	7,65		3,65	4,26	7,32
MnO	4,09		1,45	2,27	3,90
CaO	28,30	0,48	11,23	16,15	27,80
MgO	0,86	0,14	0,13	0,36	0,62
B_2O_3	9,73	0,16	4,28	5,29	9,12
			(по разности)		
Σ	100,28	1,12	41,03	58,28	100,35
Γ	2	0,0224	0,8206	1,1620	1,1620

Видно, что такая фритта (в воде растворяется 1%, а в лимонной кислоте 41%) плоха тем, что растворяется менее чем на 50% от исходной навески, причем почти нет избирательного выщелачивания питательных веществ (B_2O_3 , MnO , а также Fe_2O_3 , CaO , MgO); химический состав почти не отличается от состава исходной пробы, замечается лишь очень незначительное уменьшение содержания указанных окислов и увеличение содержания SiO_2 и Al_2O_3 .

Нами была сварена опытная партия фритты весом 26 кг из кусков датолита и геденбергита, в которую, помимо присутствующих в руде бора и марганца (12,51% B_2O_3 , 0,61% MnO), вводились окислы цинка (1%), меди (1%), кобальта (0,5%), молибдена (0,5%). Эта комплексная фритта содержала 6 основных микроэлементов. Для увеличения легкоплавкости добавлялось 5% K_2CO_3 . Шихта легко расплавлялась и хорошо проваривалась в обычном горне для плавки цветных металлов.

На основании исследований установлена возможность получения долгодействующих удобрений в виде рудных фритт с очень простой технологией изготовления. Технология эта состоит из следующих несложных операций: приготовление шихты на основе датолитовой (или другой борсодержащей) руды с добавкой руд, концентратов или отходов, содержащих нужные элементы; расплавление шихты; ее грануляция и размельчение.

Расчеты показывают, что стоимость микроудобрений, полученных таким образом, составляет ориентировочно 150—200 руб/т, что в 3—4 раза ниже стоимости микроудобрений в виде солей и производимых из них обычных фритт.

Таким образом, найдена возможность простого и дешевого производства высококачественных комплексных долгодействующих микроудобрений и необходимо ставить вопрос о создании в Сибири и на Дальнем Востоке производства по получению рудных фритт.

Дальне-Восточный филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
7/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

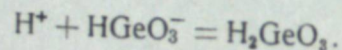
1. П. А. Власюк, М. С. Дарменко, Марганцевые и другие фритты и их действие на урожай сельскохозяйственных культур. Тез. докл. третьего Всес. совещ. по микроэлементам. Изд. АН Аз. ССР, Баку, 1958.
2. Burkett, Soil conditioning and fertilizing compounds and methods of manufacture. Патент США 2779670, 29.01.57.
3. Ота, Получение медленнодействующих удобрений. Патент Яп. 2074, 23.03.56.
4. Vana, Di Geronimo, Fused vitreous compositions as nutrients for plant growth. Патент США 2732290, 24.01.56.
5. Я. В. Пейве, Р. С. Риньке, Эффективность молибдена, цинка и бора, входящих в состав стекловидных удобрений и промышленных отходов. Изв. АН Лат. ССР, № 5, 1957.
6. Ю. А. Жданов, К. П. Азаров, В. Е. Гарбатенко, Стекла и фритты для удобрения почв микроэлементами. ДАН СССР, т. 108, № 6, 1956.
7. К. П. Азаров, Ю. А. Жданов, М. Ф. Скалозубов, Многолетние минеральные удобрения. Природа, № 10, 1957.
8. Е. П. Ожигов, Л. И. Корень, Л. В. Хожаннова, Получение рудных фритт. Тез. докл. на сессии Совета ДВФ СО АН СССР по итогам научных исследований 1958 г. Владивосток, 1959.
9. Л. Е. Берлин, О производстве борной кислоты, буры и борных удобрений. ЖПХ, т. XVIII, № 8, 1955.
10. А. М. Поляк, Л. И. Девятовская, Получение борных удобрений из различных видов боратого сырья. Тр. УНИХИМ, вып. IV. Работы по технологии неорганических веществ. Госхимиздат, 1957.
11. А. В. Соколов, Агрохимия фосфора. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950.
12. Е. П. Ожигов, Н. П. Коцупало, Н. В. Боровицкая, Безавтоклавное разложение датолитовой руды содой. Изв. СО АН СССР, № 5, 1959.

Н. В. СТАШКОВА, А. И. ЗЕЛЯНСКАЯ

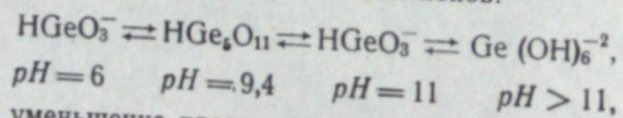
О МЕХАНИЗМЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧЕТЫРЕХВАЛЕНТНОГО ГЕРМАНИЯ НА РТУТНОМ КАПЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОДЕ

В предыдущей статье [1] было показано, что восстановление четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде имеет ряд специфических особенностей. Установлено, что величина константы диффузионного тока и значение потенциала полуволны зависят от pH раствора и концентрации германия в растворе. Некоторые из этих особенностей отмечались в работах других исследователей.

Изучением влияния pH на восстановление германия занимались Г. Совень и Г. Дуйкарт [2]. Они считают, что на ртутном капельном электроде могут восстанавливаться только недиссоциированные молекулы H_2GeO_3 , количество которых уменьшается с увеличением pH раствора. Вычислив концентрацию недиссоциированных молекул H_2GeO_3 и построив теоретическую кривую диффузионного тока в зависимости от pH раствора, авторы установили, что экспериментальное значение предельного тока германия всегда имеет большую величину по сравнению с теоретической. Эту разницу они объясняют возникновением кинетического тока, обусловленного дополнительным образованием в приэлектродном слое молекул H_2GeO_3 по реакции:



С. Дар [3], учитывая, что германий в зависимости от pH может существовать в растворе в форме различных ионов:



приписывает уменьшение предельного тока в области pH 8,5—9,5 низкому коэффициенту диффузии иона пентагерманата. Резкое падение величины диффузионного тока при более высоких значениях pH Дар объясняет образованием ионов $Ge(OH)_6^{-2}$, не способных восстанавливаться на ртутном капельном электроде. Влияние pH на потенциал полуволны германия автор связывает с участием ионов гидроксидов в электродной реакции восстановления германия. Таким образом, представления о причинах влияния pH на диффузионный ток германия противоречивы. Ряд вопросов (влияние концентрации германия на величину константы диффузионного тока, отсутствие сдвига потенциала полуволны при увеличении pH от 6 до 8,5) вообще не рассматривается.

Экспериментальная часть

Нами исследовалось восстановление четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде на фоне уксуснокислого натрия при

различных значениях pH раствора и концентрации германия. Условия опытов подробно описаны нами в предыдущей работе [1].

Нами было показано, что в растворе 0,2 М CH_3COONa при pH 6—10 получаются отчетливые волны германия.

Значения угловых коэффициентов этих волн, найденные графически из прямых в координатах $E - \lg \frac{i}{I-i}$, колеблются в зависимости от pH в пределах от 0,06 до 0,15, что подтверждают данные других авторов [2, 3]. При этом вычисленное значение числа электронов, принимающих участие в электродной реакции, получается меньше единицы. Последнее не согласуется с высоким значением константы диффузионного тока, указывающей на многоэлектронный процесс восстановления германия.

Для нахождения истинного числа электронов, участвующих в электродной реакции восстановления германия, нами был использован метод полярографической кулометрии [4].

Опыты проводились в растворе, состоящем из 0,2 М CH_3COONa , 0,5 М Na_2SO_3 и 0,001 % желатина; объем раствора в каждом опыте составлял 0,7 мл, а содержание германия менялось от $5 \cdot 10^{-7}$ до $7 \cdot 10^{-7}$ молей.

Число электронов вычислялось по формуле:

$$z = \frac{I_0 k 10^{-18}}{0,222N}, \quad (1)$$

где z — число электронов,

I_0 — предельный ток в начале электролиза,

k — коэффициент пропорциональности, определяемый из графика

$\lg \frac{I_0}{I} - t$ (здесь t — время в сек., I — предельный ток в момент времени t),

N — число молей германия в растворе.

Значение z оказалось равным 3,76; 4,11; 4,26, что в среднем составляет 4,04. Следовательно, восстановление германия на ртутном капельном электроде идет до нулевой валентности.

Несоответствие между значениями числа электронов, вычисленными из уравнения волны и полученными методом кулонометрической полярографии, указывает на необратимый характер электродного процесса восстановления четырехвалентного германия. В подтверждение этого нами были сняты анодно-катодные волны германия с амальгамным капельным электродом и рассчитан приведенный ток обмена, непосредственно характеризующий необратимость электродного процесса.

Получить амальгаму прямым растворением металлического германия не удастся вследствие очень малой растворимости германия в ртути при обычных условиях [5]. Поэтому амальгама готовилась электролизом растворов германия при pH 6—10 на ртутном катоде, потенциал которого поддерживался —1,5—2,0 в в зависимости от pH и состава электролита.

Содержание германия в амальгаме было порядка 0,1 мМ/л, а концентрация германия в растворе 0,2 М CH_3COONa при $pH = 7$ менялась от 0,025 до 2 мМ/л.

Опыты с амальгамным капельным электродом показали, что на полярограмме получают отдельные анодные и катодные волны, отстоящие друг от друга на 1,4 в. Большое раздвижение катодной и анодной волн подтверждает высокую степень необратимости электродной реакции германия. Расчет величины приведенного тока обмена и значения

обратимого потенциала производился на основе положений, развитых А. Г. Стромберггом [6], о необратимых электродных процессах.

Приведенный ток обмена (i_0^0) связан с нормальным током обмена выражением:

$$i_0^0 = i_0^0 J_k^{\beta} J_a^{\alpha}, \quad (2)$$

где J_k — предельный ток катодной волны,
 J_a — предельный ток анодной волны,

$$\alpha = \frac{b}{b_k}, \quad \beta = \frac{b}{b_a}, \quad b = \frac{0,059}{z},$$

b_k и b_a — углы наклона катодной и анодной волн в координатах

$$\lg \frac{i}{I-i} - E.$$

Нормальный ток обмена в случае, когда $\alpha + \beta \neq 1$, связан с разностью потенциалов и катодной волны ($\Delta E_{1/2ak}$) следующим уравнением [6]:

$$\lg i_0 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \lg J_a + \frac{\beta}{\alpha + \beta} \lg J_k - \frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} \Delta E_{1/2ak}. \quad (3)$$

Комбинируя уравнения (2) и (3), получаем следующее выражение для вычисления приведенного тока обмена:

$$-\lg i_0^0 = \frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} \Delta E_{1/2ak}. \quad (4)$$

Зависимость логарифма приведенного тока обмена от логарифма концентрации германия изображена на рис. 1, из которого видно, что величина тока обмена меняется в пределах 10^{-6} — 10^{-15} μ А.

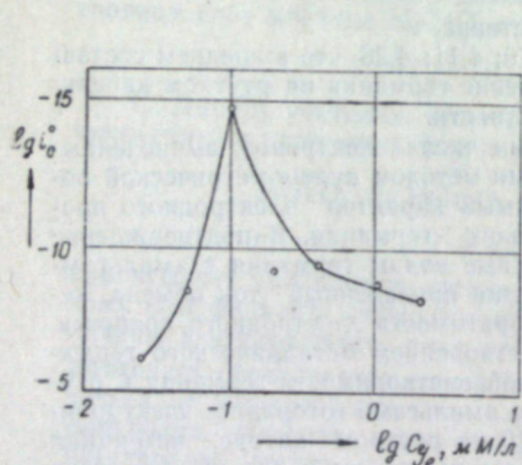


Рис. 1. Зависимость приведенного тока обмена (i_0^0) от концентрации германия в растворе 0,2 М CH_3COONa при $\text{pH} = 7,8$.

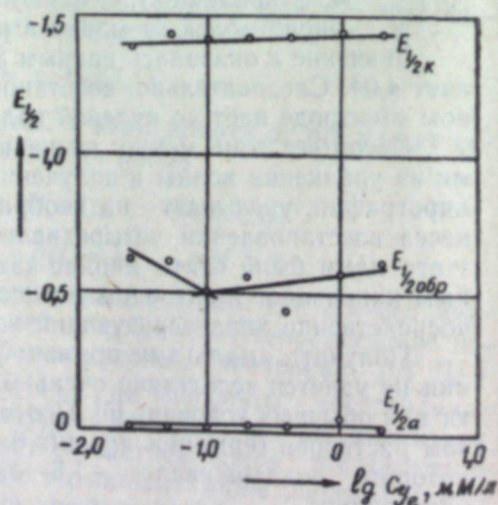


Рис. 2. Влияние концентрации германия в растворе на потенциалы полуволи катодной, анодной и обратимой волн при $\text{pH} = 7,3$ в 0,2 М CH_3COONa .

Такие малые величины тока обмена указывают на замедленный процесс разряда ионов и ионизации атомов германия на амальгамном капельном электроде.

Следовательно, электродный процесс восстановления и окисления германия лимитируется не только медленной стадией диффузии ионов к электроду и обратно, но и медленным протеканием стадий приобретения и отдачи электронов.

Влияние концентрации германия на величину потенциала полуволи рассматривалось нами для катодной, анодной и обратимой волн. Вычисление обратимого потенциала полуволи ($E_{1/2обp}$) производилось по уравнениям, выведенным также А. Г. Стромберггом:

$$E_{1/2обp} = E_{1/2k} - \Delta E_{1/2k}, \quad (5)$$

где $\Delta E_{1/2k}$ — отклонение катодного потенциала полуволи от обратимого потенциала полуволи германия,

$$\Delta E_{1/2k} = E_{1/2обp} - E_{1/2k} = \frac{b}{\alpha} \lg \frac{J_k}{i_0} + b \lg \frac{J_a}{J_k}, \quad (6)$$

$$\Delta E_{1/2a} = E_{1/2a} - E_{1/2обp} = \frac{b}{\beta} \lg \frac{J_a}{i_0} + b \lg \frac{J_k}{J_a}. \quad (7)$$

Умножив уравнение (6) на α , а уравнение (7) на β и вычитая второе из первого, получим:

$$\alpha \Delta E_{1/2k} - \beta \Delta E_{1/2a} = (\alpha + \beta - 1) b \lg \frac{J_k}{J_a}. \quad (8)$$

Подставляя в уравнение (8) $\Delta E_{1/2a} = \Delta E_{1/2ak} - \Delta E_{1/2k}$, находим:

$$\alpha \Delta E_{1/2k} - \beta \Delta E_{1/2ak} + \beta \Delta E_{1/2k} = (\alpha + \beta - 1) b \lg \frac{J_k}{J_a}, \quad (9)$$

откуда

$$\Delta E_{1/2k} = \frac{\alpha + \beta - 1}{\alpha + \beta} b \lg \frac{J_k}{J_a} + \frac{\beta}{\alpha + \beta} \Delta E_{1/2ak}. \quad (10)$$

Расчеты, проведенные А. Г. Стромберггом, показали, что первое слагаемое в уравнении (10) в 100 раз меньше второго, поэтому можно пользоваться упрощенным уравнением:

$$\Delta E_{1/2k} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} \Delta E_{1/2ak}. \quad (11)$$

Опытные величины полуволевых потенциалов для катодной и анодной волн, а также расчетные для обратимой волн (по уравнению (11) в зависимости от концентрации германия в растворе представлены на рис. 2. Из этого рисунка видно, что при увеличении концентрации германия от 0,025 до 0,1 мМ/л происходит смещение обратимого потенциала полуволи в положительную сторону, а при дальнейшем увеличении концентрации обратимый потенциал полуволи смещается в сторону более отрицательных значений.

Величина обратимого потенциала полуволи зависит также от значения pH раствора (рис. 3). Изменение pH раствора до 8,5 вызывает перемещение потенциала полуволи в положительную сторону, а при $\text{pH} > 8,5$ отмечается сдвиг обратимого потенциала полуволи в сторону более отрицательных значений.

Изучение влияния pH раствора на катодную волну при различной концентрации германия проводилось на ртутном капельном электроде. Результаты опытов представлены на рис. 4.

При содержании германия 0,1 мМ/л значение константы диффузионного тока (K_d) с изменением pH до 8,3 уменьшается незначительно и

равно приблизительно 8, повышение pH до 10 вызывает резкое падение величины диффузионного тока.

Если концентрация германия в растворе равна 1 мМ/л, резкое уменьшение величины константы диффузионного тока наступает уже в интервале pH 6,5—7,2, а с повышением pH до 10 наблюдается слабое снижение величины этой константы (кривая 2).

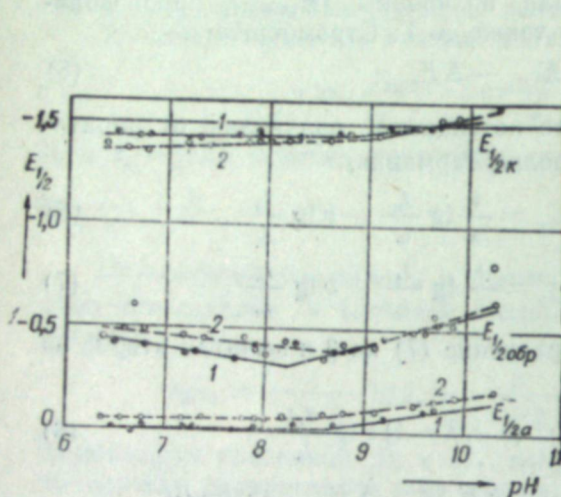


Рис. 3. Влияние pH на потенциалы полуволны катодной, анодной и обратной волны при содержании германия в растворе и ртути 0,1 мМ/л на фоне уксуснокислого натрия.
1 — 0,2 М CH_3COONa ; 2 — 1 М CH_3COONa .

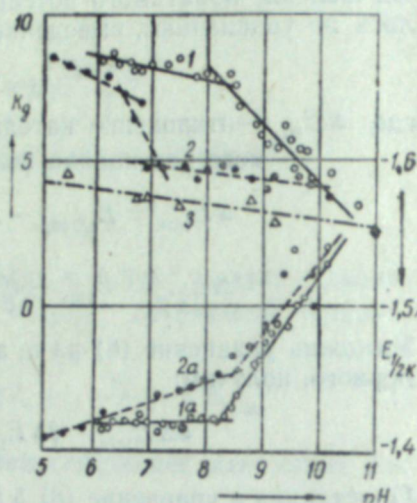


Рис. 4. Зависимость константы диффузионного тока (K_d) и потенциала полуволны ($E_{1/2}$) катодной волны германия от pH в растворе 0,2 М CH_3COONa .
1, 1a — 0,1 мМ/л Ge; 2, 2a — 1 мМ/л Ge; 3 — 5 мМ/л.

Наконец, в растворах с содержанием германия 5 мМ/л во всей исследованной области pH от 5,5 до 11 величина константы диффузионного тока постепенно уменьшается от 4,5 до 2,7 (кривая 3).

Кривые 1а и 2а изображают зависимость значения потенциала полуволны от pH раствора для концентраций германия 0,1 и 1 мМ/л.

При содержании германия 0,1 мМ/л практически нет смещения потенциала полуволны до $pH = 8,3$, а при 1 мМ/л с ростом pH до 8,3 наблюдается заметное смещение потенциала полуволны. При увеличении pH от 8,5 и выше потенциалы полуволны германия резко сдвигаются в сторону более отрицательных значений как для 0,1 мМ/л, так и для 1,0 мМ/л германия в растворе.

Исследование влияния температуры на катодную волну германия проводилось в растворе 0,2 М CH_3COONa , содержащем 0,1, 1 и 10 мМ/л германия при pH 7,3 и 9,1. Измерения проводились через каждые 5 градусов в интервале температур 20—50° С.

Опыты показали, что величина константы диффузионного тока (K_d) во всех случаях возрастала на 1,8—2,5% с увеличением температуры на один градус.

Влияние температуры на потенциал полуволны имеет различный характер в зависимости от pH и содержания германия в растворе. При $pH = 7,3$ и содержании германия 0,1 мМ/л потенциал полуволны смещается на 0,5 мВ/град в отрицательную сторону, в то время как при содержании 1,0 мМ/л сдвига волны с увеличением температуры не наблюдается; при концентрации 10 мМ/л отмечается сдвиг потенциала полуволны в положительную сторону, величина которого равна

1,3 мВ/град. В растворах с $pH = 9$ при содержании германия 0,1 мМ/л смещение $E_{1/2}$ составляет —0,1 мВ/град, при концентрации 1,0 мМ/л сдвиг потенциала полуволны происходит уже в сторону положительных потенциалов (+0,2 мВ/град), наконец, при содержании германия 10 мМ/л смещение достигает +0,6 мВ/град.

Влияние высоты столба ртути на волну германия изучалось при содержании германия 0,1 и 2 мМ/л. Оказалось, что в первом случае отношение предельного тока к корню квадратному из высоты столба ртути (I/\sqrt{h}) не меняется, а во втором случае уменьшается с увеличением столба ртути от 22 до 42 см на 7%.

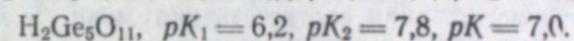
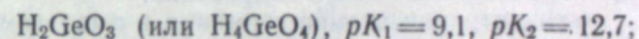
Следовательно, при высоких содержаниях германия можно говорить о наличии кинетического тока.

Обсуждение результатов

Уменьшение величины константы диффузионного тока с увеличением содержания германия в растворе, положительное смещение потенциала полуволны с повышением температуры и уменьшение величины I/\sqrt{h} с увеличением столба ртути при высоких содержаниях германия в растворе дают основание предположить, что при больших концентрациях германия восстановление носит кинетический характер.

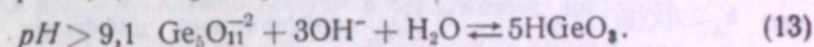
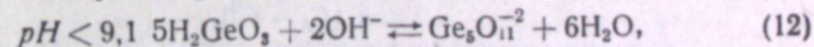
В этих условиях возникновение кинетического тока может быть связано с образованием ассоциированных ионов пентагерманата. Замедленная диссоциация последних на ионы моногерманата, протекающая в приэлектродном слое, может обуславливать появление кинетического тока.

В настоящее время установлено существование двух форм германиевой кислоты [7, 8]:



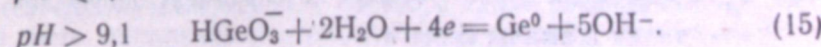
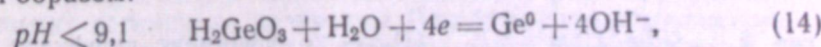
Указывается также, что при концентрации германия 0,18 мМ/л и отсутствии нейтральных солей кривая титрования германиевой кислоты дает графически значение $pK_1 = 9,14$, что подтверждает отсутствие ассоциированных молекул при низких содержаниях германия.

Кроме того, сообщалось [9], что образование ассоциированных молекул достигает максимальной величины при $pH = 9,1$. При разбавлении и изменении pH происходит распад ионов пентагерманата на ионы моногерманиевой кислоты. На основании этих данных можно предположить наличие следующих равновесий:



Из сравнения уравнений (12) и (13) можно заключить, что при увеличении pH до 9,1 реакция должна идти в сторону образования пентагерманатов, а при дальнейшем подщелачивании будет происходить распад ассоциированных ионов.

Электродные реакции восстановления германия можно представить следующим образом:



А. Г. Стромберг вывел уравнения анодной и катодной волн амальгамного капельного электрода в растворе комплексных ионов того же металла при условии замедленной диссоциации комплексов и при условии протекания электродного процесса через стадию простых ионов [10]. Им было показано, что при наличии замедленной диссоциации комплексных ионов металла высота катодной волны ионов металла должна быть значительно меньше, а потенциалы полуволны должны быть смещены в сторону положительных потенциалов по сравнению с волнами, в которых поляризация вызвана только замедленной диффузией ионов к поверхности электрода. Эти положения применимы и к случаю восстановления с предшествующей замедленной диссоциацией ассоциированных ионов германия. Наблюдаемое в опытах смещение обратимого потенциала полуволны в положительную сторону при увеличении содержания германия от 0,025 до 0,1 мМ/л можно объяснить тем, что в этой области концентраций германия происходит увеличение относительно количества пентагерманиевых ионов, диссоциация которых на моногерманиевые ионы происходит замедленно и вызывает сдвиг волны.

Положительное смещение обратимого потенциала полуволны при увеличении pH до 8,2—8,7 можно объяснить также увеличением содержания и замедленной диссоциацией пентагерманиевых ионов. Смещение потенциала полуволны в сторону отрицательных потенциалов при концентрации германия более 0,1 мМ/л или $pH > 8,5$ может быть рассмотрено на основании уравнения волны с учетом замедленной диссоциации пентагерманиевых ионов.

Обозначим:

- C_1 — концентрация моногерманиевых молекул (или ионов) в растворе,
- C_5 — концентрация пентагерманиевых ионов,
- $C_{он}$ — концентрация ионов гидроксила,
- C_m — концентрация атомов германия в амальгаме,
- C_1^0, C_5^0, C_m^0 — концентрации соответственно моно- и пентагерманиевых ионов и атомов германия в амальгаме вблизи поверхности электрода.

При $pH < 9,1$ электродный потенциал определяется уравнением:

$$E = E^0 + b \lg \frac{C_1^0}{C_m^0 (C_{он}^0)^4} \quad (16)$$

Уравнение волны получим, если выразим концентрации C_1^0 и C_m^0 через силу тока.

Составим три уравнения:

$$i = k_5 (C_5 - C_5^0), \quad (17)$$

где $k_5 = 605nD_5^{1/2} m^{2/3} \tau^{-1/6}$ (D_5 — коэффициент диффузии пентагерманиевых ионов);

$$i = k_1 C_5^0 - k_2 (C_1^0)^5 C_{он}^2, \quad (18)$$

где k_1 и k_2 — константы скорости процесса диссоциации и образования пентагерманиевых ионов;

$$i = k_m (C_m^0 - C_m), \quad (19)$$

где $k_m = 605nD_m^{1/2} m^{2/3} \tau^{-1/6}$ (D_m — коэффициент диффузии атомов металла в амальгаме).

При достижении предельного катодного и анодного токов $C_1^0 = 0$ и $C_m^0 = 0$ концентрация пентагерманиевых ионов будет иметь при этом вблизи поверхности электрода некоторое конечное значение $C_5^0 = \bar{C}_5^0$ вследствие медленного процесса диссоциации пентагерманиевых ионов на простые ионы.

Тогда значения предельных токов можно представить уравнениями:

$$I_k = k_1 C_5^0, \quad (20)$$

$$I_k = k_5 (C_5 - C_5^0), \quad (21)$$

$$I_a = k_m C_m. \quad (22)$$

Из уравнений (17—22) получим значение C_m^0 и C_1^0 :

$$C_m^0 = \frac{I_a + i}{k_m}, \quad (23)$$

$$(C_1^0)^5 = \frac{k_1 + k_5}{k_5 k_2 C_{он}^2} (I_k - i). \quad (24)$$

Подставляя эти значения в уравнение (16), получим уравнение анодно-катодной волны германия при наличии замедленной диссоциации пентагерманиевых ионов:

$$E = E^0 + \frac{b}{5} \lg \frac{k_1 + k_5}{k_2} + \frac{b}{5} \lg \frac{k_m^5}{k_5} - \frac{22b}{5} \lg C_{он} - \frac{b}{5} \lg \frac{(I_a + i)^6}{I_k - i}. \quad (25)$$

Потенциал полуволны найдем из условия $i = \frac{1}{2} (I_k - I_a)$:

$$E_{1/2} = E^0 + \frac{b}{5} \lg \frac{k_1 + k_5}{k_2} + \frac{b}{5} \lg \frac{k_m^5}{k_5} - \frac{22b}{5} \lg C_{он} - \frac{4b}{5} \lg (I_k + I_a),$$

где $\frac{b}{5} \lg \frac{k_m^5}{k_5}$ можно заменить $\frac{b}{10} \lg \frac{D_m^5}{D_5}$;

$$\lg C_{он} = \lg k_w + pH.$$

Следовательно,

$$E_{1/2} = E^0 + \frac{b}{5} \lg \frac{k_1 + k_5}{k_2} + \frac{b}{10} \lg \frac{D_m^5}{D_5} - \frac{22b}{5} \lg k_w - \frac{22b}{5} pH - \frac{4b}{5} \lg (I_k + I_a). \quad (26)$$

Аналогично для $pH > 9,1$ можно получить следующее уравнение:

$$E_{1/2} = E^0 + \frac{b}{5} \lg \frac{k_1 + k_5}{k_2} + \frac{b}{10} \lg \frac{D_m^5}{D_5} - 5b \lg k_w - 5b pH - \frac{4b}{5} \lg (I_k + I_a). \quad (27)$$

Из уравнений (26), (27) видно, что изменение концентрации германия в растворе и амальгаме, а также изменение pH раствора должны вызывать смещение потенциала полуволны. При этом с увеличением концентрации пентагерманиевых ионов в растворе сдвиг потенциала полуволны должен быть направлен в отрицательную сторону, что подтвер-

ждается экспериментальными данными при увеличении содержания германия от 0,1 до 2 мМ/л (см. рис. 2).

С увеличением pH раствора на смещение потенциала полувольты накладываются два фактора: положительное смещение под влиянием увеличения содержания ассоциированных ионов и замедленной их диссоциации и отрицательное смещение, вызванное электродной реакцией. В зависимости от pH и концентрации германия в растворе может доминировать тот или иной фактор. Так, при концентрации германия 0,1 мМ/л с увеличением pH с 6 до 8,5 наблюдается смещение потенциала полувольты в положительную сторону вследствие малого числа ассоциированных молекул. Но с последующим повышением pH (с 8,5 до 10) отмечается отрицательное смещение обратимого потенциала полувольты (см. рис. 3), что объясняется увеличением образования пентагерманиевых ионов и усилением влияния самой электродной реакции, вызывающей отрицательное смещение согласно уравнениям (26) и (27).

В подтверждение справедливости уравнений (26) и (27) нами было рассмотрено уравнение для катодной волны ($I_a=0$):

$$E = E_{1/2} - \frac{b}{5} \lg \frac{i^5}{I - i} - \frac{4b}{5} \lg \frac{2}{I_k} \quad (28)$$

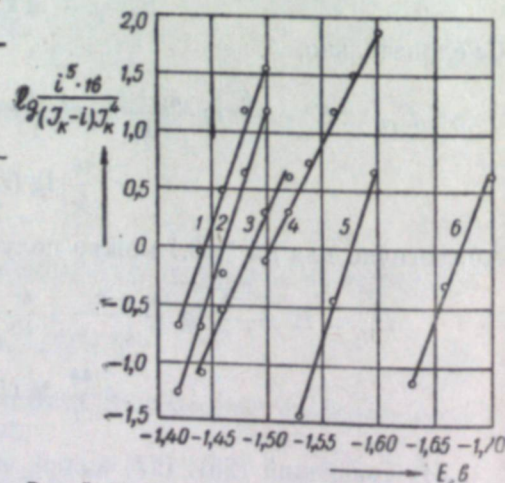
Из этого уравнения следует, что должна существовать прямолинейная зависимость между потенциалом и $\lg \frac{16i^5}{(I_k - i)I_k^4}$.

Действительно, расчеты поляризационных кривых, полученных на фоне 0,2 М CH_3COONa при содержании германия 1 мМ/л и различном значении pH раствора, показали линейную зависимость E от $\lg \frac{16i^5}{(I_k - i)I_k^4}$ (рис. 5). Значения потенциалов полувольт, вычисленные при условии $i = \frac{I_k}{2}$ и $\lg \frac{16i^5}{(I_k - i)I_k^4} = 0$, удовлетворительно согласуются с величинами $E_{1/2}$, найденными другими способами (таблица).

Таблица

Значения $E_{1/2}$, вычисленные различными методами (в в)

pH	$E_{1/2}$ по уравнению (28)	$E_{1/2}$ по уравнению Гейровского-Ильковича	$E_{1/2}$ по графическому методу
6,2	-1,444	-1,441	-1,44
8,0	-1,462	-1,464	-1,47
8,3	-1,470	-1,468	-1,47
8,5	-1,486	-1,480	-1,48
8,8	-1,486	-1,487	-1,49
9,2	-1,504	-1,497	-1,50
9,7	-1,503	-1,503	-1,50
10,2	-1,578	-1,576	-1,57
10,7	-1,673	-1,673	-1,67

Рис. 5. Проверка уравнения волны (25) для концентрации германия 1 мМ/л в растворе 0,2 М CH_3COONa .

1 - $pH = 6,2$; 2 - $pH = 8,0$; 3 - $pH = 8,5$;
4 - $pH = 9,7$; 5 - $pH = 10,2$; 6 - $pH = 10,7$.

Результаты всех трех расчетов получились близкие.

Таким образом, наше предположение о замедленной диссоциации пентагерманиевых ионов, образующихся при высоких содержаниях германия в растворе, подтверждается опытными данными. Другие явления — большая разница анодного и катодного потенциалов полувольт, изменение величины приведенного тока обмена с ростом концентрации германия — связаны, по-видимому, с замедленностью самого процесса разряда ионизации и не могут быть объяснены только с точки зрения замедленной диссоциации.

Выводы

1. Методом полярографической кулометрии установлено, что восстановление четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде идет с участием четырех электронов.
2. Получены анодно-катодные волны германия с амальгамным капельным электродом и найдена зависимость приведенного тока обмена и обратимого потенциала полувольты от концентрации германия и концентрации ионов водорода в растворе.
3. Исследовано влияние pH , температуры и высоты столба ртути на катодную волну германия.
4. Показано, что отмеченные особенности восстановления германия на ртутном капельном электроде — уменьшение диффузионного тока с увеличением pH и содержания германия в растворе, положительное смещение потенциала полувольты с ростом температуры и уменьшение отношения I/\sqrt{h} при высоких содержаниях германия в растворе — объясняются замедленной диссоциацией пентагерманиевых ионов.
5. Выведено уравнение волны для восстановления германия с учетом замедленного разряда пентагерманиевых ионов.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
20/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Сташкова, А. И. Зелянская. Изв. СО АН СССР, 1, 59 (1959).
2. Gh. Sauvenier, G. Duysckaerts. Anal. Chim. acta, 13, 396 (1955).
3. S. K. Dhar. Anal. Chim. acta, 15, 91 (1956).
4. А. Г. Стромберг, П. М. Маркачева. ЖФХ, 28, 671 (1954).
5. R. Edwards. J. Philos. Mag. 7, 2, 15 (1926).
6. А. Г. Стромберг. ЖФХ, 29, 417 (1955).
7. G. Carpeni. Bull. Soc. Chim. France, 629 (1948).
8. G. Sarpeni. J. Chim. phys., vol. 45 № 6, 128 (1948).
9. P. Sauchay, M. Feysedre. Bull. Soc. Chim. France, 938 (1951).
10. А. Г. Стромберг. ЖФХ, 27, 1287, 1953.

А. Ф. НИКИФОРОВ

**РЕАКЦИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ
И ЕЕ РЕГЕНЕРАТОРНЫЕ СПОСОБНОСТИ *IN VITRO*
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ***

В настоящее время изучение действия проникающей радиации на организм и его составные части становится все более актуальным. Большинство авторов считает, что проникающая радиация оказывает неспецифическое (общеденатурирующее) и специфическое (биологическое) действие, заключающееся в подавлении способности клеток к адаптации, регенерации, дифференцировке [1]. Одна из сторон специфического действия облучения может, очевидно, заключаться в подавлении аэробной фазы биоокисления, преимущественно за счет прямой ионизации железосодержащих ферментативных систем [2]. Ряд исследователей полагает, что ведущее значение в пусковых механизмах биологического действия радиации имеет появление в водных растворах активных радикалов кислорода и гидроксила, способных реагировать с органическими молекулами, давать дезаграцию высокомолекулярных веществ (нуклеопротеиды, гликопротеиды и др.), вызывать нарушение связанных с поверхностью крупных молекул электролитов [3—5].

Имеется большое количество исследований, в которых подробно анализируется влияние проникающей радиации на различные стороны биохимических процессов, происходящих в клетках, тканях и организме при облучении. Так, ряд работ посвящен изучению нуклеинового обмена [6—8], липоидного [9], ферментативной активности липаз [10], влиянию ионизирующего облучения на различные ферменты [11], на процессы аминирования, дезаминирования и переаминирования [12] и т. д. Интересующихся этими вопросами мы отсылаем к прекрасным сводкам, имеющимся в настоящее время [13].

Исследуя регенерацию того или иного органа целостного организма при радиации, большинство авторов приходит к выводу, что посттравматическая регенерация тканей после облучения искажена и протекает более замедленно [14—17]. Это хорошо известно и клиницистам, наблюдающим комбинированные радиационные поражения.

Необходимо помнить, что процессы репарации в облученном организме представляют собой сложный комплекс явлений, развитие которых зависит от интегрирующих систем и от состояния непосредственно пораженных тканей [18]. При лучевой болезни часто основную роль в замедлении регенераторных процессов играет не нарушение реактивности данной ткани, а различные нарушения функций целостного организма [19]. При облучении целостного организма к причинам, задер-

* Работа выполнена на базе Института морфологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР.

живающим посттравматическую регенерацию, следует отнести инфекцию, нарушение иммунологической реактивности организма, кровонезлияния, нарушение коррелятивных взаимоотношений различных тканей (например, растущего эпителия и подлежащей соединительной ткани) и многое другое.

Изучать реакции тканей при облучении в опытах на целом организме трудно, так как реакции многообразны, осложняются вторичными наслоениями. Поэтому для изучения реакции самих тканей необходимо устранить все те причины, которые мешают ткани проявить свои регенераторные способности. Это помогло бы расширить наше понимание роли самой ткани в восстановительных процессах.

Исследование элементарных основ лучевого поражения возможно только при применении метода культивирования ткани вне организма, непосредственно в «чистом виде», когда представляется возможность проводить прямые наблюдения за тканевыми элементами после воздействия лучистой энергии.

В настоящее время накопилось уже достаточное количество исследований, в которых с помощью метода культивирования тканей вне организма рассматривались различные стороны реакции ткани при воздействии проникающей радиации. В первых же работах, посвященных этому вопросу, отмечалось, что ткани, посаженные в культуру, то есть *in vitro*, гораздо менее чувствительны к облучению, чем *in vivo* [20—21]. Кроме того, оказалось, что ткани, взятые от облученных летальными дозами животных, хорошо растут, будучи высаженными в культуру [22—25].

Последующие исследования показали, что все многообразие морфологических и функциональных изменений (кроме митотической активности) клеточного состава ткани, высаженной в культуру, наступает при дозах, значительно превышающих летальные дозы для данного организма.

Работами многочисленных исследователей показано, что при воздействии проникающей радиации на ткани в культуре прежде всего подавляется митотическая активность клеток [26—32]. При небольших дозах облучения после небольшого скрытого периода происходит подавление митотической активности, а затем количество митозов вновь возрастает, но уже не доходит до величин, отмечаемых в контрольных культурах [33—36].

Наряду с картинками нормального митоза с увеличением дозы облучения появляется все больше фигур неправильных митозов [4, 35, 37—39], причем большинство авторов склоняется к выводу о наибольшей ранимости клеток, находящихся в стадии профазы [28, 40, 41]. Нарушение митоза заключается в набухании, слипании хромосом, фрагментации и капельном их распаде. В результате слипания хромосом в анафазе могут образовываться мостики между дочерними звездами, что приводит к анеуплоидии. Облучая различные участки клеток микропучком, некоторые авторы приходят к выводу о важной роли в нарушении митозирования клеток поражения клеточного веретена [42]. Что касается amitотического деления клеток, то имеющиеся единичные указания [43] говорят об их количественном увеличении после облучения.

Исследователи описывают различные морфологические нарушения в клетках культур при радиации и в интеркинезе. Одним из ранних признаков реакции клеток считается увеличение ядер и ядрышек [43] и появление в цитоплазме жировых вакуолей [27, 44—46]. Изменения в ядрах клеток могут начинаться с отмишивания хроматина к внутренней поверхности ядерной мембраны [40, 43], с образования ядерных почеч

и фрагментации ядра [38, 43]. Вещество ядрышка и ядра может выйти даже в межклеточное пространство [38, 43, 47]. Сама клетка с увеличением дозы облучения гибнет, проходя через определенные стадии распада. Это явление заключается в появлении на поверхности цитоплазмы шаровидных вздутий и в последующем клазматозе клеток.

О летальных и сублетальных дозах для тканевых культур в настоящее время в литературе имеются многочисленные, но весьма противоречивые сведения. По данным одних авторов, летальной дозой является облучение в 100000—200000 *p* [48, 49, 41]. Другие же снижают эти цифры до 1000—2000 *p* [27, 50, 30]. Некоторые исследователи, используя метод плоскостных культур, пришли к выводу, что летальной дозой для любых тканевых культур является доза в 75—100 *p* [51]. На этом основании делается попытка объяснить радиационное поражение организма генетическим поражением его составных частей.

По данным большинства авторов, замедление миграции клеток наступает при значительно больших дозах облучения, чем подавление митотической активности [33, 36, 49]. Однако и по этому вопросу в литературе имеются различные точки зрения.

Таким образом, довольно обширная отечественная и зарубежная литература по ряду вопросов, относящихся к реакции тканевых элементов культур при облучении, противоречива. Это касается величин летальных доз для ткани в культуре, минимальных величин, при которых впервые отмечаются морфологические изменения в тканевых элементах, и других вопросов.

Мы считаем, что частично эти противоречия могут объясняться неодинаковыми условиями проведения эксперимента. В частности, установки для облучения у исследователей не одинаковы, с различной мощностью в единицу времени, а это в очень сильной степени (при одной и той же дозе) меняет время наступления тех или иных изменений [46]. Другим недостатком ряда работ мы считаем облучение тканей сразу после посадки их в культуру или после пассажа. В этом случае недостаточный рост некоторых культур вследствие возможных погрешностей постановки (придавливание кусочка, обрыв ткани и др.) может быть ошибочно приписан действию радиации. Кроме того, в этих случаях облучение происходит тогда, когда ткани не успели еще адаптироваться к новым условиям существования.

Проанализировать развертывание процесса реакции ткани при радиации трудно и потому, что большинством авторов описывались изменения, возникающие в тканевых элементах лишь при определенных, довольно узких пределах доз, а фиксация объекта проводилась не подробно по времени после облучения, а в одни и те же сроки (например, через сутки).

Что касается непосредственно изучения посттравматической регенерации при облучении, то подобных работ в доступной нам литературе не найдено.

Все вышеуказанное позволило нам поставить задачу изучения реакции ткани и ее посттравматической регенерации в культуре ткани при различных дозах облучения и различных сроках фиксации после облучения.

Процессы воздействия проникающей радиации и последующей регенерации изучались нами на культуре сердца куриного зародыша 9—11 дней инкубирования. Средой служила смесь эмбрионального экстракта из 9—11-дневного зародыша цыпленка и плазмы петуха. Плазма предварительно разводилась бидистиллированной водой 1 : 1, что улучшает условия культивирования [52]. Используемая нами среда со-

держала около 30% эмбрионального экстракта, что является оптимальным условием для роста клеток соединительнотканного типа [53]. Культуры выращивались при 37°C. Через двое суток культивирования, когда уже хорошо была выражена зона роста, у культур под бинокулярным стереоскопическим микроскопом вырезался сектор, состоящий из материнского кусочка вместе с прилегающей зоной роста. Затем после промывки культуры (5 мин. в растворе Рингера) на нее вновь наносилась капля среды из смеси эмбрионального экстракта и разведенной плазмы, после чего культура помещалась в обычную камеру.

Сразу же после нанесения дефекта культуры подвергались облучению γ -лучами Co^{60} на аппарате ГУБЭ-800 дозами в 500, 1000, 5000, 25000, 50000, 100000 и 200000 *p* при мощности 514 *p/мин*.

Изучение эффекта радиации на таком объекте, когда травма наносится на уже растущую в течение двух суток культуру, а затем подвергается облучению, имеет следующие преимущества:

1) Культуры, по тем или иным причинам отстающие в росте или вовсе не растущие, могут быть заранее исключены из эксперимента. В опыт идут лишь культуры, находящиеся в хорошем состоянии (выраженная зона роста, наличие митозов, отсутствие жировых вакуолей в цитоплазме фибробластов, отсутствие инфекции и т. д.).

2) Имеется возможность непосредственного (на одной и той же культуре) сравнения морфологического состояния клеток области дефекта и клеток, находящихся в зоне роста. Другими словами, мы можем изучать различие между реакцией клеток, мигрировавших из поверхности разреза, и клеток в той области, где травма не наносилась.

Культуры фиксировались по методу Максимова сразу, через 6 часов, 24 часа и 48 часов после облучения. Фиксированные культуры окрашивались гемалауном с дальнейшей подкраской эозином.

В нашей работе было использовано 369 культур, из них 247 облучено, а 122 оставлены в качестве контроля, причем каждой дозе и каждому сроку фиксации после облучения соответствовали контрольные культуры.

Прежде чем перейти к описанию течения регенерации и тех изменений, которые наступают в культуре при ее облучении, кратко остановимся на ходе регенерации в зависимости от времени после нанесения дефекта в контрольных культурах.

На гистологическом препарате двухдневной культуры сердца куриного зародыша, фиксированной сразу или же на другие сутки после нанесения дефекта, хорошо видна зона роста, состоящая из типичных фибробластов распластанной или вытянутой формы, с четко контурированным, чаще всего овальным ядром, в котором отмечается наличие одного или двух ядрышек. Цитоплазма фибробластов свободна от вакуолей, и лишь через 24—48 часов после нанесения дефекта (или через 3—4 суток после посадки ткани сердца в культуру) в цитоплазме отдельных клеток могут появляться мелкие многочисленные жировые вакуоли. Макрофаги в хорошо растущих культурах почти не наблюдаются. Картины амитотического деления фибробластов редки. Двухядерные клетки также встречаются относительно редко. Во всех контрольных культурах видны фигуры различных стадий митотического деления.

Заполнение клеточными элементами области дефекта по времени происходит следующим образом. Сразу после травмы в области дефекта клеток нет. Первые признаки начала миграции обнаруживаются через 2—3 часа после нанесения дефекта. Они заключаются в появлении на грани разреза протоплазматических отростков тех фибробластов, тела которых еще находятся в материнском кусочке. Появление

этих «усиков» можно считать началом миграции клеточных элементов. Через 6 часов после травмы по краю разреза видны фибробласты, лежащие уже в 4—7 рядов, а отдельные клетки могут оказаться в середине области дефекта. Через 8—10 часов вся область дефекта чаще всего заполнена (или почти заполнена) рыхло лежащими фибробластами (рис. 1). Миграция клеточных элементов при этом сроке обычно идет из краев разреза материнского кусочка. Та часть дефекта, которая соответствует зоне роста, еще свободна от клеток. Через 24—48 часов после нанесения травмы область дефекта полностью выполнена клетками, и их вид и плотность расположения не отличаются от таковых в зоне роста (рис. 2). Среди фибробластов, лежащих в области дефекта, имеются клетки, находящиеся в состоянии митотической активности. Однако таких клеток немного. Заполнение дефекта клетками идет, очевидно, в основном за счет миграции фибробластов из материнского кусочка, а не за счет их деления в области дефекта.

Переходя к описанию культур, подвергшихся действию проникающей радиации, остановимся на изменении митотической активности клеток и тех морфологических изменениях, которые в них наступают.

При любых дозах облучения, использованных в наших экспериментах, мы можем отметить подавление митотической активности. При более низких дозах (500, 1000, 5000 *p*) митотическая активность клеток после непродолжительного периода подавления вновь возрастает, хотя и не поднимается до уровня, наблюдаемого в контрольных культурах.

При увеличении дозы облучения и сроков фиксации после нее все чаще наблюдаются картины неправильных митозов. Они видны на всех стадиях митозирования клеток и заключаются в тяжелых структурных повреждениях хромосом. Наивысшая доза, при которой мы могли наблюдать наличие неправильных митозов, — 25000 *p*. При более высоких дозах митозы нами не отмечались.

Несколько чаще, чем в контроле, у фибробластов в облученных культурах отмечаются картины амитотического деления ядра. Однако они и в этих случаях представлены в очень небольшом количестве.

В культурах, облученных дозой в 500 *p*, фиксированных сразу и через 6 часов после облучения, никаких морфологических отклонений (кроме митотической активности) от контроля не наблюдается. Лишь через сутки после облучения начинают появляться первые признаки поражения клеток. В цитоплазме отдельных фибробластов, лежащих на периферии зоны роста, появляются многочисленные мелкие и крупные жировые вакуоли. У некоторых клеток отмечаются наличие протоплазматических вздутий, грушевидное отщуривание протоплазмы и даже единичные фигуры клазматоза. Все эти изменения выражены в небольшой степени и несколько стихают со временем. Фибробластов, находящихся в состоянии клазматоза, через двое суток после облучения становится меньше.

При увеличении дозы облучения (1000—2000 *p*) происходит нарастание степени дегенеративных изменений в тканевых элементах, причем ускоряются сроки их наступления после облучения. Так, при дозе в 1000 *p* распад клеток наступает уже через 6 часов, а при 5000 *p* — сразу после облучения. Через 24—48 часов количество распадающихся фибробластов становится меньше, а результатом их распада в более ранние сроки остается детрит-обломки распавшихся клеток, лежащие среди относительно неизмененных фибробластов. При этих и более высоких дозах облучения очень часто наблюдается своеобразное изменение формы ядрышек: она становится неправильной, часто ленто-видной, извитой.

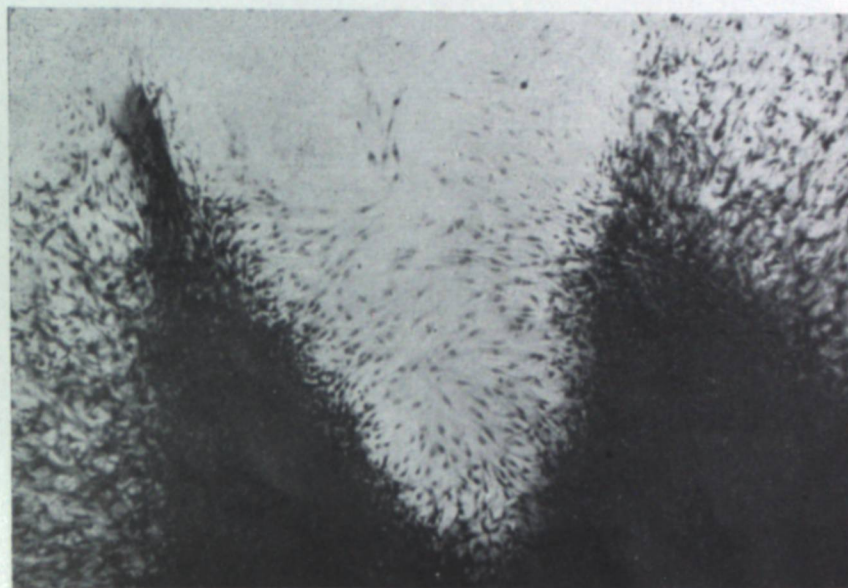


Рис. 1. Область дефекта через 10 часов после нанесения травмы. Контроль. Ок. 6х, об. 6.

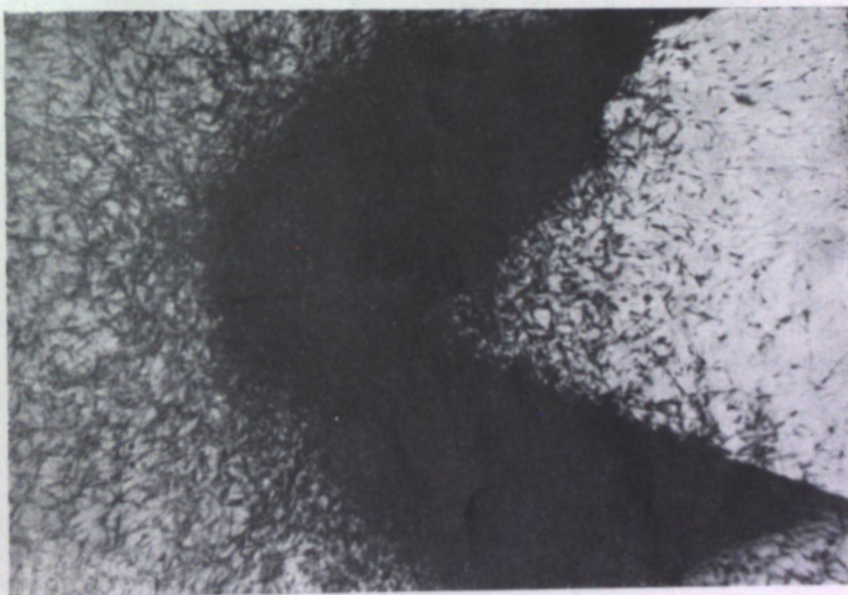


Рис. 2. Область дефекта через сутки после нанесения травмы. Контроль. Ок. 6х, об. 6.



Рис. 3. Участок зоны роста. Дегенерация фибробластов. Доза облучения 50000 р. Фиксация сразу после облучения. Ок. 6х, об. 24.

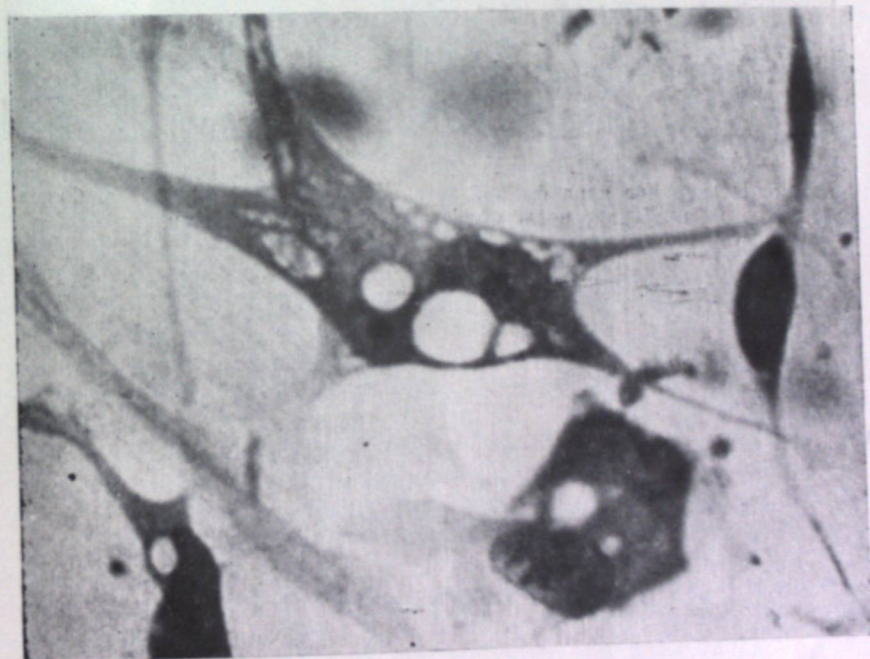


Рис. 4. Жировые вакуоли в цитоплазме фибробласта. Доза облучения 50000 р. Фиксация через двое суток после облучения. Ок. 6х, об. 100 м.

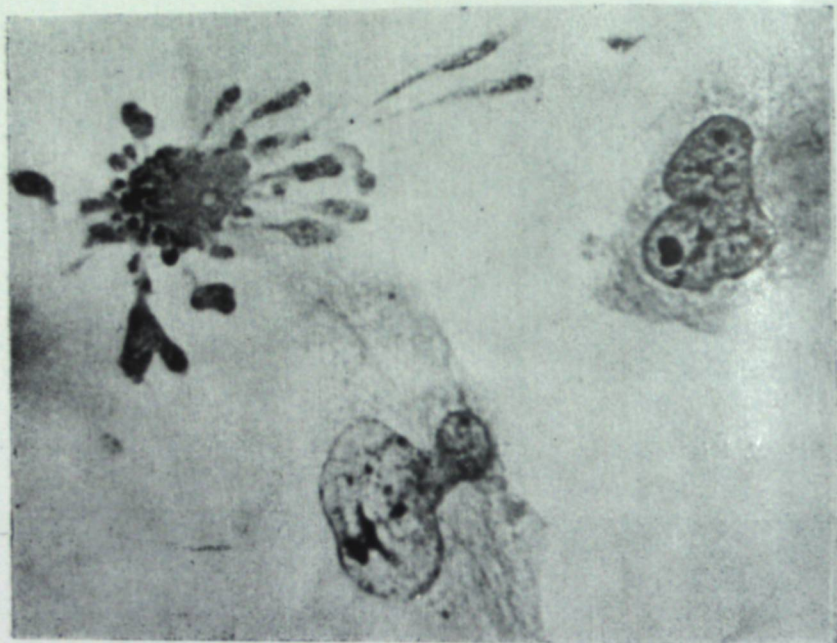


Рис. 5. Почкование ядра фибробласта. Доза облучения 100000 p. Фиксация сразу после облучения. Ок. 6х, об. 100 μ м.

При облучении дозами в 25000 и 50000 p в культурах, фиксированных сразу после облучения, видны многочисленные картины различных стадий распада фибробластов (рис. 3) и значительное количество детрита, располагающегося среди относительно неизмененных клеток. С увеличением срока после облучения фибробластов, находящихся в состоянии клазматоза, отмечается меньше, зато значительно увеличивается количество клеточного детрита. Следует подчеркнуть, что наибольшее количество распадающихся фибробластов и клеточного детрита находится вблизи материнского кусочка или же в центральной части зоны роста. Очевидно, это связано с менее благоприятными условиями обмена для клеточных элементов вблизи материнского кусочка. На периферии зоны роста гораздо более выражено наличие жировых вакуолей в цитоплазме фибробластов. Крупные жировые вакуоли часто сдавливают ядро, которое вследствие этого может принимать неправильную форму (рис. 4). Наряду с крупными в цитоплазме может быть одновременно большое количество и мелких вакуолей, которые придают ей пенный или ячеистый вид. При внимательном просмотре препаратов мы не отмечали наличия переходных форм от мелких вакуолей к крупным. Создается впечатление, что природа их различна. Однако для решения этого вопроса необходимо провести дополнительно гистохимическое исследование с применением дифференциальной окраски на различные липоиды.

В облученных культурах по сравнению с контрольными фибробласты часто принимают более вытянутую, веретенообразную форму. Иногда это очень длинные клетки, напоминающие «старые» фибробласты в тканях животных.

Довольно часто в облученных культурах наблюдается интенсивное окрашивание ядерной мембраны, причем такое окрашивание может быть неравномерным по окружности ядра.

Одним из характерных изменений ядер фибробластов в облученных культурах является образование на них так называемых ядерных почек (рис. 5). Вначале на поверхности ядра появляется пальцевидное выпячивание, затем, увеличиваясь в размерах, оно может привести к отшнуровке части ядра с ядерным содержимым. Ядерные почки малых размеров дают возможность выхода нуклеопротеидной субстанции в цитоплазму и даже из клетки.

При сравнении степени повреждения фибробластов области дефекта с фибробластами зоны роста наблюдается отчетливое различие. При всех перечисленных дозах облучения в области дефекта меньше видны картины распада клеток, менее выражено наличие жировых вакуолей в цитоплазме, реже отмечаются случаи почкования ядер. Фибробласты, лежащие в области дефекта, чаще имеют распластанную форму, выглядят более «молодыми», чем фибробласты зоны роста.

В ранние сроки фиксации после облучения (сразу, через 6 и 24 часа) при дозе в 25000 p отличия в интенсивности заполнения области дефекта клеточными элементами по сравнению с контролем не отмечается. Лишь у отдельных культур через 48 часов после облучения этой дозой впервые появляется различие в течение регенерации в облученных и контрольных культурах. Это различие заключается в том, что мигрировавшие из материнского кусочка фибробласты располагаются в области дефекта несколько более рыхло, чем в контроле. Гораздо отчетливее это видно в культурах, облученных дозой 50000 p. Здесь происходит аналогичное явление, только время, когда можно отметить ослабление заполнения дефекта фибробластами, сдвигается к более ранним срокам (начиная с 24 часов после облучения).

При дозах в 100000 *r* дегенеративные изменения в культуре очень сильно выражены сразу после облучения и захватывают большую часть клеток. Уже в это время, кроме большого числа клеток, находящихся на различных стадиях распада, вплоть до клязматоза, имеется огромное количество детрита, свидетельствующее о распаде фибробластов, происшедшем еще во время облучения. Подробная характеристика различных изменений в клетках дана нами выше.

Следует отметить, что, кроме описанных изменений, отмечается еще одна форма гибели клеток. Она заключается в следующем. Ядра дегенерирующих клеток приобретают неправильную форму, становятся пикнотичными, интенсивно окрашенными. В них уже невозможно различать тонкую структуру. Цитоплазма таких клеток перестает воспринимать окраску и выглядит на препарате бледноочеристой, иногда с отдельными слабоокрашенными зернами. Подобным образом дегенерирующие клетки, как правило, располагаются на периферии зоны роста.

Доза в 100000 *r* резко сказывается на характере репаративного процесса. При этой дозе только через 6 часов после облучения по краю разреза появляются отдельные отростки фибробластов, мигрирующих из материнского кусочка. Через сутки после облучения степень заполнения клетками области дефекта незначительна и напоминает то, что мы видим через 6 часов после нанесения дефекта в контрольных культурах (рис. 6). На вторые сутки после облучения область дефекта выполнена фибробластами неполностью, лежат они очень рыхло, с большими промежутками между клетками. Сами клетки чаще всего вытянутой формы, с длинными тонкими отростками и различными признаками дегенерации (вакуолизация цитоплазмы, изменение формы ядрышка, почкование ядра, различные стадии распада клеток). Однако и в этом случае следует отметить, что наблюдаемые дегенеративные изменения фибробластов выражены гораздо слабее, чем дегенеративные изменения у клеток зоны роста.

Доза облучения в 200000 *r* оказывалась в наших экспериментах летальной для подавляющего большинства клеток. Уже сразу после облучения этой дозой в культурах видны лишь единичные фибробласты, находящиеся в той или иной степени дегенерации. На месте остальных клеток можно видеть огромное количество клеточного детрита, располагающегося главным образом вблизи материнского кусочка и в центральной части зоны роста. На периферии зоны роста располагаются погибшие клетки с резко пикнотичными ядрами и слабоокрашенной, бледной цитоплазмой. При этих дозах особенно четко различимы две формы гибели клеток. Одной из них является распад ядра и цитоплазмы с образованием клеточного детрита. Другая форма гибели не сопровождается разрушением клеточного тела и заключается в пикнотизировании ядер и в потере способности цитоплазмы воспринимать окраску (рис. 7).

Область дефекта при дозе в 200000 *r* на все сроки после облучения оставалась свободной от клеточных элементов.

Кратко суммируя результаты наших наблюдений, мы можем сказать следующее. В культуре соединительной ткани сердца куриного зародыша нами была прослежена реакция тканевых элементов при широком диапазоне доз (500, 1000, 5000, 25000, 100000 и 200000 *r*) и при различных сроках после облучения (сразу, через 6, 24, 48 часов).

Использование описанной методики нанесения травмы позволило проследить процесс посттравматической регенерации при облучении, а также сравнить действие проникающей радиации на клетки, мигрировавшие из поверхности разреза, и клетки той области, где травма не-

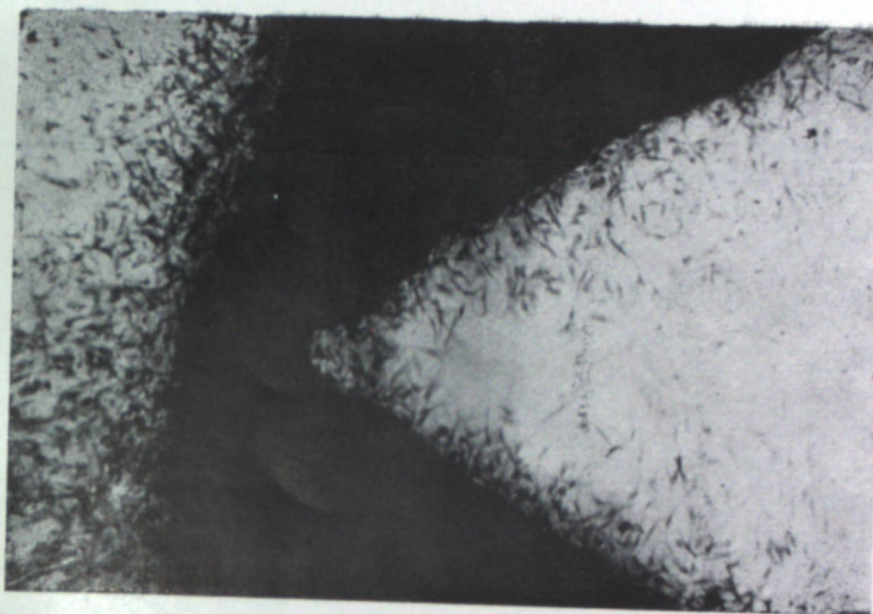


Рис. 6. Область дефекта через сутки после облучения дозой 100000 *r*. Ок. 6х, об. 6.

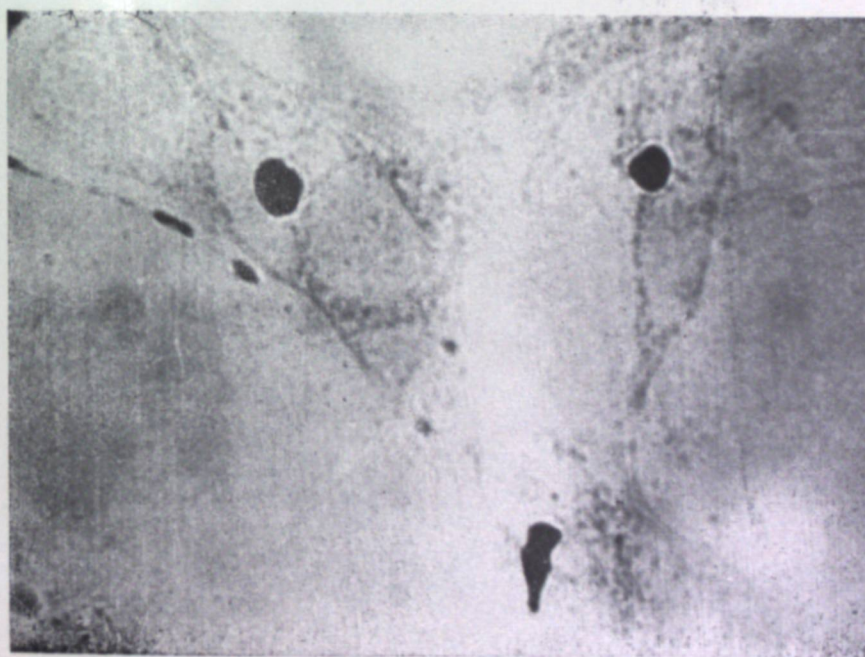


Рис. 7. Форма гибели фибробластов в краевой части зоны роста. Доза облучения 200000 *r*. Фиксация сразу после облучения. Ок. 6х, об. 100 μ м.

наносилась. Была выявлена большая резистентность к облучению у клеток, вышедших в область дефекта после облучения, по сравнению с клетками зоны роста. Применение указанной методики дает целый ряд преимуществ, о чем было сказано выше.

Повреждающее действие радиации проявлялось в нарушении и подавлении митотической активности, в появлении жировых вакуолей в цитоплазме фибробластов, в характерных изменениях ядра и ядрышек и, наконец, в дегенерации клеток. Было отмечено два совершенно различных вида дегенерации. Один из них заключался в распаде клеток по типу клазматоза; другой вид проявлялся в пикнотизировании ядер и в потере способности цитоплазмы воспринимать окраску.

Указания некоторых авторов о том, что летальными дозами для тканевых культур являются дозы в 1000—2000 *p* [27, 30, 50] или даже 75—100 *p* [51], противоречат нашим данным. Наши эксперименты свидетельствуют о том, что только дозы в 100000—200000 *p* оказываются летальными для культур сердца куриного зародыша.

Изучение посттравматической регенерации при облучении говорит о том, что при дозах, не достигающих 50000 *p*, миграция клеточных элементов в область дефекта по своей интенсивности не отличается от контроля (за исключением отдельных случаев при 25000 *p* на вторые сутки после облучения). Лишь при дозах в 50000 *p* начинается отчетливо отмечаться подавление способности ткани к регенерации. При дозах в 200000 *p*, являющихся летальными для культур, посттравматическая регенерация отсутствует полностью.

Институт экспериментальной
биологии и медицины
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
18/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Ковалев, О критике некоторых основных положений в радиобиологии. Вест. радиобиологии, т. 3, 1958.
2. С. Е. Манойлов, К вопросу о «прямом» действии рентгеновских лучей на животный организм. Тр. Всес. конф. по мед. радиологии. Экспер. мед. радиологии. Медгиз, М., 1957.
3. T. J. Sworski, Jelds of hydrogen peroxid in the decomposition of water by cobalt γ -radiation. Radiation research, vol. 2, № 1, 1955.
4. А. М. Кузьян, Биологические изменения в организме при воздействии ионизирующих излучений. Тр. Всес. конф. по мед. радиологии. Экспер. мед. радиологии. Медгиз, М., 1957.
5. М. А. Мовсесян, О некоторых спорных вопросах в радиобиологии. Вест. рентгенологии и радиобиологии, т. 3, 1958.
6. О. М. Носалевиц, Т. С. Колесникова, Гистохимия нуклеинового обмена в кроветворных органах при острой лучевой болезни. Тез. докл. 3 всес. съезда патологоанатомов. Харьков, 1959.
7. Б. Холмс, Л. Ми, Подавление синтеза ДНК под влиянием облучения, в особенности облучения на ранних стадиях регенерации печени. Вопросы радиобиологии. ИЛ, М., 1956.
8. В. С. Тонгур, Н. П. Голубева, Л. С. Дискина, Д. М. Снитковский, Г. В. Филиппова, Действие малых доз ионизирующей радиации на дезоксирибонуклеопротеиды. Биофизика, т. 3, вып. 4, 1957.
9. D. J. Buchanan, W. J. Darly, E. B. Bridgforth, G. W. Hudson, T. A. Efner, Choline studies in rats following wholebody x-radiation. Amer. J. physiol., vol. 174, № 3, 1953.
10. J. S. Roth, A. Wase, C. Alper, M. J. Boud, Effect of total body x-radiation on some enzymes of rat tissues. Arch. biochem. a. biophys., vol. 44, № 1, 1953.
11. М. Эррера, Действие ионизирующих излучений на составные части клеток. Вопр. радиобиологии, ИЛ, М., 1956.

12. Р. Д. Гальцева, М. Н. Мейсель, Действие ионизирующих излучений на процессы аминирования, дезаминирования, переаминирования. ДАН СССР, т. 118, № 1, 1958.
13. M. R. Murgau, G. Coreck, A bibliography of the research in tissue culture. Acad. press., New-York, 1953.
14. Т. Н. Тужилкова, Влияние рентгеновских лучей на восстановительные процессы в скелетной мускулатуре. Канд. дисс., Л., 1955.
15. В. В. Быстрова, С. С. Соколов, Морфологическая характеристика процесса заживления ран при лучевой болезни. Медицинская радиология, т. 3, № 5, 1958.
16. В. В. Шиходырев, А. Л. Позднякова, Количественная оценка морфологических изменений рыхлой соединительной ткани при лучевой болезни. Тез. докл. 3 вces съезда патологоанатомов, Харьков, 1959.
17. Г. С. Стрелин, Значение регенерационных процессов в реакции тканей на облучение. Пластические и восстановительные процессы. 2 гист. конф., М., 1959.
18. Э. Я. Граевский, Н. Ф. Баракина, И. М. Шапиро, О деструктивных и репаративных процессах в тканях облученного ионизирующей радиацией животного организма. Пластические и восстановительные процессы. 2 гист. конф., М., 1959.
19. А. А. Браун, В. П. Михайлов, Восстановительные процессы в тканях после лучевых поражений. Пластические и восстановительные процессы. 2-ая гист. конф. М., 1959.
20. Roffo, Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das «in vitro» gezüchtete Herz. Strahlentherapie, Bd. 19, Hf. 4, 1925.
21. H. Schenker, Frühwirkung von Röntgenstrahlen auf Epithelkulturen in vitro. Z. schr. anat. Forsch. Bd. 60, 1954.
22. А. А. Кронтовский, Zur Frage der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen und deren Erforschung mittels Explantation. Klin. Wochenschr. Bd. 44, 1925.
23. А. А. Кронтовский, Zur Analyse der Röntgenstrahlenwirkung auf den Embryo und embryonalen Gewebe Strahlentherapie, Bd., 23, 1926.
24. E. Rix, Der Fettstoffwechsel der Gewebsexplantate. Arch. exp. Zellforsch. Bd. 13, Hf. 4, 1933.
25. R. Sommer, Untersuchungen an Epithelkulturen aus Nierenpapillen röntgenstrahlter junger Mäuse. Acta. anat., Bd. 29, № 3, 1957.
26. T. S. P. Strangways, H. E. H. Oaklay, The immediate changes observed in tissue cells after exposure to soft x-rays while growing in vitro. Proc. of the royal soc. vol. 95, № 669, 1924.
27. H. Vollmar, B. Rajewski, Mikrokinematographische Studien über die Wirkung von Röntgenstrahlen auf normalen und Tumorzellen in Gewebekulturen. Strahlentherapie, Bd. 60, Hf. 3, 1937.
28. I. Lasnizki, The effect of x-rays on cells on cultivated in vitro. Brit. J. Radiol. vol. 13, № 152, 1940.
29. J. Lasnizki, The variation with wavelength of the biological effects of radiation. Brit. J. Radiol. vol. 13, № 149, 1940.
30. Trabert van der Moesen M., Frederic J. Contribution a l'etude de l'action des rayons x sur des fibroblastes cultives in vitro Comptes rendus des seances de la societe de biologie et de ses filiales. T. 151, № 8-9, 1957.
31. G. F. Whitmore, I. E. Till, Increase of cellular constituents in x-irradiated mammalian cells. Biochimica et biophysica acta, vol. 30, № 3, 1958.
32. В. И. Хэйсина, О нарушении рентгеновскими лучами клеточного деления на разных стадиях развития лягушки. Пластические и восстановительные процессы. 2-ая гист. конф. М., 1959.
33. S. Castorino, S. Greco, Migratione e mitosi in culture di fibroblasti di pollo esposte a raggi gamma. Radioterapia, radiobiologica e fisica medica v. 12, f-3, 1957.
34. W. Alberti, G. Politzer, Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung. Arch. mikr. Anat. Bd. 100, № 1-2, 1924.
35. P. Perk, Zur Kenntniss der Mitose XI. Über den Einfluss von Radium und Röntgenstrahlen auf die Zellteilung in Gewebekulturen. Z. schr. f. Zellforsch. Bd. 32, Hf. 1, 1942.
36. С. Н. Александров, Цитофизические наблюдения при действии ионизирующего излучения на опухолевые клетки в культуре ткани. Вопросы радиобиологии. Медгиз., Л., 1956.
37. W. E. Pauli, K. Politzer, Über die Wirkung von Kathodenstrahlen auf die Ruhezellen und auf die Karyokinesen von Salamandra maculosa. Z. schr. f. Zellforsch. Bd-8, Hf. 3, 1929.
38. М. Н. Мейсель, Т. М. Кондратьева, О ранних изменениях в клетках культур тканей под влиянием рентгеновских лучей. Вопросы радиобиологии. Медгиз., Л., 1956.
39. M. Hess, Untersuchungen an Fibroblastenkulturen aus Herzen röntgenbestrahlter junger Mäuse. Acta anat. Bd-27, Hf. 4, 1954.

40. I. Lasnizki, The response of cells in vitro to variations in x-ray dosage. Brit. J. Radiol. vol. 16, № 185, 1943.
41. A. N. Strond, A. M. Brues, Radiation effects in tissue culture. Texas Rep. Biol. and Med. vol. 12, № 4, 1954.
42. E. Zirkle, W. Bloom, R. B. Uretz, Использование частичного облучения клеток для изучения их деления. Материалы международной конф. по мирному использованию атомной энергии. Медгиз., М., 1958.
43. E. Wendt, Lebendbeobachtungen an bestrahlte Interphasekernen. Z. schr. f. Zellforsch. Bd-49, Hf-6, 1959.
44. A. Furago, Die biologische Wirkung der Röntgenstrahlen auf Gewebekulturen. Strahlentherapie Bd-54, Hf-4, 1935.
45. A. Goldfeder, Studies on the effect of radiation upon growth and respiration of various tissues. in vitro. Radiobiology vol-31, № 1, 1938.
46. A. Goldfeder, Further studies on the effect of irradiation on proliferation and metabolic processes of normal and malignant tissues. Radiobiology vol. 35, № 2, 1940.
47. A. K. Parchwitz, E. Parchwitz, Wirkung einzeitiger Röntgenstrahlung auf den Funktionsformwechsel des Nucleolarapparates der Walkerkarzinomzelle. Strahlentherapie Bd-104, Hf-1, 1957.
48. L. Halberstaedter, L. Doljanski, Radiobiologische Untersuchungen an Gewebekulturen. Arch. exp. Zellforsch. Bd. 19, 1937.
49. G. Goldhaber, L. Doljanski, Radiobiologie studies on tissue culture. I. The immediate effect of x-rays on cell ontgrowth in cultures of fibroblasts. Growth. vol. 6, 1942.
50. T. R. Reid, M. P. Gifford, A quantitative study of the effects of x-radiation on cells in vitro. J. Nat. Canc. Inst. vol. 13, № 2, 1952.
51. T. T. Puck, D. Morkovin, P. T. Marcus, S. F. Cieciora, Action of x-ray single mammalian cells in vitro. J. exp. Med. vol. 106, № 4, 1957.
52. П. И. Живаго, Б. Д. Морозов, А. Ф. Иванецкая, О влиянии осмотического давления на деление клеток в культурах тканей эмбрионального сердца. Арх. анат. гист. и эмбр. т. 14, вып. 2, 1935.
53. Г. К. Хрущов, Вопросы дифференцировки тканей и метapлазии в свете современных данных экспериментальной гистологии. Пластические и восстановительные процессы. 2-ая гист. конф., М., 1959.

Л. И. МАЛЫШЕВ

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЮЖНОЙ И СРЕДНЕЙ ЧАСТЕЙ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА

Почти на 700 км протянулось оз. Байкал с юго-запада на северо-северо-восток. Его западное побережье защищено Приморским и Байкальским хребтами от господствующих северо-западных ветров и находится в «дождевой тени». В связи с этим климат побережья относительно сухой. Владолюбивые темнохвойные леса не получают здесь широкого развития. Вместо них господствуют сосновые и лиственничные леса, а местами — степная растительность.

Согласно схематической карте природных районов Байкала, составленной М. Г. Поповым [1, стр. 451], все западное побережье подразделяется на три района: 1) юго-западный (ангарский), 2) маломорский (степной) и 3) северо-западный (жотельниковский). Такое деление нельзя не признать удачным.

Характеристику выделенных ботанико-географических районов М. Г. Попов не приводит. В настоящей статье мы описываем основные черты растительности первых двух районов и уточняем границу между ними. Характеристика растительности третьего (северо-западного) района уже опубликована [2, 3].

Район южной части западного побережья Байкала

Простирается от пос. Култук, расположенного у крайней юго-западной оконечности Байкала, до мыса Голого на стыке со средней частью западного побережья (рис. 1). На этом отрезке побережье ориентировано в направлении с юго-запада на северо-восток. Оно слагается из юго-восточных скатов и отрогов Приморского хребта. Последние доходят до берега озера, достигая относительной высоты 300—400 м, и здесь круто обрываются. Осадков выпадает умеренное количество: по данным метеостанции в пос. Листвянка [4], около 425 мм в год. Обращенное к юго-востоку и даже юго-юго-востоку побережье хорошо прогревается. В результате этого условия рельефа и, как следствие, климата благоприятствуют широкому распространению сосняков. Их резкое преобладание — характернейшая черта района.

Литературные данные о растительности района почти отсутствуют. Описание и анализ степной и скальной флоры южной и средней частей западного побережья Байкала содержатся в статье М. Г. Попова [5]. Приводимая ниже характеристика основана преимущественно на наблюдениях автора в 1954—1956 гг.

Распределение растительности по элементам рельефа следующее.

Обращенные к Байкалу склоны побережья почти всецело покрыты остепненным разнотравным сосняком. Это господствующая ассоциация района. Древостой IV класса бонитета состоит из сосны с примесью

сибирской лиственницы до 10—30% и отчасти березы. Подлесок редкий, образован даурским рододендроном, таволгой средней и кизильником черноплодным. В кустарничково-травяном покрове преобладает разнотравье, особенно прострел раскрытый и частично тупоколосковый вейник; нередко встречаются представители лесостепных опушек. Моховой покров не выражен или же представлен *Rhytidium rugosum*. Возобновление удовлетворительное (глазомерно), осуществляется преимущественно сосной.

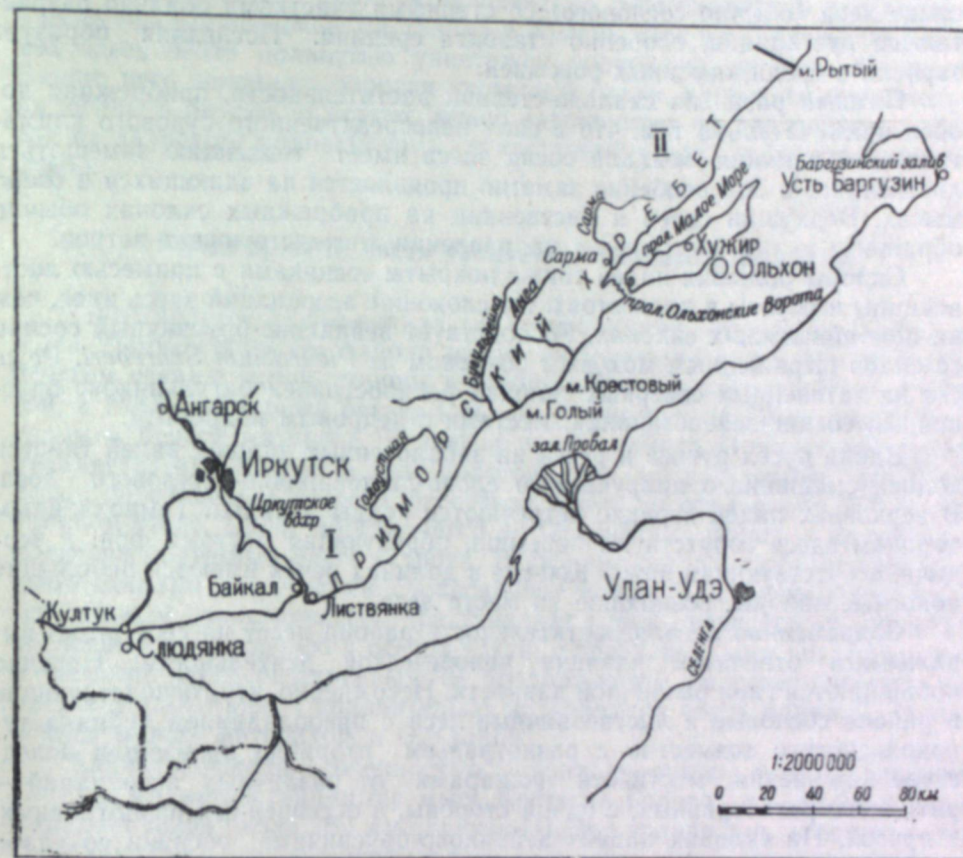


Рис. 1. Схематическая карта южного и среднего Байкала.

I. Район южной части западного побережья. II. Район средней части западного побережья.

Верхние части увалов, судя по растительности, более влажные, покрыты бадановым сосняком, нередко с примесью единичных кедров. По затененным гумусированным склонам, обильно поросшим кустарничковой ольхой, бадан нередко в виде языков спускается далеко вниз по склону.

На пологих и менее каменистых участках рельефа и на северо-западных склонах, которые в районе в силу ориентации хребта встречаются редко в небольших и узких распадах, а также в плакорных условиях (на плоских гребнях увалов), лиственница соперничает с сосной и нередко преобладает. Здесь мы наблюдаем лиственничные и березово-лиственничные леса без мохового покрова с преобладанием в кустарничково-травянистом ярусе вейника тупоколоскового и разнотравья.

Своеобразна растительность прибрежной скалистой части склонов. В полосе около 60 м высотой эта часть склонов занята степной и скально-степной растительностью. На менее крупных и соответственно менее ска-

листных участках побережья степная и скально-степная растительность прерывается лесом, но зато местами поднимается до высоты 300 м над уровнем озера. Наиболее обычными представителями скально-степной флоры побережья являются *Alyssum biovulatum*, *Chamaerhodos altaica*, *Leibnitzia anandrya*, *Oxytropis strobilacea*, *Selaginella Sanguinolenta*, *Senecio interrigifolius*, *Stellaria dichotoma*.

В наибольшей мере полоса степных участков выражена на 35-километровом отрезке побережья от пади Сенной до бухты Голоустной. На стыке леса (обычно соснового) со степными участками обильно разрастаются кустарники, особенно таволга средняя. Последняя образует заросли и среди каменных россыпей.

Помимо развития скально-степной растительности, прибрежная полоса примечательна тем, что в силу непосредственного сурового климатического влияния Байкала сосна здесь имеет тенденцию замещаться лиственницей. Это особенно заметно проявляется на вдающихся в озеро мысах. Верхушки сосен и лиственниц на прибрежных склонах обычно обращены к юго-востоку — в направлении господствующих ветров.

Склоны больших падей также покрыты сосняками с примесью лиственницы и березы в древостоях. Но сложение ассоциаций здесь иное, чем на прибайкальских склонах. Господствует вейниково-брусничный сосняк со слабо выраженным моховым покровом из *Pleurozium Schreberi*. Реже его на затененных северных склонах распространены багульниково-брусничный сосняк-зеленомошник, местами с кедровым подростом.

Вдоль русел ручьев и речек на заболоченных днищах падей тянется полоса смешанного приручьевого елово-лиственнично-березового леса. В верховьях падей нередко встречаются кедры и пихты. Темнохвойным породам здесь сопутствуют черемша, образующая местами фон, и черника, отсутствующая ниже. Кое-где в долинах речек имеются небольшие покосные поляны, возникшие на месте леса.

Современная лесная растительность района несет на себе резко выраженный отпечаток влияния человеческой деятельности. Нередко наблюдаются гари различной давности. Несомненно, что господствующие в районе сосновые и лиственничные леса с преобладанием вейника тупоколосьного совместно с разнотравьем вторично произошли вследствие нарушения местности пожарами от различных ассоциаций — ритидиево-разнотравных, с одной стороны, и остепненных разнотравных, с другой. На склонах падей вейниково-брусничные сосняки со слабо выраженным моховым покровом вторично произошли от брусничных сосняков-зеленомошников.

Раньше, до интенсивного отрицательного влияния человека на природу, верхние части берегового гребня были покрыты бадановым кедром. Об этом свидетельствует наличие здесь единичных кедров, черники и черемши — спутников темнохвойной тайги. На гребне близ пос. Листвянка в сосняке с покровом из вейника Лангсдорфа нам довелось наблюдать также пихту, более требовательную к влажности климата по сравнению с кедром. Бадановые сосняки, встречающиеся в районе в верхних частях увалов, вторично произошли от бадановых кедров. Само сочетание сосны с баданом мало типично. Темнохвойная тайга раньше преобладала также на днищах падей, по крайней мере в их верхних частях.

Сходные проявления влияния пожаров на лесную растительность наблюдали на северо-западном и северо-восточном побережьях озера [6]. На южном (Хамар-Дабанском) побережье в силу значительной влажности местного климата темнохвойная тайга господствует и в настоящее время.

Сопоставляя данные о влиянии пожаров на растительность, можно сделать существенный вывод о том, что в прошлом Байкал был окружен почти сплошным кольцом кедровых лесов, которое прерывалось лишь в немногих пунктах, в частности около устья р. Селенги.

В настоящее время кедры в описываемом районе чаще встречаются на побережье близ пос. Листвянка. Вследствие прорыва с запада влажных масс воздуха через горловину в истоке р. Ангары здесь более влажный климат.

Особенно сильно влияние человека на растительность сказывается в окрестностях поселков Листвянка и Култук. Лес на прилежащих склонах здесь почти полностью уничтожен порубками и вытаптыванием. Вместо него появились заросли кустарной ольхи, даурского рододендрона, осины и березы. В других, менее нарушенных частях района подлесок из даурского рододендрона и кустарной ольхи в сосняках развит слабо.

Район средней части западного побережья Байкала

Простирается с юго-запада на северо-восток, от мыса Голого до мыса Рытого. В состав района входят береговая часть, ограниченная берегом озера с одной стороны и гребнем Приморского хребта — с другой, а также обширный остров Ольхон, вытянутый на 70 км под острым углом к берегу материка. В южной части района Приморский хребет отделяется от Байкала в виде пологой дуги на расстоянии до 20 км. Здесь он отклоняется от себя береговой отрог высотой около 200 м над уровнем озера. Отрог простирается до Ольхонских Ворот, а затем переходит на наружный берег острова. В сторону озера он обрывается крутыми скалами или утесами. Заключенное между Приморским хребтом и его отрогом пространство представляет собой неглубокую плоскую котловину, пониженную в осевой части, с гребневидными возвышениями и озерами. Непосредственным ее продолжением на северо-востоке является Малое Море — сравнительно мелководная часть Байкала, заключенная между материком и Ольхоном.

Характернейшей особенностью района является сухость климата. По данным метеостанции, на мысе Кобыля Голова на Ольхоне в год выпадает лишь около 169 мм осадков [4]. Это количество мало даже для Прибайкалья с его континентальным климатом, где годовая сумма осадков чаще равна 250—450 мм.

Недостаточное увлажнение района обусловлено несколькими причинами. Помимо того, что побережье находится в «дождевой тени», отодвинутость здесь Приморского хребта от берега влечет распределение осадков на большую площадь, чем в узкой южной части побережья.

Кроме того, для Сибири закономерно, что в некоторых котловинах создаются условия засушливого климата. Примерами могут служить долина р. Верхней Ангары, Баргузинская и Тункинская долины. Условия рельефа в нашем районе таковы, что он в значительной части имеет характер котловины, открытой в северо-восточном направлении. Как указывалось выше, котловина обрамлена Приморским хребтом и его береговым отрогом, включая остров Ольхон.

В ботаническом отношении район характеризуется широким развитием степной растительности. В литературе он известен как «ольхонский лесостепной остров» и давно уже привлекает к себе внимание исследователей. Сухие, почти выжженные солнцем степи этого района с их чахой растительностью представляют резкий контраст с лесами, почти

безраздельно господствующими на остальном протяжении побережий Байкала.

Из ботаников этот район с целью изучения флоры первым посетил в 1834 г. Н. С. Турчанинов.

В конце столетия остров Ольхон исследовал Я. П. Прейн [7]. Он приводит краткое описание его растительности и список 155 видов растений. В частности, отмечает запаздывание вегетации в Ольхонской степи и наличие здесь ряда представителей забайкальских степей, отсутствующих западнее Байкала. Автором высказана мысль, что ольхонские степи со времени ледникового периода представляли собой сначала тундры, или, по выражению Неринга, арктические степи, изменившиеся затем с повышением температуры в степи, сменяющиеся в современную эпоху лесом.

В 1914 и 1915 гг. на Ольхоне работал Н. К. Тихомиров [8, 9]. Он зарегистрировал здесь 360 видов растений и произвел подробное описание растительности, методологически отчасти устаревшее к настоящему времени.

В 1928 г. эти места посетил В. Н. Сукачев [10]. По его свидетельству, материковое пространство к юго-западу от Ольхона несет еще более резко выраженный степной характер с сильно ксерофилизированной растительностью, где среди холмистой страны, в среднем приподнятой не выше 200 м, незначительные участки сосновых и лиственничных лесов приурочены лишь к верхним частям гряд и холмов, а большая часть пространства занята сухой степью с разбросанными по ней солеными озерами, окруженными солончаками с галофитной растительностью. Примакающие с запада к этому степному пространству склоны Приморского хребта заняты сосновым лесом; верхняя граница леса образована кедром. Выше простираются заросли березки Миддендорфа и кедрового стланика. На побережье севернее Ольхона, в районе Онгуренских уступов, где крутые склоны Приморского хребта отступают от берега на 8—10 км, по холмам среди отдельных участков леса простираются значительные степные пространства. По их понижениям встречаются соленые озера и солончаки.

В начале 30-х годов геоботаническое обследование Ольхонского хошуна производила А. В. Куминова. Данные ее наблюдений не опубликованы, но частично использованы при характеристике степей Забайкалья [11]. Согласно этим данным, в Ольхонской степи плакорные места заняты степью с преобладанием дерновинных злаков: *Koeleria gracilis*, *Festuca ovina*, *Stipa capillata*, *Diplachne squarrosa*. Щербистые вершины покрывает каменистая степь, а пади и долины — вострцово-злаковая и ковыльно-житняковая. Местные степи — горные, напоминающие собой даурские, но их состав обеднен. Если в Даурии на участке ассоциации насчитывается от 30 до 60 видов растений, то здесь их не более 30.

В 50-х годах флору Ольхонских степей исследовал М. Г. Попов [5], впервые посетивший эти места в 1951 г. Он отмечает, что в степях около Малого моря, за исключением злаков и осок, крайне широко распространенных, все основные компоненты — дауро-монгольские линейны и даже роды. По его мнению, степи Малого моря особенно ясно демонстрируют образование степного комплекса из петрофильной горной флоры. Саму ольхонскую степь он называет психростепью — степью с холодной почвой, глубоко промерзшей зимой при отсутствии снежного покрова.

Таким образом, в литературе уже имеются указания о главных ботанико-географических особенностях района средней части западного побережья Байкала. При этом более подробно растительность была изучена лишь на острове Ольхоне. Поэтому при полевых исследованиях

мы сосредоточили свое внимание главным образом на материковом пространстве к юго-западу от Ольхона, где специфические особенности района выражены к тому же наиболее резко.

Исследовался отрезок побережья от мыса Голого до пролива Ольхонские Ворота. С целью изучения флоры и растительности сюда была совершена поездка в июне 1956 г. совместно с лаборантом А. Г. Тельпуховской и студенткой Н. В. Мисюра. В мае следующего года автор настоящей статьи и ботаник Л. В. Бардунов сделали в Приольхоне специальный заезд, на этот раз с суши, от улуса Хогот на Качугском тракте. Кроме того, автору довелось кратковременно побывать в различных пунктах на берегах Ольхонского района в 1954 и 1955 гг. при посещении северного Байкала.

Основные закономерности распределения и сложения растительности в юго-западной части района следующие.

В полосе, переходной от предыдущего ботанического района, между мысами Бугульдейка и Крестовый, степь уже занимает в прибрежной полосе примерно равную с лесом площадь. К сосне чаще, чем в предыдущем районе, примешивается лиственница, особенно у берега озера, по открытым верхам гребней, на плакорах и северных склонах холмов.

В глубине побережья по-прежнему господствуют сосновые леса.

Между мысом Крестовым и долиной р. Анги в прибрежной полосе уже преобладает степь. Лес занимает преимущественно северные и восточные склоны, иногда ровные участки, но полностью отсутствует на южных склонах и днищах падей. По-прежнему преобладают сосняки. На повышенных формах рельефа в удалении от берега лес встречается чаще, чем степь. Господствуют сосняки, а лиственница присутствует лишь как примесь на северных склонах.

Долина р. Анги в ее нижнем течении покрыта заболоченным лугом. Между ним и коренными склонами, занятыми степью, тянется полоса зарослей чия (*Lasiagrostis splendens*) с холодной полыньей (*Artemisia frigida*) и бесстебельной лапчаткой (*Potentilla acaulis*).

На побережье за долиной Анги, вплоть до пролива Ольхонские Ворота, господствует степь. Лес изредка встречается в виде небольших островов из лиственницы на северных склонах холмов, особенно ближе к их гребням. Сосна полностью исчезает, кроме склонов Приморского хребта. Это наиболее сухой участок района с резко выраженными чертами степной растительности.

Лесная растительность района. Главными лесообразующими породами являются сосна и лиственница сибирская. Береза и осина встречаются редко и древостоев не образуют. Бонитет сосновых и лиственничных лесов IV и V классов. Сомкнутость крон невысокая — 0,3—0,7. Подлесок редкий, образованный таволгой средней, шиповником иглистым и кизильником черноплодным. Даурский рододендрон сколько-нибудь густого подлеска не образует, встречается преимущественно в сосняках между речкой Бирхин и мысом Крестовым. В наземном покрове преобладают травянистые растения. Реже совместно с ними фон образует брусника. Моховой ярус не выражен или же представлен *Phytidium rugosum*. Большинство участков леса остепнено.

Все леса имеют следы низовых и верховых пожаров. Иногда вместо леса, погибшего от огня, наблюдаются гары.

Возобновление под древесным пологом обычно слабое, осуществляется сосной и лиственницей. Тем не менее единичные сосны и лиственницы иногда встречаются даже в открытой степи (например, около мыса Крестового). Их возраст не менее 30 лет. В этих случаях наблюдается как бы частичное наступление леса на степь.

Леса района представлены тремя сообществами: остепненным разнотравным сосняком, бруснично-разнотравным сосняком-зеленомошником и остепненным разнотравным лиственничником.

а) Остепленный разнотравный сосновый лес широко распространен в юго-западной части района. В качестве примера приводим описание участка ассоциации, расположенного на водоразделе ручьев Бегуя и Бирхин, на склоне восточной экспозиции крутизной около 10°.

Почва сухая, супесчаная, слегка каменистая, неоподзоленная.

Древостой чистый, разновозрастный (40—200 лет), IV класса бонитета, с сомкнутостью крон около 0,6. Диаметр стволов 10—50 см, высота господствующего поколения 15—17 м. Обнаруживаются следы прошедших низовых пожаров. Подлесок отсутствует.

Травостой высокий, около 20 см, покрывает около 40% поверхности почвы. Преобладают *Pulsatilla patens* — сор.¹, *Festuca ovina* s. str. — сор.¹, *Saxifraga spinulosa* — sp., *Leucanthemum sibiricum* — sp., *Aster alpinus* — сол. — sp., *Scorzonera radiata* — сол., *Oxytropis strobilacea* — сол., *Pedicularis rubens* — сол., *Vicia multicaulis* — сол., *Thalictrum minus* — сол. На площадке 2500 м² насчитывается 21 вид растений.

Мохово-лишайниковый ярус отсутствует. Возобновление почти отсутствует.

б) Бруснично-разнотравный зеленомошный сосновый лес распространен на небольших площадях, в основном на каменистых гребнях холмов и водоразделов, в окружении остепненных разнотравных сосняков. Почва более увлажненная — умеренно влажная. Ассоциация характеризуется преобладанием брусники и разнотравья в кустарничково-травяном ярусе и наличием отчетливо выраженного мохового яруса из *Rhytidium rugosum*.

в) Остепленный разнотравный лиственничный лес замещает собой сосняки в прибрежной полосе у Байкала, на северных склонах холмов, кроме того, образует небольшие островки леса в местах с резким преобладанием степи.

Приводим для примера описание участка лиственничника близ берега озера, на склоне 23° северной экспозиции.

Почва сухая, супесчаная, каменистая, без признаков оподзоливания.

Древостой чистый, V класса бонитета, более или менее разновозрастный (около 90 лет), высотой 8 м. Сомкнутость крон 0,3. Вершины крон обращены к юго-востоку, в направлении господствующих ветров. Подлесок не выражен.

Покрывание травостоя 0,5. Преобладают (обилие sp.) *Pulsatilla Turczaninowii*, *Festuca ovina* s. str., *Selaginella sibirica*, *Phlojodicarpus baicalensis*, *Carex pediformis*, *Saxifraga spinulosa*, *Leucanthemum sibiricum*. На площадке 2500 м² насчитывается 21 вид.

Моховой покров выражен слабо (покрытие 0,2), представлен *Rhytidium rugosum*, *Ceratodon purpureus*.

Возобновление отсутствует.

Степная растительность района неяркая, выжженная. Общий ее фон серо-зеленый от ветоши, и лишь каменистые гребни холмов выделяются пятнами темно-оливковой растительности от покрывающих их селлагинелл (рис. 2). Почти всюду сквозь травостой в степи свободно просвечивает незадерненная почва. Покрытие его колеблется от 0,3 до 0,8, чаще составляет около 0,6. Высота незначительная, от 5 до 15 см, редко больше или меньше. Сложение большей частью двухъярусное. На площадке в 100 м² насчитывается от 15 до 35 видов расте-

ний, в среднем около 23. Повсеместно преобладают дерновинные и куртинные растения, особенно злаки — *Poa botryoides*, *Koeleria gracilis*, *Festuca lenensis*, *Agropyrum cristatum*, *Stipa capillata*. Часто в роли субдоминанта выступает холодная полынь — *Artemisia frigida*. Распределение степной растительности показано на рис. 3.

Для крутых (около 30°), хорошо прогреваемых солнцем склонов со скелетными почвами весьма характерна житняковая формация. Соответствующие ей местообитания широко распространены в прибрежной полосе у Байкала — на обращенных к озеру крутых склонах берегового отрога хребта (рис. 4). Они характеризуются сухими супесчаными каменисто-хрящеватыми незадерненными почвами цвета золы.

Травостой наиболее высокий среди степей района — до 50 см. Покрытие 0,7. Аспект серый. Обычно сохраняется много ветоши из прошлогодней растительности. Сложение двухъярусное: первый ярус около 50 см высотой при покрытии 0,4, второй около 20 см высотой при покрытии 0,4. На площадке 100 м² насчитывается около 25 видов растений. Доминирует *Agropyrum cristatum* (сор.³). Субдоминантами являются *Stipa sibirica* (sp.) и *Artemisia santolinifolia* (sp.). Для формации характерно наличие таких растений, как *Asparagus dahuricus*, *Caragana pygmaea*, *Rheum undulatum*, *Polygala tenuifolia*, *Antitoxicum sibiricum*, *Rhaponiticum uniflorum*, *Dontostemon integrifolius*.

Однако они имеют в травостое третьестепенную роль. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

Верхние каменистые части гребневидных возвышений и скалистый гребень берегового отрога хребта заняты каменистой разнотравной степью. Она расположена наиболее высоко над уровнем Байкала на абсолютной высоте 600—750 м и свободно обдувается ветрами. Почва супесчаная каменисто-щебенчатая или каменисто-хрящеватая.

Травостой двухъярусный, крайне низкий и разреженный, высота его 3—7 см, покрытие 0,3—0,5. Ряд произрастающих здесь растений характеризуется яркими цветками, что придает степи в начале лета красочный облик, но, начиная с конца июня, она выгорает и становится по-прежнему темно-оливковой. Большинство растений обладает куртинным ростом. Преобладают *Selaginella sanguinolenta* — сор.², *Chamaerhodos altaica* — сор.¹⁻², *Pulsatilla Sukaczewii* — сор.¹, *Oxytropis oxyphylla* — sp., *Festuca lenensis* — сол. — sp., *Astragalus versicolor* — сол. — sp., *Androsace incana* — сол. — sp.

В некоторых вариантах степи бывает обильна *Artemisia frigida* (sp.); в более мезофильных условиях *Selaginella sanguinolenta* и *Pulsatilla sukaczewii* замещаются соответственно менее ксерофильными *Selaginella sibirica* (сор.¹) и *Pulsatilla Turczaninowii* (sp.) На площадке 100 м² насчитывается 15—25 видов растений. Характерен напочвенный покров из лишайника *Parmelia vagans* с покрытием 0,2—0,3.

Более пологие, чем в случае житняковой формации, склоны холмов и плакорные участки занимает дерновинномелкозлаковая степь. По занимаемой площади это господствующее сообщество среди степей района. Почва каштановидная, коричневого цвета, супесчаная, иногда хрящеватая, сухая.

Аспект степи неяркий, серо-зеленый. Травостой двухъярусный, 5—15 см высотой, с покрытием 0,5—0,7. Преобладают злаки с плотными дерновинами. На площадке 100 м² насчитывается 15—35 видов растений. Нередко имеется слабо развитый лишайниковый покров из *Parmelia vagans*, покрывающий меньше 10% поверхности почвы. Описываемая степь представлена тремя следующими основными вариантами.

Леса района представлены тремя сообществами: остепненным разнотравным сосняком, бруснично-разнотравным сосняком-зеленомошником и остепненным разнотравным лиственничником.

а) Остепненный разнотравный сосновый лес широко распространен в юго-западной части района. В качестве примера приводим описание участка ассоциации, расположенного на водоразделе ручьев Бегуя и Бирхин, на склоне восточной экспозиции крутизной около 10°.

Почва сухая, супесчаная, слегка каменистая, неоподзоленная.

Древостой чистый, разновозрастный (40—200 лет), IV класса бонитета, с сомкнутостью кроны около 0,6. Диаметр стволов 10—50 см, высота господствующего поколения 15—17 м. Обнаруживаются следы прошлых низовых пожаров. Подлесок отсутствует.

Травостой высокий, около 20 см, покрывает около 40% поверхности почвы. Преобладают *Pulsatilla patens* — сор.¹, *Festuca ovina* s. str. — сор.¹, *Saxifraga spinulosa* — sp., *Leucanthemum sibiricum* — sp., *Aster alpinus* — сол. — sp., *Scorzonera radiata* — сол., *Oxytropis strobilacea* — сол., *Pedicularis rubens* — сол., *Vicia multicaulis* — сол., *Thalictrum minus* — сол. На площадке 2500 м² насчитывается 21 вид растений.

Мохово-лишайниковый ярус отсутствует. Возобновление почти отсутствует.

б) Бруснично-разнотравный зеленомошный сосновый лес распространен на небольших площадях, в основном на каменистых гребнях холмов и водоразделов, в окружении остепненных разнотравных сосняков. Почва более увлажненная — умеренно влажная. Ассоциация характеризуется преобладанием брусники и разнотравья в кустарничково-травяном ярусе и наличием отчетливо выраженного мохового яруса из *Rhytidium rugosum*.

в) Остепненный разнотравный лиственничный лес замещает собой сосняки в прибрежной полосе у Байкала, на северных склонах холмов, кроме того, образует небольшие островки леса в местах с резким преобладанием степи.

Приводим для примера описание участка лиственничника близ берега озера, на склоне 23° северной экспозиции.

Почва сухая, супесчаная, каменистая, без признаков оподзоливания.

Древостой чистый, V класса бонитета, более или менее разновозрастный (около 90 лет), высотой 8 м. Сомкнутость кроны 0,3. Верхушки кроны обращены к юго-востоку, в направлении господствующих ветров. Подлесок не выражен.

Покров травостоя 0,5. Преобладают (обилие sp.) *Pulsatilla Turczaninowii*, *Festuca ovina* s. str., *Selaginella sibirica*, *Phlopodicarpus turczaninowii*, *Carex pediformis*, *Saxifraga spinulosa*, *Leucanthemum sibiricum*. На площадке 2500 м² насчитывается 21 вид.

Моховой покров выражен слабо (покрытие 0,2), представлен *Rhytidium rugosum*, *Ceratodon purpureus*.

Возобновление отсутствует.

Степная растительность района красочная, разнообразная. Общий ее фон серо-зеленый от ветости, и лишь каменистые гребни холмов выделяются пятнами темно-оливковой растительности из кривляющихся их селлагинелл (рис. 2). Почти всюду сквозит сквозь пологие склоны свободно просвечивающая незадерненая почва. Покрытие ее колеблется от 0,3 до 0,8, чаще составляет около 0,6. Высота растений колеблется от 5 до 15 см, редко больше или меньше. Сложение биомассы ступенчатое, ярусное. На площадке в 100 м² насчитывается от 15 до 20 видов растений.

ний, в среднем около 23. Повсеместно преобладают куртинные растения, особенно злаки. Среди них доминанта выступает холодная полнота — *Festuca lenensis*, *Agropyrum cristatum*, *Stipa capillata*.

Для крутых (около 30°), хорошо прогреваемых скелетными почвами весьма характерна степная растительность показанной полосы у Байкала — на обширном юго-восточного отрога хребта (рис. 4). Она отличается каменисто-хрящеватыми кочками.

Травостой наиболее высокий, высотой 50 см, покрытие 0,7. Аспект серый. Обилие злаков и шлогодней растительности. Преобладают *Festuca lenensis* 50 см высотой при покрытии 0,7, *Agropyrum cristatum* 40 см высотой при покрытии 0,4. На площадке 100 м² насчитывается 15 видов растений. Доминирует *Agropyrum cristatum* (сор.¹), *Stipa sibirica* (sp.) и *Poa botryoides* (сол.).

Рис. 4. Обращенные к озеру склоны берегового отрога, занятые (на заднем плане) житняковой степью.

На ровных местах с супесчаной слабо хрящеватой каштановидной почвой встречается ассоциация, совмещающая в себе черты описанных выше житняковой и дерновинномелкозлаковой степей и являющаяся по составу промежуточной между ними. Травостой двухъярусный, высотой около 15 см при покрытии 0,8. Доминируют житняк — *Agropyrum cristatum* (сор.¹) и комплекс мелкодерновинных злаков — *Festuca lenensis* (sp. — сол.), *Poa botryoides* (сол.), *Koeleria gracilis* (сол.). Меньшую роль играют (обилие sp.) *Pulsatilla Turczaninowii*, *Potentilla acaulis*, *Veronica incana*, *Galium verum*. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

На более ровных участках в понижениях между холмами встречается тырсовая формация, развитая на черноземовидной мелкоземистой или слегка хрящеватой почве. Для нее характерно резкое преобладание ковыля тырсы — *Stipa capillata*.

Однако эта формация не играет значительной ландшафтной роли. Вместо нее на ровных местах между гребневидными возвышениями и на слабо покатых нижних частях склонов с супесчаной слегка хрящеватой почвой развита житняково-тырсовая ассоциация, совмещающая в себе черты житняковой и тырсовой формации. Травостой двухъярусный, около 20 см высотой, покрывает около 80% поверхности почвы. Общий его фон серо-зеленый. На площадке 100 м² насчитывается около 25 видов растений. Доминируют ковыль тырса (сор.²) и житняк (сор.¹). Второстепенную роль играют *Koeleria gracilis* (sp.), *Oxytropis caespitosa* (sp.), *Amblynotus obovatus* (сол.), *Vupleurum bicaule* (сол.). Напочвенные лишайники отсутствуют. Преобладание в этой ассоциации наряду с тырсой житняка несколько приближает ее к ассоциациям житняковой формации.

Промежуточный характер имеет также тырсово-житняково-дерновинномелкозлаковая ассоциация, совмещающая в себе черты тырсовой, житняковой и дерновинномелкозлаковой степей. Она широко распространена на слабо покатых (около 5°) прогреваемых склонах с каштановидной супесчаной слегка хрящеватой почвой. Травостой низкий, около 10 см, двухъярусный, покрывает около 70% поверхности почвы. Общий фон серо-зеленый. В конце июня он пестрит белыми цветками *Arenaria capillaris*. Доминируют (обилие сор.¹) тырса, житняк и тонконог. Из других растений наиболее обычны *Potentilla acaulis* (sp.), *Arenaria capit-*



Рис. 2. Общий вид приольхонской степи. На скалистых гребнях возвышений темными пятнами выделяется каменистая разнотравная степь с преобладанием селлагинелл.

1. На каменистых местах с хрящеватой почвой распространено сообщество, в котором доминируют (обилие сор.¹) *Festuca lenensis*, *Poa botryoides*, *Artemisia frigida*. Подчиненную роль (обилие sp.) играют *Chamaerhodos altaica* и *Androsace incana*. На почве всегда имеется *Parmelia sulcata* (покрытие меньше 0,1). Это сообщество несколько приближается к каменистой разнотравной степи.

2. На некаменистых плакорных участках широко распространена типчаково-тонконоговая степь. Доминируют *Koeleria gracilis* (сор.²⁻³) и

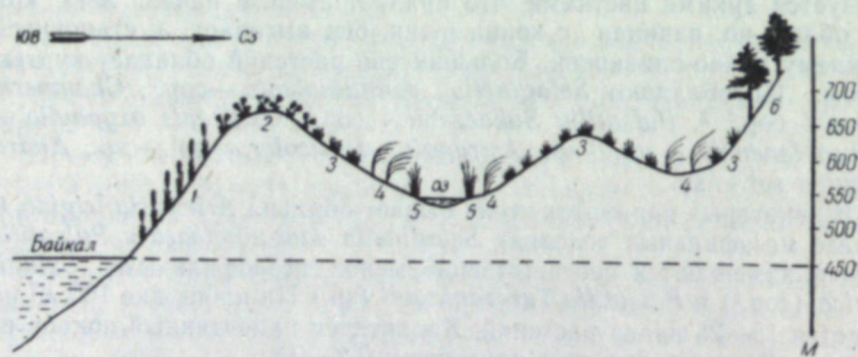


Рис. 3. Схематический профиль распределения растительности в приольхонской степи.

1 — житняковая степь, 2 — каменистая разнотравная степь, 3 — дерновинномелкозлаковая степь, 4 — тырсовая степь, 5 — заросли чия у берегов озер, 6 — сосняк на байкальском скате Приморского хребта.

Festuca lenensis (сор.¹). Субдоминантами являются (обилие sp.) *Poa botryoides*, *Stipa capillata*, *Stellaria cherleriae*, *Oxytropis caespitosa*. Имеется слабо развитый покров из *Parmelia vagans*.

3. На хрящеватых, слабо каменистых супесчаных почвах распространена мятликовая степь, близкая к предыдущему варианту. В ней доминируют *Poa botryoides* (сор.³), меньшую роль играют *Orostachys spinosa* (сор.¹) и *Potentilla acaulis* (sp.).



Рис. 4. Обращенные к озеру склоны берегового отрога, занятые (на заднем плане) житняковой степью.

На ровных местах с супесчаной слабо хрящеватой каштановидной почвой встречается ассоциация, совмещающая в себе черты описанных выше житняковой и дерновинномелкозлаковой степей и являющаяся по составу промежуточной между ними. Травостой двухъярусный, высотой около 15 см при покрытии 0,8. Доминируют житняк — *Agropyrum cristatum* (сор.¹) и комплекс мелкодерновинных злаков — *Festuca lenensis* (sp.—sol.), *Poa botryoides* (sol.), *Koeleria gracilis* (sol.). Меньшую роль играют (обилие sp.) *Pulsatilla Turczaninovii*, *Potentilla acaulis*, *Veronica incana*, *Galium verum*. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

На более ровных участках в понижениях между холмами встречается тырсовая формация, развитая на черноземовидной мелкоземистой или слегка хрящеватой почве. Для нее характерно резкое преобладание ковыля тырсы — *Stipa capillata*.

Однако эта формация не играет значительной ландшафтной роли. Вместо нее на ровных местах между гребневидными возвышениями и на слабо покатых нижних частях склонов с супесчаной слегка хрящеватой почвой развита житняково-тырсовая ассоциация, совмещающая в себе черты житняковой и тырсовой формации. Травостой двухъярусный, около 20 см высотой, покрывает около 80% поверхности почвы. Общий его фон серо-зеленый. На площадке 100 м² насчитывается около 25 видов растений. Доминируют ковыль тырса (сор.²) и житняк (сор.¹). Второстепенную роль играют *Koeleria gracilis* (sp.), *Oxytropis caespitosa* (sp.), *Amblynotus obovatus* (sol.), *Vupleurum bicaule* (sol.). Напочвенные лишайники отсутствуют. Преобладание в этой ассоциации наряду с тырсой житняка несколько приближает ее к ассоциациям житняковой формации.

Промежуточный характер имеет также тырсово-житняково-дерновинномелкозлаковая ассоциация, совмещающая в себе черты тырсовой, житняковой и дерновинномелкозлаковой степей. Она широко распространена на слабо покатых (около 5°) прогреваемых склонах с каштановидной супесчаной слегка хрящеватой почвой. Травостой низкий, около 10 см, двухъярусный, покрывает около 70% поверхности почвы. Общий фон серо-зеленый. В конце июня он пестрит белыми цветками *Arenaria capillaris*. Доминируют (обилие сор.¹) тырса, житняк и тонконог. Из других растений наиболее обычны *Potentilla acaulis* (sp.), *Arenaria capit-*

laris (sp.), *Poa botryoides* (sp.), *Oxytropis caespitosa* (sol.), *Artemisia frigida* (sol.). Напочвенные лишайники отсутствуют.

На днищах ложбин между холмами расположена система озер, засоленных в различной мере — от почти пресных до соленых, с водой, непригодной для питья. Для их берегов характерен комплекс галофитной растительности, состоящей из *Carex eremopyroides*, *Juncus salsuginosus*, *Taraxacum stenolobum*, *Glaux maritima*, *Plantago salsa*, *Halimolobos salsuginosa*, *Polygonum sibiricum*. На границе со степью галофитная растительность окаймлена кольцом зарослей чия с холодной полынью и бесстебельной лапчаткой.

Некоторые участки степи на днищах котловин и некрутых склонах местное население пыталось распахивать под сельскохозяйственные культуры. В частности, делались попытки выращивать картофель. Но без применения мелиоративных мероприятий земли оказались бесплодными и в настоящее время заброшены. Такие залежи близ бухты Ая поросли полусорными и степными растениями: *Lappula echinata*, *Erysimum altaicum*, *Linaria burjatica*, *Kochia prostrata*, *Artemisia vulgaris*, *A. frigida*.

Поскольку *Erysimum altaicum* на залежах разрастается обильно, возникает мысль о возможности его искусственного разведения на степных участках средней части западного побережья Байкала с целью получения ценного сердечного лекарства — амин-эризина.

Климатическое влияние озера на растительность

Влияние Байкала на окружающую растительность в наибольшей мере проявляется в прибрежной полосе. Оно складывается из понижения летом температуры воздуха, увеличения его влажности и обдуваемости местности ветрами.

Так, в июне на берегу бухты Ая, расположенной в чисто степной части района, нами регулярно наблюдались ветры, дующие вечером и ночью с суши на озеро, а утром, наоборот, с озера на сушу. Утренний бриз, обычно продолжавшийся до 11—12 часов дня, вызывал сильное понижение температуры воздуха (до +7—+8°С) в прибрежной полосе, в то время как на удалении от озера более 0,5 км даже при ветре было относительно тепло.

В отличие от побережий северного Байкала в прибрежной полосе южной и средней частей западного побережья почти не встречаются специфические аркто-альпийские растения. Это связано с более южным положением и сухостью местного климата, что не благоприятствует произрастанию психрофильных форм.

Из аркто-альпийских растений на галечниках южной части побережья встречен *Chamaenerium latifolium*. В средней части побережья найдены *Dryas oxyodonta* (мыс Зогдук, скалы у бухты Анга и близ бухты Ая), *Androsace Bungeana* (близ дер. Сарма) и *Saussurea Schanginiana* (скалы мыса Уюга). Последний вид произрастает также южнее, на скалах бухты Голоустной. Имеется указание Н. С. Турчанинова [12] о произрастании аркто-альпийского растения *Lloydia serotina* на тенистых скалах острова Ольхон. Наконец, на конусе выноса р. Сармы найдено высокогорное растение *Melandrium apetalum*, представленное особой эндемичной разновидностью var. *vegetum* М. Поп.

На берегах северного Байкала «снизившихся» альпийцев насчитывается во много раз больше (до 40 видов). Кроме отмеченных выше фактов, их малочисленность в средней и южной частях западного побережья Байкала вызвана также отдаленностью от озера гольцов,

вследствие чего современный занос зачатков высокогорных растений к берегам Байкала почти исключен.

Говоря об аркто-альпийских растениях, мы не имеем в виду такие обычные растения приольхонских степей и скал, как *Saxifraga spinulosa*, *Arenaria capillaris*, *Androsace incana*, *Aster alpinus* s. l., *Thlaspi cochleariforme*, *Minuartia verna*, нередко трактуемые в литературе в качестве «снизившихся» альпийцев или реликтов ледникового периода, поскольку одни из них отличаются в Прибайкалье широкой экологической амплитудой (*Saxifraga spinulosa*), другие же гольцам не свойственны (*Arenaria capillaris*, *Androsace incana*, отчасти *Thlaspi cochleariforme*).

Климатическое влияние Байкала на окружающую растительность отчетливо проявляется также в замещении леса в прибрежной полосе степными участками.

Как указывалось выше, в южной части побережья узкая прибрежная полоса занята почти непрерывной лентой степной, остепненной и скально-степной растительности. Эта же тенденция к замещению леса степью наблюдается и в средней части побережья, но внешне она бросается здесь в глаза не так резко в связи с большим развитием степной растительности вообще.

Замена леса степью в прибрежной полосе объясняется суровыми местными климатическими условиями: понижением летних температур под влиянием озера и обдуваемостью берегов ветрами со стороны открытых байкальских просторов. И если одной сухости климата бывает недостаточно для замещения леса степью, то дополнительное влияние таких отрицательных факторов, как низкие температуры и усиление транспирации вследствие ветров, нарушает равновесие, вызывая замещение леса степной растительностью, более приспособленной к условиям холодного и сухого климата.

Для сравнения отметим, что в районе северного Байкала, где общие климатические условия менее благоприятны для развития степной растительности, острова среди озера, как правило, остепнены. На них климатическое влияние Байкала проявляется в наибольшей мере [13].

Другой специфической чертой растительности южной и средней частей западного побережья Байкала, вызванной его климатическим воздействием, является тенденция к замещению в прибрежной полосе сосны лиственницей — породой более выносливой к неблагоприятным климатическим условиям. Как нами отмечено выше, в южной части побережья в береговой полосе и особенно на мысах сосна замещается лиственницей. Эта же закономерность ярко прослеживается и в средней части побережья. Здесь отчетливо можно видеть, что в отличие от сосны лиственница в большей мере способна мириться с обдуваемостью ветрами, пониженными температурами и сухостью климата. В этом отношении она ближе к степной растительности, чем сосна. В частности, при движении по побережью с юго-запада к Ольхонским Воротам, по мере того как степь получает почти безраздельное господство, сосна полностью исчезает, и островки леса в степи представлены исключительно лиственницей. Из-за наличия открытых материковых пространств обычное явление здесь — иссушающие холодные ветры, являющиеся причиной замены сосны лиственницей. Аналогичное этому явление наблюдается и в прибрежной полосе у Байкала.

Таким образом, в средней и южной частях западного побережья Байкала, как и в его северной половине, отчетливо выражено климатическое влияние озера на прибрежную растительность. Но это влияние имеет здесь иные последствия в связи с более южным положением, отсутствием поблизости высоких горных хребтов, большей обращенностью

берегов к югу и сухостью местного климата. Оно прослеживается не столько в инверсиях в вертикальном распределении растительности и отдельных видов растений, сколько в тенденции замещения в прибрежной полосе леса степью и сосны лиственницей.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
7/V 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. Попов, Эндемизм во флоре побережий Байкала и его происхождение. Сб. работ, посвящ. В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рожд. Изд. АН СССР, М.—Л., 1956.
2. Л. И. Малышев, Вертикальное распределение растительности на побережье северного Байкала. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 10, 1957.
3. Л. И. Малышев, К познанию степной растительности побережий северного Байкала. Бот. журн., т. 42, № 9, 1957.
4. А. В. Вознесенский, В. Б. Шостакович, Основные данные для изучения климата Восточной Сибири. Иркутск, 1913.
5. М. Г. Попов, Степная и скальная флора западного побережья Байкала. Тр. Байк. лимнолог. ст., вып. 15, стр. 408—426. Изд. АН СССР, М.—Л., 1957.
6. Л. И. Малышев, Влияние пожаров на леса северного Байкала. Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, сер. биол., вып. 5, Иркутск, 1957.
7. Я. П. Прейн, Материалы к флоре острова Ольхона на Байкале. Изв. Вост.-Сиб. отд. Руск. геогр. об.-ва, т. XXV, № 1, Иркутск, 1894.
8. Н. К. Тихомиров, Очерк растительности острова Ольхона на озере Байкале. Тр. Комис. по изуч. оз. Байкал, вып. II, Изд. АН СССР, Л., 1927.
9. Н. К. Тихомиров, Флора о-ва Ольхона на Байкале. Тр. Ком. по изуч. оз. Байкал, вып. III, Л., 1930.
10. В. Н. Сукачев, О работах ботанической экспедиции АН СССР на Байкале летом 1928 г. Журн. «Жизнь Бурятии», № 10—12, 1928.
11. А. В. Куминова, Степи Забайкалья и их место в ботанико-географическом районировании Даурии. Тр. Биол. науч.-иссл. ин-та при Томск. гос. ун-те, т. V, стр. 87—130, Томск, 1938.
12. N. Turczaninow, Flora Baicalensi—Dahurica, vol. II, pars 2, p. 210, 1856.
13. Л. И. Малышев, Влияние озера Байкал на прибрежную растительность северной части. Тез. докл. Объединенной науч. сессии Отд. биол. наук. Вост.-Сиб. филиала АН СССР в Иркутске, Иркутск, 1957.

А. И. ЧЕРЕПАНОВ

ПОЗНАНИЕ ПОЧВЕННОЙ ЭНТОМОФАУНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Изучение энтомофауны Сибири началось еще в XVIII в. работами Лаксмана, описавшего ряд видов жуков. Обширные исследования энтомофауны Сибири были проведены в XIX и в начале XX столетия. Однако они сводились преимущественно к составлению списков и описанию новых видов насекомых, собранных любителями, натуралистами и отдельными экспедициями в различных районах Сибири. Такие работы выполнены Геблером [1—3], Гайденом [4], Рейттером [5, 6], Чижи [7], Сальбергом [8], Яковлевым [9], Якобсоном [10], Колосовым [11, 12], Внучковским [13—15] и другими авторами. Списки насекомых составлялись на основании обработки материалов имажинальной фазы, ведущей обычно открытый образ жизни; фауна почв оставалась неизвестной.

Лишь с двадцатых годов текущего столетия и особенно в последнее время в связи с бурным развитием сельскохозяйственного производства был выполнен ряд работ по энтомофауне почв Западной Сибири. Это вызвано тем, что многие почвообитающие насекомые (особенно личинки хрущей и шелкоунов) нередко причиняют громадный вред сельскохозяйственным растениям и лесным насаждениям.

Сведения о географическом распространении, биологии и вредоносной деятельности хрущей, населяющих обширнейшую территорию Западной Сибири, приводятся во многих работах ([16—22, 24—27] и др.).

Ряд работ посвящен шелкоунам (24, 25, [28—42] и др.), долгоносикам и чернотелкам, повреждающим свеклу [43, 44], саранчовым [45—47], усачам [23, 48, 49], подгрызающим совкам [34, 50—60], муравьям [61, 62].

За последнее время исследователями выясняется изменение почвенной фауны в связи с освоением целинных и залежных земель. Уделяется большое внимание изучению влияния новых приемов обработки почвы на видовой состав и численность насекомых, повреждающих сельскохозяйственные растения ([63—66] и др.). Проведены наблюдения над изменением почвообитающей фауны тундры под влиянием земледелия [67].

В Алтайском крае под руководством энтомологов Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства и опытных станций систематически проводятся почвенные обследования полей. В результате этих обследований ежегодно составляются и издаются большим тиражом прогнозы появления главнейших вредителей сельскохозяйственных культур [68—71]. В публикуемых бюллетенях (прогнозах) даются сведения о численности шелкоунов (проволочников), хрущей, чернотелок (ложнопроволочников) и других насекомых, встречающихся в почве.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие обобщения о распространении энтомофауны почв в Западной Сибири.

Прежде всего Западная Сибирь характеризуется наличием широтной ландшафтной зональности, оказавшей большое влияние как на характер почв, так и на распространение насекомых в них.

На севере Западной Сибири, примерно севернее 66° с. ш., от Уральского хребта до р. Енисея располагаются тундра и лесотундра. Эта зона характеризуется суровым, холодным климатом, продолжительной зимой и коротким летом с более или менее продолжительным периодом круглосуточного дня. Почвы тундры и лесотундры составлены преимущественно открытоподзолистыми супесями и суглинками, как правило с глеевым нижним горизонтом. Вечная мерзлота залегает на глубине 30—50 см, на более прогреваемых, хорошо дренированных участках — на глубине до 1,5 м и более. В пределах тундры и лесотундры фауна почв широко представлена преимущественно видами ногохвосток (*Collembola*), двухкрылых (*Diptera*) и жесткокрылых (*Coleoptera*). Среди последних преобладают карабиды (*Carabidae*) и шелкуны (*Elateridae*). Из жесткокрылых чаще всего встречаются *Carabus regalis* Fisch., *Selatosomus rugosus* Germ., *Hypnoidus rivularius* Gyll., *H. basalis* Motsch., *H. hyperboreus* Gyll. и *Sericus brunneus* L.

На отдельных участках Обдорской тундры в почве и моховом покрове удавалось находить до 20 личинок шелкунов на каждом квадратном метре. Однако наиболее многочисленны в этой зоне ногохвостки, которые местами составляют более 80% всей численности животных, встречающихся в почве.

Между 66 и 58° с. ш. простирается зона равнинной тайги. Доминирующими древесными породами лесных ассоциаций в этой зоне являются ель, пихта сибирская, лиственница сибирская, сосна обыкновенная, кедр сибирский, береза и осина. Значительные пространства междуречий заняты болотами, покрытыми редколесьем. По берегам рек на дренированных участках располагаются луга. Почвы представлены суглинистыми и супесчаными подзолами. Луговые почвы сравнительно тяжелые, суглинистые. Климат равнинной тайги умеренный, более влажный, характеризуется наибольшим количеством осадков.

Энтомофауна почв зоны тайги богата и по видовому составу и по численности отдельных видов. Здесь почву во множестве населяют ногохвостки (*Collembola*), перепончатокрылые (*Hymenoptera*), двухкрылые (*Diptera*), чешуекрылые (*Lepidoptera*) и жесткокрылые (*Coleoptera*). Среди жесткокрылых появляются чернотелки (*Tenebrionidae*), пластинчатоусые (*Scarabaeidae*) и другие, в пределах тундры встречающиеся редко или отсутствующие совершенно. Наиболее изучены в этой зоне шелкуны. Из них *Selatosomus laevicollis* Mannh., *S. melancholicus* F., *Corymbites boeberi* Germ., *C. pectinicornis* L., *Dolopius marginatus* L. и другие населяют почвы преимущественно под пологом леса. *Selatosomus aeneus* L., *S. tibialis* Schw., *Agriotes obscurus* L., *A. lineatus* L. и другие встречаются на открытых пространствах, заселяют луговые почвы. На пахотных землях преобладает *Agriotes obscurus* L. На южных необлесенных склонах, имеющих остепненный растительный покров, поселяется *Selatosomus latus* F. — представитель степной фауны. Нередко на южных склонах встречаются чернотелки (*Opatrum sabulosum* L.). Почвы открытых пространств, особенно на южных склонах, иногда заселяются хрущами (*Melolontha hippocastani* F., *Hoplia aureola* Pall.). Однако эти виды распространены в южной части тайги, на севере они отсутствуют.

Кроме перечисленных видов, в почвах лесной зоны встречаются комары долгоножки (*Tipula lateralis* Mg. — по берегам рек, *T. subnodicornis* Zett., *T. scripta* Mg. — под пологом леса, *T. pruinosa* Mg., *T. vernalis* Mg., *T. affinis* Schum. — на лугах и т. д.), подгрызающие совки (*Tripha-*

ena ravida Schiff., *Tr. augur* F., *Graphiphora baja* F., *G. ditrapetium* Schiff., *G. speciosa* Hb., *G. c-nigrum* L., *Eurois occulta* L., *Ochropleura jennica* Tausch., *Diarsia rubi* View. и др. — на лугах и опушках леса, *Diarsia* sp. — под пологом тенистых еловых лесов, *Euxoa tritici* L., *Agrotis ypsilon* Rott., *A. segetum* Schiff. — на полях), карабиды (*Carabus amoenus* Chaud., *C. henningi* Fisch-W., *C. conciliator* Fisch-W., *Blethisa multipunctata* L., *B. curtula* Motsch., *Nebria nitidula* F. — на лугах и по опушкам леса, *Agonum bicolor* Dej. — по берегам рек и т. д.), муравьи (*Camponotus herculeanus* L., *Formica rufa* L., *F. trunicola* Nyl., *F. exsecta* Nyl., *F. sanguinea* Latr., *F. fusca* L., *Myrmica angulinodis* Ruz. — под пологом леса, *Formica cinerea* Mayr. — по долинам рек) и многие другие насекомые.

Между 58 и 55° с. ш. располагается зона островных лесов, или лесостепей, которая на юго-востоке примыкает к горно-лесному поясу Алтае-Саянской горной системы. В пределах этой зоны сосновые, березовые и березово-осиновые леса чередуются с открытыми пространствами, которые заняты разнотравно-злаковыми, злаково-полюнными ассоциациями, пахотными землями и болотами. Почвы этой зоны весьма разнородны. В сосновых насаждениях встречаются преимущественно супесчаные подзолы, в березовых и березово-осиновых лесах (особенно в понижениях) развиты солоды. На открытых пространствах преобладают средние выщелоченные черноземы и солонцы. Солонцы в пределах Барабы занимают до 25—40% площади открытых пространств.

Фауна почв лесостепной зоны неоднородна. Так, в борových легких подзолистых почвах во множестве встречаются шелкуны (*Selatosomus aeneus* L., *Lacon murinus* L., *Prosternon tessellatum* L., *Dolopius marginatus* L.), хрущи (*Melolontha hippocastani* F.), на вырубках и в редицах — чернотелки (*Opatrum sabulosum* L., *Pedinus femoralis* L.) и т. д. В суглинистых подзолах березовых и березово-осиновых насаждений часто наблюдаются *Selatosomus aeneus* L., *S. nigricornis* Panz., *Prosternon tessellatum* L., *Melolontha hippocastani* F., *Myrmica betuliana* Ruz., в восточных районах к ним присоединяются *Selatosomus tibialis* Schw. и некоторые другие виды. Средневыщелоченные черноземы во множестве населяют шелкуны (*Selatosomus latus* F., *S. spretus* Mannh., *Agriotes obscurus* L., *A. sputator* L., *A. lineatus* L., *Hypnoidus 4-pustulatus* F.), чернотелки (*Opatrum sabulosum* L., *Pedinus femoralis* L., *Blaps* sp.), хрущи (*Amphimallon solstitialis* L., *A. altaicus* Mannh., *Maladera holosericea* Scop.), ктыри (*Leptogaster cylindrica* De Geer), карабиды (*Brosicus cephalotes* L., *Pterostichus* sp., *Ophonus calceatus* Duf., *Carabus convexus* F., *C. cancellatus* Ill. и др.), усачи (*Eodorcadion carinatum* F.), подгрызающие совки (*Euxoa islandica* Stgr., *E. tritici* L., *Agrotis exclamationis* L.), медведки (*Grylotalpa unispina* Sauss.), муравьи (*Lasius alienus* Foerst., *Chthonolasius exacutus* Ruz.) и др.

Некоторый интерес представляет одношипая медведка (*Gr. unispina* Sauss.), которая за последние годы наблюдалась в большом количестве и приносила заметный вред огородным культурам в Тюменской области.

Средне- и высокостолбчатые солонцы населяют *Agriotes sputator* L., *Selatosomus latus* F., *Amphimallon solstitialis* L., *Myrmica lacustris* Ruz., *M. sulcinodis* Nyl. и некоторые другие виды. На корковых солонцах, покрытых одиночными растениями сведы приморской (*Suaeda maritima*), из шелкунов удавалось находить лишь *Agriotes sputator* L., а из муравьев — *Myrmica lacustris* Ruz. По всей вероятности, последние по сравнению с другими видами более солевыносливы.

Степи в Западной Сибири простираются южнее 55° с. ш. Они тянутся от южных склонов Уральских гор до Алтая. Фрагменты степного

ландшафта встречаются также восточнее Салаира. К ним относятся степи Кузнецкой, Хакасско-Минусинской и Тувинской котловин. Почвы степей Западной Сибири представлены маломощными южными черноземами, легкими и светло- и темно-каштановыми разностями. Степи отличаются более сухим, резко континентальным климатом. Влажность почвы в летнее время на пахотных землях держится обычно на уровне 45—50% от полной влагоемкости.

Почвы степного ландшафта населяют многие группы насекомых. Особенно часто там встречаются шелкоуны (*Selatosomus latus* F., *S. spretus* Mannh., *Agriotes sputator* L., *Cardiophorus atramentarius* Er.), чернотелки (*Opatrum sabulosum* L., *Pedinus femoralis* L., *Blaps* sp. и др.), пластинчатоусые (*Amphimallon solstitialis* L., *A. altaicus* Mannh., *Anisoplia agricola* Poda, *A. campicola* Men. и др.), перепончатокрылые (особенно *Formicidae*: *Lasius alienus* Foerst., *Chthonolasius carniolicus* Mayr, *Myrmica sulcinodis* Nyl.), долгоносики (*Tanyecus palliatus* F., *Bothynoderes joveicollis* Gebl., *Both. punctiventris* Germ., *Chromoderus fasciatus* Müll., *Chr. declivis* Ol., *Siton* sp. и др.), усачи (*Eodorcadion carinatum* F.), карабиды (*Carabus bessarabicus* Fisch-W., *C. sibiricus* Fisch-W., *C. gebberi* Fisch-W., *C. vladimirskii* Dej., *Cymindis rufipes* Gebl., *C. faldermanni* Chaud., *Harpalus erosus* Mannh. и др.), подгрызающие совки (*Agrotis vestigialis* Rott., *A. ripae* Hb., *Protexarnis squalida* Gn., *Euxoa centralis* Stgr., *E. basigramma* Stgr., *E. deserta* Stgr., *E. recussa* Hb., *E. varia* Alph., *E. tritici* L.) и многие другие.

Следует отметить, что энтомофауна степей Хакасско-Минусинской котловины значительно отличается, с одной стороны, от энтомофауны степей Кузнецкой котловины и, с другой, — от энтомофауны степей Тувинской котловины. Так, в почвах Кузнецкой котловины среди шелкоунов преобладают *Agriotes sputator* L., *Selatosomus latus* F., *S. spretus* Mannh., среди усачей — *Eodorcadion carinatum* F. В степных почвах Хакасско-Минусинской котловины преобладающими видами являются: среди шелкоунов — *Selatosomus spretus* Mannh., *Cardiophorus atramentarius* Er., *Paracardiophorus musculus* Er., среди усачей — *Eodorcadion carinatum* F., *E. quinquevittatum* Hamn. Но здесь отсутствуют *Selatosomus latus* F. и *Agriotes sputator* L. В степях Тувинской котловины эта разница в энтомофауне обнаруживается более резко. Там почву во множестве населяют *Eodorcadion tuvense* Plav., *E. lutshniki* Plav., *Brahmina agnella* Fald. и некоторые другие виды, которые в степях Кузнецкой и Хакасско-Минусинской котловин не найдены и, по-видимому, там отсутствуют.

Горно-лесной пояс располагается на юго-востоке Западной Сибири, занимая Алтае-Саянскую складчатую систему. Лесообразующими породами в пределах горно-лесного пояса являются лиственница сибирская, ель, пихта сибирская, кедр сибирский, частично сосна и береза. Южные склоны гор во многих случаях не облесены, покрыты степными растительными ассоциациями. Почвы представлены суглинистыми подзолами. На южных склонах преобладают сухие хрящеватые почвы с выступающими на поверхности каменными породами, нередко образующими россыпи. Климат горно-лесного пояса сравнительно влажный, холодный.

Энтомофауна, населяющая почвы этого пояса, преимущественно лесного происхождения. Основными компонентами почвообитающей энтомофауны горно-лесного пояса являются шелкоуны (*Corymbites cupreus* F., *C. boeberi* Germ., *Selatosomus melancholicus* F., *S. aeneus* L. — под пологом леса и на лесных полянах, *Selatosomus altaicus* Eschz., *S. spretus* Mannh., *Cardiophorus atramentarius* Er. — на южных остепненных склонах гор, *Selatosomus affinis* Payk — на лугах), хрущи (*Melolontha hippocastani* F., *Hoplia aureola* Pall., *Homaloptia hirta* Gebl. — под пологом

леса и на лесных полянах, *Maladera holosericea* Scop., *Serica brunnea* L., *Amphimallon solstitialis* L., *A. altaicus* Mannh. — на южных склонах гор и на суходольных лугах), чернотелки (*Opatrum sabulosum* L., *Pedinus femoralis* L. — на южных склонах гор), усачи (*Eodorcadion carinatum* F. — на южных склонах гор), карабиды (*Carabus tuberculatus* Dej., *C. massagetus* Motsch., *C. aeruginosus* Fisch-W., *C. mandibularis* Fisch-W., *Harpalus obtusus* Gebl. — на лесных полянах и на южных склонах гор), муравьи (*Camponotus herculeanus* L., *Formica rufa* L. — под пологом леса и на лесных полянах, некоторые виды *Chthonolasius* и *Myrmica* — на южных склонах гор), комары долгоножки (*Tipula juncea platyglossa* Al., *Flabellifera fastuosa* Lw., *Tipula quadrivittata* Staeg. — на лесных полянах) и т. д.

Горно-альпийский пояс занимает высокогорное плато и водоразделы, возвышается над уровнем моря на 2000 м и более. В пределах этого пояса располагаются альпийские луга, мохово-кустарниковая тундра, гольцы, бодота, лиственничные и кедровые редколесья. Почвы суглинистые, хрящеватые, с выступающими каменными породами, которые на гольцах образуют россыпи. Вечная мерзлота залегает местами на глубине до 1 м и более. Климат холодный.

Почвы этого пояса населяют шелкоуны (*Selatosomus rugosus* Germ., *S. affinis* Payk., *Hypnoidus depressus* Gebl., *H. hyperboreus* Gyll., *H. rivularius* Gyll., *H. riparius* F. и др.), карабиды (*Carabus massagetus* Motsch., *Nebria mellyi* Gebl.), комары долгоножки (*Tipula subexcisa* Lund., *T. hirticeps* Sav., *T. stackelbergiana tundrensis* Al., *T. middendorffi* Lack., *T. quadrivittata* Staeg., *T. trispinosa* Lund., *Flabellifera fastuosa* Lw.) и другие. Однако энтомофауна горно-альпийского пояса бедна, там отсутствуют чернотелки, хрущи, усачи рода *Eodorcadion* и т. д.

Подводя итог исследованиям распространения фауны почв Западной Сибири, можно сказать следующее. Энтомофауна различных почв в различных ландшафтных зонах неоднородна. Отдельные группы насекомых (*Elateridae*, *Carabidae* и т. д.) встречаются во всех ландшафтных зонах, но видовой состав их при этом меняется значительно. Так, шелкоуны (*Elateridae*) распространены от полярной тундры до горно-альпийского пояса включительно. Однако среди них нет ни одного вида, который встречался бы во всех ландшафтных зонах. Одни виды (*Selatosomus latus* F., *Agriotes sputator* L.) во множестве живут в степной зоне, по мере удаления от нее в глубь лесостепей постепенно реддеют, наконец, в пределах равнинной тайги и горно-лесного пояса исчезают. Другие виды (*Selatosomus aeneus* L., *Agriotes obscurus* L.) в большом количестве населяют зону тайги и горно-лесной пояс, реже наблюдаются в лесостепной зоне, а в пределах степной зоны исчезают или встречаются единично. Кроме того у одних и тех же видов в различных ландшафтных зонах, в различные по осадкам годы, меняется не только численность населения, но и поведение. Так, *Selatosomus latus* F. в обычные по осадкам годы в степях Кулунды заселяет равнинные и возвышенные участки, а также отдельные впадины и лощины. На юге таежной и на севере лесостепной зоны в те же годы он селится только на южных, более прогреваемых склонах. Майский хрущ (*Melolontha hippocastani* F.) в ленточных борах Кулунды и на юге лесостепной зоны в обычные по осадкам и особенно в засушливые годы селится под пологом леса, а во влажные дождливые годы он там нередко заселяет открытые пространства, граничащие с лесом.

Фауна насекомых (и беспозвоночных животных в целом) почв Западной Сибири многообразна, обладает густым населением и имеет огромное значение в круговороте веществ. Она существенно влияет

на почвообразовательные процессы. Однако изучение этой фауны в Сибири находится в зачаточном состоянии. Многие группы насекомых (*Collembola*, некоторые семейства *Diptera*, *Hymenoptera* и т. д.) не изучены совершенно. В ближайшие годы целесообразно развернуть более широкие исследования почвообитающей фауны Сибири.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
20/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Gebler, Notae et addidamenta ad catalogum Coleopterorum Sibiriae occidentalis et confinis Tatarie. Ledebour's Reise in das Altaigebirge und die Songorische Kirgisiensteppe, II, 1830.
2. F. Gebler, Verzeichniss der im Kalywano-Wosnisenskischen Hüttenbezirke Süd-West Sibiriens Beobachteten Käfer mit Bemerkungen und Beschreibungen. Bullet. Soc. Nat. Moscou, XX, IV, 1847.
3. F. Gebler, Coleopterorum species novae, a Dr. Schrenk in deserto Kirgisio-Songorico anno 1843 detectae. Bullet. Soc. Nat. Moscou, XXXIII, № 3, 1860.
4. L. Heyden, Catalog der Coleopteren von Sibirien. Berlin, 1880—1881.
5. E. Reitter, Übersicht der mir bekannten Elater-Arten der paläarktischen Fauna. Entomologische Nachrichten, XV, № 7—8, 1889.
6. E. Reitter, Bestimmungs-Tabelle der paläarktischen Eläter-Arten (Coleoptera). Wiener Entomol. Zeitung, XXXVII, 1918.
7. E. Csiki, Coleopteren. In Zichy, Dritte asiatische Forschungsreise des grafen Zichy, II, Budapest—Leipzig, 1901.
8. J. Sahlberg, Coleoptera mediterranea et rossoasiatica nova et minus cognita, maxima ex parte itineribus annis 1895—1896 et 1898—1899 collecta. Öfversigt af Finska Vet.-Soc. Förhandlingar, XLV, № 10, 1902—1903.
9. А. И. Яковлев, Перечень насекомых, собранных Н. Н. Ширяевым в окрестностях Петропавловска Акмолинской области в 1897—1898 гг. Тр. Рус. энтомолог. об-ва, XXXIV, № 3—4, 1900.
10. Г. Г. Яковсон, Жуки России и Западной Европы. СПб, 1905—1916.
11. М. Ю. Колосов, Заметки о насекомых Тобольской губернии. Зап. Уральского об-ва любит. естествознания, XXXIV, вып. 1—2, 1914.
12. М. Ю. Колосов, Материалы к познанию энтомофауны Урала. Зап. Уральского об-ва любит. естествознания, XXXIX, Свердловск, 1924.
13. W. Wnukowski, Verzeichnis der Coleopteren des Bezirkes Kusnezsk. (Südwestliches Sibirien, früheres Gouvernement Tomsk). Zeitschrift des Oesterreichischen Entomologen-Vereines, Wien, № 8, 12, 1927.
14. W. Wnukowski, Beiträge zur Coleopteren-Fauna der Bezirkes Atchink und Nowo-Nikolaewsk (West-Sibirien). Zoologische Zeitschrift, XXXXI, № 19, 21, Frankfurt, 1928.
15. W. Wnukowski, Coleopteren, gesammelt in dem Bezirk Kamenj (West-Sibirien). Zoologischer Anzeiger, LXXXVI, 7/10, Leipzig, 1928.
16. Е. Г. Родд, Майский жук и меры борьбы с ним. ОГИЗ, Москва — Иркутск, 1932.
17. О. П. Гольцмайер, Борьба с майским хрущом. Новосибирск, 1951.
18. О. П. Гольцмайер, Майский хрущ (*Melolontha hippocastani* F.) в лесостепной части Новосибирской области. Автореф. дисс., Новосибирск, 1956.
19. О. П. Гольцмайер, О влиянии засухи на снижение численности и вредности восточного майского хруща. IV съезд Всес. энтомолог. об-ва, тез. докл., М.-Л., 1959.
20. П. И. Шумакова, Июньский хрущ как вредитель злаковых культур на Алтае. Тр. Алтайской краевой станции защиты растений, № 1, Барнаул, 1949.
21. И. Ю. Месоед, Н. Н. Егоров, Наиболее распространенные вредные насекомые и грибы ленточных боров. Тр. Лебяжинской ЗОНЛОС, вып. 1. Гослестехиздат, Свердловск-Москва, 1934.
22. С. И. Медведев, Жесткокрылые, пластинчатоусые (*Scarabaeidae*). Фауна СССР, т. X, вып. 1—3, 1949—1956.
23. А. И. Черепанов, Материалы к фауне жуков-дровосеков Тувинской автономной области. Зоол. журн., т. XXXI, вып. 2, 1952.
24. А. И. Черепанов, Вредные насекомые ползающих лесных полос. Новосибирск, 1952.
25. А. И. Черепанов, Насекомые Тувинской автономной области. Тр. Биол. ин-та Зап.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 1, Новосибирск, 1956.
26. Г. И. Галкин, Монгольский дневной хрущик (*Brahmina agnella* Fald.) в Тувинской автономной области. Сиб. науч.-иссл. ин-т лесного хозяйства. Красноярск, 1958.
27. Г. И. Галкин, Лохматый хрущик (*Lachnota henningi* Fisch.) в Балгазинском бору Тувинской автономной области. Тр. Сиб. лесотехнич. ин-та, сб. XXI, вып. III, Красноярск, 1958.
28. А. И. Масайтис, К изучению щелкунов Сибири. Изв. Краевой станции защиты растений от вредителей, № 2(6), Томск, 1927.
29. А. И. Масайтис, Материалы по фауне и биологии щелкунов в Сибири. Изв. Сиб. краевой станции защиты растений от вредителей, № 3(6), Томск, 1929.
30. А. И. Масайтис, Материалы по морфологии личинок *Selatosomus spretus* Mannh. Защита растений, VIII, № 3, Л., 1931.
31. В. М. Поспелова, К изучению проволочных червей Томского района Западно-Сибирского края. Итоги науч.-иссл. работ ВИЗР за 1936 г., ч. I, Л., 1937.
32. В. М. Поспелова, Материалы по изучению проволочных червей в Томском районе. Защита растений, № 18, Л., 16—136, 1939.
33. В. М. Поспелова, К изучению щелкунов рода *Elater* L. Заметки по фауне и флоре Сибири, вып. III, Томск, гос. ун-т, Томск, 1940.
34. В. М. Поспелова, Вредители овощных культур Томского района. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 97, Томск, 1946.
35. В. М. Поспелова, Распределение вредных щелкунов в Западной Сибири. Заметки по фауне и флоре Сибири, вып. 13, Томск, гос. ун-т, Томск, 1949.
36. В. М. Поспелова, Стационарное распределение щелкунов в районе Томска. Уч. зап. Томск. гос. ун-та, № 21, Томск, 1954.
37. В. М. Поспелова, Щелкуны лесной зоны Западной Сибири. Тр. Томск. гос. ун-та, Томск, 1956.
38. А. И. Черепанов, Материалы об энтомофауне сельскохозяйственных растений Тувы. Изв. Зап.-Сиб. фил. АН СССР, сер. биол. т. 4, вып. 1, зоологический, 1951.
39. А. И. Черепанов, Жуки-щелкуны Западной Сибири. Новосибирск, 1957.
40. В. А. Верещагин, Итоги исследовательских работ СибНИИЗХОЗа в области защиты растений. В сб. Итоги научно-исследовательских работ в области агро-техники и защиты растений, Сиб. науч.-иссл. ин-т, зерн. хоз., Омск, 1935.
41. Ю. Ф. Левчук, *Elateridae* Красноярского округа. Тр. Зоол. секции Средне-Сиб. гос. географ. об-ва, Зоолог. сб., вып. 1, Красноярск, 1930.
42. А. И. Давыдов, Фауна насекомых, вредящих сельскохозяйственным культурам, в северных районах Томской области. Тр. Нарымской гос. селекц. станции, вып. 1, Колпашево, 1946.
43. И. М. Ярмоленко, Насекомые, вредящие сахарной свекле в Западной Сибири и мероприятия по борьбе с ними. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 131, 1955.
44. И. М. Ярмоленко, Насекомые-вредители зерновых культур Алтайского края и борьба с ними. Тр. Томск. гос. ун-та, т. 131, 1955.
45. Б. П. Уваров, Саранчевые европейской части СССР и Западной Сибири. Изд. ОЗГА Наркомзема, М., 1925.
46. Р. П. Бережков, К фауне кобылок (*Acridodea*) Томской губернии. Защита растений, № 11, 1925.
47. Р. П. Бережков, Саранчовые Западной Сибири. Томск, 1956.
48. Н. Н. Плавильщиков, Жуки-дровосеки. Гослестехиздат, М., 1932.
49. Н. Н. Плавильщиков, Жесткокрылые, жуки-дровосеки. Фауна СССР, т. XXIII, вып. 1, ч. 3, 1958.
50. В. Д. Кожанчиков, Материалы к фауне чешуекрылых Минусинского края (Сибирь, Енисейская губ.). Ежегодник гос. музея им. Мартьянова, вып. 1—5, Минусинск, 1923—1927.
51. И. В. Кожанчиков, Совки подсемейства *Agrotinae*. Насекомые чешуекрылые. Фауна СССР, том XIII, вып. 3. М.-Л., 1937.
52. И. В. Кожанчиков, Видовой состав, особенности биологии и географическое распространение вредных подгрызающих совок в СССР. Сб. работ ин-та прикл. зоол. и фитопатологии, вып. 4, М.-Л., 1956.
53. Р. П. Бережков, Заметки о вредных сибирских насекомых. Тр. Биол. науч.-иссл. ин-та Томск. гос. ун-та, т. IV, 1937.
54. В. М. Поспелова, Совка (*Rhyacia fennica* Tausch.) как вредитель овощных культур. Защита растений, № 6, 1934.
55. М. Хлебникова, Пшеничная совка (*Agrotis tritici* L.) как вредитель культурных крестоцветных в Западной Сибири. Защита растений от вредителей и болезней, т. 3, № 4—5, Л., 1926.
56. Г. С. Золотаренко, Материалы о биологии подгрызающих совок (*Agrotinae*) Ачинской лесостепи. X отчетная сессия ЗСФАН СССР, тез. докл., Новосибирск, 1956.

57. Г. С. Золотаренко, К биологии подгрызающих совок в подтаежной полосе Томской области. VII науч. конф. ТГУ, тез. докл., Томск, 1957.
58. Г. С. Золотаренко, Биотопическое размещение подгрызающих совок в подтаежной и лесостепной полосе Западной Сибири. Совещ. зоологов Сибири, тез. докл., Новосибирск, 1957.
59. Г. С. Золотаренко, Некоторые *Heterocera (Macrolepidoptera)* Верхнего Приобья и их биотопическое размещение. IV съезд Всес. энтомолог. об-ва, тез. докл., ч. 1, М.-Л., 1959.
60. Г. С. Золотаренко, К экологии совки *Eurois occulta* L. (*Lepidoptera Agrotinae*) в Западной Сибири. Тр. Биол. ин-та СО АН СССР, вып. 5, Новосибирск, 1959.
61. М. Д. Рузский, Систематический список муравьев, водящихся в Сибири. 1. Обзорные виды из родов *Camponotus (s. ext.)* и *Formica (s. str.)*. Изв. Томск. гос. ун-та, 76, Томск, 1926.
62. М. Д. Рузский, Муравьи Томской области и сопредельных местностей. Тр. Томск. гос. ун-та, 97, Томск, 1946.
63. Л. П. Нестерова, Энтомологическая оценка новых методов обработки почвы в условиях Западной Сибири. Десятая отчетная научная сессия Зап.-Сиб. фил. АН СССР, секция зоологии, тез. докл. Новосибирск, 1956.
64. С. Г. Бобинская, Энтомологическая оценка обработки почвы по системе Т. С. Мальцева. Защита растений от вредителей и болезней, 5, М., 30—33, 1956.
65. Н. М. Воскресенский, О факторах, влияющих на численность вредителей сельскохозяйственных культур. Тр. Курганского с.-х. ин-та, вып. 3, Курган, 1956.
66. Б. Г. Шуравенков, Влияние агротехники на снижение численности проволочников. Защита растений от вредителей и болезней, № 2, 1956.
67. И. В. Стебаев, Почвенные беспозвоночные Салехардских тундр и изменение их группировок под влиянием земледелия. Зоол. журн., т. 38, вып. 10, 1959.
68. Ю. П. Александров, Обзор развития главнейших вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в 1951 году и прогноз их появления в 1952 году в Алтайском крае. Алтайское краевое упр. с. х., Барнаул, 1952.
69. Ю. П. Александров, П. И. Шумакова, Ф. П. Шевченко, Прогноз появления главнейших вредителей и заболеваний сельскохозяйственных культур в Алтайском крае в 1957 году и мероприятия по борьбе с ними. Алтайское краевое упр. с. х., Барнаул, 1957.
70. Ю. П. Александров, Е. К. Буряхина и др., Прогноз появления главнейших вредителей и заболеваний сельскохозяйственных культур в Алтайском крае в 1958 г. и мероприятия по борьбе с ними. Алтайское краевое упр. с. х., Барнаул, 1958.
71. Ю. П. Александров, П. Г. Алиновский и др., Прогноз появления главнейших вредителей и заболеваний сельскохозяйственных культур в Алтайском крае в 1960 г. и мероприятия по борьбе с ними. Алтайское краевое упр. с. х., Барнаул, 1960 г.

Н. Г. КОЛОМИЕЦ

ХОЛОДОСТОЙКОСТЬ ГУСЕНИЦ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В МЕСТАХ ИХ ЗИМОВКИ

Большая часть ареала сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) находится в местностях, характеризующихся суровыми холодными зимами. Зимовка вредителя происходит на стадии гусеницы. В случае смешанной генерации на зимовке встречаются гусеницы всех возрастов, кроме первого. При двухлетней генерации первый раз зимуют гусеницы во втором и третьем возрастах, второй раз, достигнув пятого возраста. Поскольку поколения шелкопряда чередуются, то на зимовке обычно встречаются гусеницы обоих поколений.

Места зимовки гусениц весьма разнообразны. Излюбленным местом укрытия гусениц являются участки почвы, покрытые зелеными мхами Шребера, головчатого и некоторых других. В заболоченных лесах Западно-Сибирской низменности, спасаясь от сырости, гусеницы зимуют на вершинах кочек и валежнике, поросшем мхами. Гусеницы встречаются так же в лесной подстилке из опавшей хвои и других органических остатков. Если слой лесной подстилки невелик, гусеницы забираются в углубления почвы.

Угнетающее действие пониженных температур на гусениц можно наблюдать в лесу уже в конце августа. При температуре воздуха 10—12° С гусеницы становятся малоподвижными и прекращают питание. В это время они освобождаются от остатков пищи и вступают в состояние глубокого физиологического покоя — в состояние диапаузы, проходят «холодовую закалку».

Ночные сентябрьские заморозки до —6, —9° не являются губительными для гусениц, и гусеницы продолжают оставаться в кроне, хотя и не едят. Спускаются на зимовку они в конце сентября или начале октября и находятся в состоянии холодового оцепенения до конца апреля — пока в лесу температура почвы не повысится до 1°. Резкие весенние возвраты холодов до —5, —6°, как и осеннее похолодание до —9°, не страшны гусеницам. Еще И. В. Васильев [1] отмечал, что застигнутые морозом, они не погибают, так как выносливость их в этом отношении весьма велика.

Интересный факт сообщают А. Т. Бурдавицын, В. А. Дудин и Э. И. Майер [2]. При обследовании очагов сибирского шелкопряда в Парбигском лесхозе Томской области лесопатологи установили, что значительная часть гусениц зимовала не в подстилке, а в снегу. Объясняется это тем, что хвоя деревьев была объедена и гусеницы, испытывая недоедание, держались в кроне, где были застигнуты сильными снегопадами. 84% гусениц, зимовавших в снегу, оказались жизнеспособными.

Несомненно, что способность гусениц перезимовывать в различных условиях влажности, строения почвы, глубины залегания, характера рельефа и особенностей формирования снежного покрова раз-

лична и в значительной мере определяет ареал шелкопряда и зону его массового размножения. Решение этой задачи требует определения, по крайней мере, двух предельных величин — холодостойкости гусениц, т. е. их способности к выживанию в условиях длительной переохлаждения жидкостей организма, и самих условий в природе, т. е. предельных температурных условий непосредственно в месте залегания гусениц.

Мы подошли к решению вопроса путем экспериментального изучения холодостойкости гусениц и полевого изучения зависимости минимальной температуры почвы на глубине залегания гусениц от минимальной температуры воздуха, характера надпочвы и высоты снежного покрова. Технические затруднения не позволили нам исследовать вопрос о том, от чего погибает насекомое, достигнув точки смерти, т. е. расшифровать изменения в организме и их значение в сохранении или потере жизнеспособности.

Холодостойкость гусениц

Приступая к изучению холодостойкости гусениц сибирского шелкопряда, мы пытались установить нижние температурные границы их жизни. Для этого был применен термоэлектрический метод, которым широко пользовались П. И. Бахметьев [3], Н. И. Калабухов [4], Л. К. Лозина-Лозинский [5, 6], Г. А. Пантюхов [7] и другие исследователи. В качестве термопары применялся спай тонкой проволоки молибдена и никеля. Провода термопары сваривались на конце в виде иглы такой длины, что спай полностью погружался в кишечник гусеницы. В качестве нулевого спаия применялся тающий снег с водой. Указателем величины термотока служил милливольтметр типа М-95, отградуированный для измерения температуры от 0 до -22° в Институте радиофизики и электроники СО АН СССР.

Для охлаждения объектов мы пользовались криогидратным раствором 28,9% хлористого натрия (смесь льда и поваренной соли) с точкой замерзания $-21,2^{\circ}$. Криоскоп состоял из сосуда Дюара с криогидратом, закрытого корковой пробкой, через которую пропусклась пробирка с объектом и термопарой, заключенной в тонкую керамическую трубку.

Материалом для исследования служили оцепеневшие гусеницы сибирского шелкопряда пятого возраста, собранные в местах зимовки в лиственных лесах Тувинской автономной области и хранившиеся в стеклянных термосах в холодильнике вместе с субстратом, в котором они находились в лесу*. Размер гусениц позволял вводить термоиглу в заднюю кишку, не вызывая ранений. Физиологическое состояние гусениц пятого возраста можно характеризовать следующими данными. В организме живой гусеницы 69,5% воды. При расчете на абсолютно сухое вещество в нем с осени содержится 9,4% азота, 11,1% клетчатки, 8,99% смолистых веществ, 4,5% редуцирующих веществ после гидролиза, 5,8% золы и 41,2% жира к весу сухого вещества.

Реакция гусениц сибирского шелкопряда на явления замерзания и переохлаждения исследована на 76 личинках.

Начало замерзания воды в организме фиксировалось наличием температурного скачка с короткой остановкой на точке замерзания (рис. 1) либо остановкой без скачка с последующим медленным понижением температуры. Скачок температуры тела объясняется выделением скрытой теплоты при замерзании жидкости в организме. Из исследо-

* В сборе материалов для настоящей статьи принимала участие Т. И. Нальяева.

ванного количества гусениц у 55 особей наблюдался температурный скачок, у остальных гусениц — только короткая остановка температуры. Результаты измерения температуры переохлаждения и замерзания гусениц представлены в табл. 1.

В начале зимы, когда минимальные температуры субстрата в месте зимовки не превышали -12° , гусеницы обнаруживали сравнительно

Таблица 1
Опыты по определению температурного скачка у гусениц сибирского шелкопряда

Температура, $^{\circ}\text{C}$		Температура, $^{\circ}\text{C}$	
переохлаждения	замерзания	переохлаждения	замерзания
В начале зимы			
-10,8	-5,8	-11,8	-6,4
-5,8	-3,6	-14,0	-13,5
-10,2	-5,3	-10,2	-6,6
-8,4	-5,1	-9,2	-7,3
-9,8	-3,6	-8,0	-4,3
-9,2	-4,6	-8,9	-6,4
-7,0	-4,0	-11,8	-8,4
-7,6	-4,0	-10,6	-9,2
-7,3	-3,3	-14,2	-10,2
-10,2	-7,3	-13,7	-10,8
-9,8	-4,3	-15,0	-12,0
-9,8	-4,0	-13,5	-11,2
-9,2	-5,8	-14,2	-11,0
-10,4	-8,0	-13,0	-10,6
-10,4	-8,6	-12,1	-9,4
-7,0	-3,3	-12,0	-10,0
-6,1	-3,0	-13,0	-11,2
-8,6	-5,6	-8,2	-5,0
-7,6	-5,3	-5,8	-4,0
-10,6	-8,2	-3,6	-2,5
-13,9	-9,0	-7,0	-4,6
-12,3	-9,8	-10,8	-8,2
-13,2	-9,6	-9,8	-5,0
-12,3	-8,4	Ср. арифм. -10,2	-7,0
В середине зимы			
-15,5	-14,0	-18,4	-16,5
-10,4	-8,4	-18,0	-16,5
-9,2	-7,6	-20,2	-18,0
-11,0	-9,2	-16,8	-15,5
		Ср. арифм. -14,9	-13,2

невысокую холодостойкость. При постепенном понижении температуры в месте зимовки до -16 , -18° эти свойства гусениц значительно повышались. Если в начале зимы переохлаждение гусениц зарегистрировано при $-14,2^{\circ}$, то в середине зимы оно отмечено при $-20,2^{\circ}$. Соответственно температура замерзания понизилась от -12 до -18° .

В табл. 2 представлены результаты математической обработки по А. А. Сапегину [8] и А. И. Федорову [9].

Значение среднего квадратического отклонения, как и других статистических показателей, характеризующих изучаемые совокупности, указывает на значительную изменчивость показателей обоих явлений, особенно температуры замерзания гусениц в начале зимы.

Таблица 2

Результаты математической обработки опытов по определению температурного скачка у гусениц сибирского шелкопряда

Показатели	В начале зимы		В средние зимы	
	при темпер. переохлаждения	при темпер. заморозания	при темпер. переохлаждения	при темпер. заморозания
Количество измерений n	47	47	8	8
Среднее арифметическое M	-0,2	-7,0	-14,9	-13,2
Квадратическое отклонение $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}$	2,6	2,7	3,7	3,8
Средняя ошибка $m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0,39	0,40	1,3	1,3
Коэффициент вариации $C_v = \frac{100\sigma}{M} \%$	25,4	39,6	24,8	28,8
Степень надежности среднего $t = \frac{M}{n}$	26,2	17,5	11,5	9,4
Показатель точности исследования $p = \frac{100m}{M} \%$	3,8	5,7	8,7	9,9

Анализируя данные табл. 2, можно видеть, что найденные средние величины во всех вариантах измерения являются вполне надежными, а величина коэффициента степени надежности среднего свидетельствует об относительной выравненности условий измерения.

* Цифровые данные не имеют абсолютного значения. Они говорят о том, что понятие минимальной температуры для жизни гусениц сибирского шелкопряда весьма непостоянно. Одинаковые по макроскопическим признакам гусеницы при одной и той же температуре могут выжить, но могут и погибнуть. Зимние гусеницы более холодоустойчивы и погибают при значительно более низких температурах, чем осенние.

Дополнительные опыты по определению точки заморозания гусениц показали, что большинство из них зимой переносит до $-18,2^\circ$, многие остаются живыми при охлаждении до -21° . Вторичное охлаждение в большинстве случаев также вызывает скачок, почти равный первому. Помещенные в тепло гусеницы после вторичного скачка оживали. При понижении температуры тела после второго скачка до температуры переохлаждения почти всегда наступала смерть.

В 21 случае не был зарегистрирован скачок. Температура тела гусениц медленно понижалась от 0 до -21° . Гусеницы, внесенные в тепло после охлаждения до -18° , оживали, при более низких температурах погибали.

Таким образом, мы установили, что питающиеся гусеницы сибирского шелкопряда переохлаждаются до $-5, -6^\circ$ и, следовательно, подобные температуры для основной их массы не являются смертельными. Гусеницы с освобожденным кишечником более холодоустойчивы и способны переохлаждаться до -9° .

В переохлажденном состоянии гусеницы выносят низкие температуры, но степень переохлаждения варьирует в зависимости от периода зимовки. Холодоустойчивость гусениц зимой выше, чем осенью.

Зимующие гусеницы шелкопряда могут переохлаждаться до -21° , однако температура ниже $-18,2^\circ$ в начале зимовки вызывает гибель основной массы переохлажденных гусениц.

Температурный режим поверхностного слоя почвы в зимний период

Большая часть гусениц шелкопряда зимует на самой поверхности почвы, и, естественно, важнейшим фактором внешней среды, который влияет на них в зимний период, является отрицательная температура почвы.

Для нормальной перезимовки вредителя, как мы видели из результатов исследования морозостойкости гусениц, необходима определенная температура почвы не ниже -18° . Исходя из этого, для характеристики условий перезимовки гусениц большое значение имеют абсолютные минимумы температуры почвы в месте залегания гусениц. Этот вопрос, однако, совершенно не затрагивался исследователями экологии сибирского шелкопряда. Такое положение вызвано отсутствием биологической станции с круглогодичной программой наблюдений в тайге и трудностями полевой работы в зимних условиях, особенно если иметь в виду, что очаги массового размножения сибирского шелкопряда, как правило, удалены от населенных пунктов.

Наше исследование было начато в 1958 г. в Туранском лесхозе Тувинской автономной области. Местом наблюдения служил очаг шелкопряда на горе Хойбар, легко достигаемый в любое время из города Турана. В городе, расположенном у подножья горы, имеется гидрометеорологическая станция с круглосуточной программой наблюдений. При участии ее сотрудников были организованы систематические наблюдения над температурным режимом поверхности почвы. Измерения проводились при помощи минимальных термометров, помещенных в коробки системы Н. П. Низенькова, на разных участках лесной почвы: на участке с покровом из мха Шребера и на участке с лесным разнотравьем без мохового покрова.

Зима 1958—1959 гг. была по местным условиям мягкой и малоснежной. Следующая зима выдалась очень суровой и средней по высоте снежного покрова. Благодаря этому в течение двух зим удалось получить ряды измерений минимальной температуры поверхности почвы при естественном ходе температур воздуха и возрастающей толщине снежного покрова, что позволяет судить о температурном режиме в местах зимовки гусениц шелкопряда.

Анализируя ход абсолютных минимумов температуры воздуха и поверхности почвы под мхом и над лесной подстилкой из трав, можно отметить, что до установления снежного покрова мощностью 20—22 см колебания температуры почвы хорошо согласуются с колебаниями температуры окружающего воздуха. Наибольшего охлаждения почва достигает в середине января. Разница абсолютных минимумов температуры воздуха и почвы под снежным покровом составляет 20—30°, а подо мхом еще больше. На участке с моховым покровом даже в периоды с резким и длительным похолоданием ход температуры был более сглаженным, чем на участке с разнотравьем. При мощности снегового покрова названной выше величины, как отмечали А. М. Шульгин [10] в Алтайском крае, В. Прутт [11] в лесотундре Аляски, О. П. Олисова [12] в средней части Красноярского края и Р. С. Ушатинская [13] в Московской области, ход температуры поверхности почвы хотя и остается медленным, но за температурой воздуха следует медленно. Таким образом, гусеницы шелкопряда, зимующие на самой поверхности почвы, в зимний период находятся в условиях сравнительно стабильной температуры.

Рис. 1 иллюстрирует зависимость минимальной температуры поверхности почвы от минимальной температуры воздуха и высоты снежного покрова на участке, покрытом лесным разнотравьем без мхов. Наши данные о температурном режиме почвы этого участка совпадают с данными А. И. Шульгина о температурном режиме почвы под стерневыми посевами.

На рис. 2 показана та же зависимость на участке леса с моховым покровом, а также эффективность самого мохового покрова как температурного изолятора.

Понижение температуры под мхом в течение зимы составляет только -18° , в то время как температура воздуха понижается до -48° .

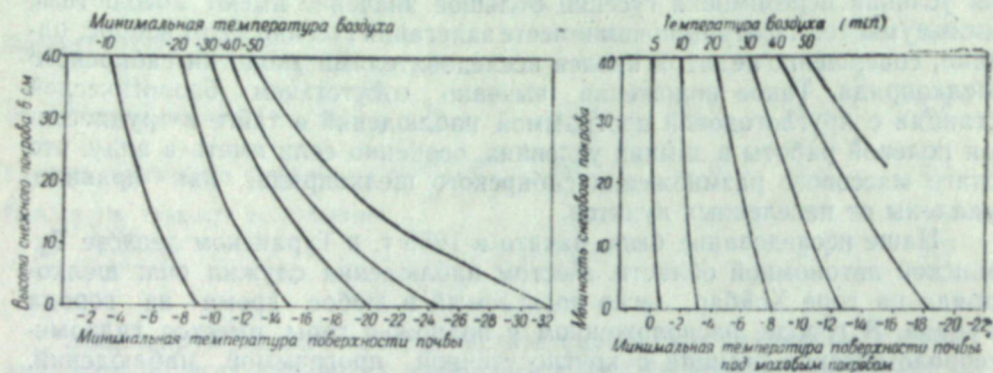


Рис. 1.

Рис. 2.

Приведенные графики дают представление о температурном режиме под снегом в двух крайних условиях зимовки гусениц. На малом участке леса этот режим остается сравнительно постоянным, чего нельзя сказать о большом участке леса. Снежный покров в лесу редко бывает однородным по глубине и обычно прерывается чашеобразными углублениями около основания деревьев. Глубина снега возрастает от небольшой у комля дерева до значительной у конца ветвей. Температурный режим у основания дерева поэтому более холодный и неустойчивый, чем за пределами воронкообразных углублений.

Влажность тоже важна для зимующих гусениц. Наличие застойной воды в период таяния снега, а также низкая относительная влажность воздуха губительны для гусениц. В экспериментальных условиях при температуре -1° и относительной влажности 75—100% подопытные гусеницы безболезненно перезимовали. При влажности 35—50% наблюдался массовый отпад гусениц, а при влажности 10—16% почти все гусеницы погибли. Влажность почвы под снежным покровом, как показали исследования О. П. Олисовой [12], в течение всей зимы остается довольно высокой и не подвержена резким колебаниям. Данные О. П. Олисовой совпадают с наблюдениями Бадера (см. [11]).

Таким образом, условия под мхом при снежном покрове в 20—22 см гарантируют благополучную зимовку гусениц при самых низких температурах воздуха, наблюдаемых в районах массового размножения сибирского шелкопряда.

Иное положение создается в морозный период на почве, лишенной мхов, особенно при отсутствии снежного покрова. Температура и влажность могут колебаться в широком диапазоне и достигать значений, смертельных для гусениц. Наиболее губительным для гусениц шелкопряда может оказаться сильное внезапное похолодание до установления снежного покрова.

Зимовка сибирского шелкопряда, как правило, проходит в среде, обеспечивающей хорошее укрытие даже от суровых сибирских морозов, и зимний отпад гусениц сибирского шелкопряда от вымерзания возможен только в травяных типах леса, от вымокания — в местах скопления талых вод, а в случае ухода на зимовку на сухую почву — от иссушения.

Морозостойкость теленомуса — паразита яиц шелкопряда

Наряду с холодостойкостью гусениц шелкопряда нами выяснялось влияние низких температур на яйцееда *Telenomus gracilis* Мауг (*Hymenoptera, Scelionidae*).

Крошечные размеры яйцеедов не позволяли измерить температуру тела с помощью термодары. Для выяснения морозостойкости теленомуса несколько тысяч наездников были помещены в сосуд Дюара и хранились в условиях естественного охлаждения (между оконными рамами). Температура окружающего воздуха контролировалась минимальным термометром.

После различной степени охлаждения наездники вносились в теплое помещение для оживления. Все самцы погибли уже при температуре $-4, -5^{\circ}$. Гибель самок началась при температуре $-7, -9^{\circ}$. Похолодание до -12° вызвало гибель 98% самок. После охлаждения до $-14,7^{\circ}$ оказались мертвыми все самки теленомуса. Гусеницы, хранившиеся в тех же условиях, совсем не пострадали.

Анализируя метеорологические условия, при которых протекало массовое размножение сибирского шелкопряда в Западной Сибири, мы установили [14], что зимний период, предшествующий вспышке, в течение ряда лет отличается малоснежностью и очень низкой температурой воздуха. Это дало нам повод к заключению, что одной из причин массового размножения шелкопряда в заболоченных лесах является увеличение в зоне дренирующего влияния рек площадей, пригодных для перезимовки гусениц. Сейчас становится очевидной еще одна причина массового размножения шелкопряда — вымерзание основного паразита в суровые малоснежные зимы. Начальный период вспышки складывается так, что условия для шелкопряда несколько зим подряд улучшаются, а условия для теленомуса остаются неблагоприятными. На это указывает и численность теленомуса в лесу. В период депрессии шелкопряда теленомус заражает до 80—85% яиц вредителя. В начале вспышки соотношение хозяина и паразита сильно смещается в сторону преобладания первого: теленомусом бывает заражено не более 10% яиц вредителя. Со временем это соотношение выравнивается, и в конце вспышки яйцееды играют решающую роль в регулировании численности шелкопряда.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что благодаря явлению переохлаждения основная масса гусениц сибирского шелкопряда переносит понижение температуры до $-18-20^{\circ}$. Более низкая температура оказывается для них губительной.

В зеленомошниковой группе типов леса под снежным покровом смертельные для гусениц температуры не наблюдаются. В травяной группе типов леса они могут быть и под снегом.

Периоды, предшествующие вспышкам размножения вредителя, характеризуются малоснежными суровыми зимами. В такие зимы, по видимому, происходит массовая гибель теленомуса, что создает условия для нарастания численности шелкопряда.

Поступила в редакцию
13/IV 1960

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Васильев, Шелкопряды сосновый и кедровый, их образ жизни, вредная деятельность и борьба с ними. Тр. бюро по энтомол., т. 7, вып. V, 1905.
2. А. Т. Бурдавицын, В. А. Дудин, Э. И. Майер, Трехлетний опыт борьбы с сибирским шелкопрядом. Томск, 1957.
3. П. И. Бахметьев, Итог моих исследований об анабиозе насекомых и план его исследования у теплокровных животных. Изд. АН, т. XVII, № 4, 1902.
4. Н. И. Калабухов, Материалы по изучению оцепенения (спячки, «анабиоза») у пчелы. Зоол. журн., XIII, № 4, 1933.
5. Л. К. Лозина-Лозинский, Холодостойкость гусениц лугового мотылька. Изд. науч.-иссл. ин-та им. Лесгарта, XIX, I, 1935.
6. Л. К. Лозина-Лозинский, Жизнеспособность и анабиоз при низких температурах у животных. Добавление в книге П. Ю. Шмидта «Анабиоз». Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.
7. Г. А. Пантюхов, Географическая изменчивость холодостойкости у некоторых насекомых. Зоол. журн., т. XXXV, 9, 1956.
8. А. А. Сапегин, Вариационная статистика, М., 1928.
9. А. И. Федоров, Методы математической статистики в биологии и опытно-де-ле. Казгосиздат, 1957.
10. А. М. Шульгин, Температурный режим поверхностных слоев почвы в зимний период на разных агрофонах в лесостепи Алтайского края. Тр. ЦИП, вып. 18 (45), Л., 1949.
11. W. O. Pruitt, Observation on the bioclimate of some tagia mammals, Arctic, vol. 10, № 3, 1957.
12. О. П. Олисова, Вопросы биологии прорастания семян кедрового сибирского. Тр. по лесн. хоз., вып. 3, Новосибирск, 1957.
13. Р. С. Ушатинская, Основы холодостойкости насекомых. Изд. АН СССР, М., 1957.
14. Н. Г. Коломиец, Сибирский шелкопряд — вредитель равнинной тайги. Тр. по лесн. хоз., вып. 3, Новосибирск, 1957.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

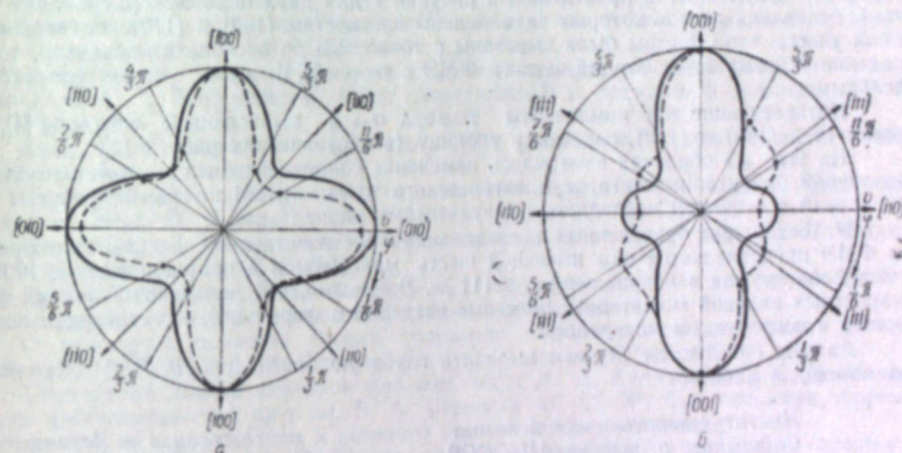
В. Н. ВЕРТОПРАХОВ, В. А. ПРЕСНОВ

ОБ АНИЗОТРОПИИ ПОПЕРЕЧНОГО ФОТОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА В ГЕРМАНИИ

Академиком И. К. Кикоиным был обнаружен и исследован [1] фотомагнитный эффект (ФМЭ). Им же было показано, что наряду с обычным фотомагнитным эффектом имеет место четный фотомагнитный эффект [2]. Сущность последнего заключается в том, что в освещенном образце, вырезанном в виде пластинки и помещенном в магнитное поле, направление которого составляет некоторый угол α с освещаемой поверхностью, наряду с разностью потенциалов, определяющей обычный ФМЭ, возникает поперечное (к обычному) электрическое поле, параллельное магнитному полю.

При $\alpha = 0$ четный ФМЭ должен исчезать. Однако экспериментальные исследования на монокристаллических образцах германия [3] показали, что он отличен от нуля при $\alpha = 0$ и обнаруживает резкую анизотропию. Указанная зависимость четного ФМЭ не укладывалась в рамки теории эффектов Кикоина—Носкова.

А. А. Гринберг [4] связывает это явление с анизотропией изменения сопротивления в магнитном поле. В работе [4] приведен расчет угловой зависимости ФМЭ при начальных условиях, близких к экспериментальным условиям работы [3], и получено хорошее совпадение.



Угловые зависимости анизотропии ФМЭ от ориентации магнитного поля в полярных координатах.

Сплошные кривые — теоретические ($\delta_{\text{теор}}$); штриховой кривой соединены экспериментальные точки. Стрелками указаны главные кристаллографические направления, лежащие в этих плоскостях. α дано в произвольных единицах.
а) в плоскости (100), б) в плоскости (110).

Ниже приводятся экспериментальные результаты исследования анизотропии ФМЭ на образцах *n*-германия*, освещаемая поверхность которых была параллельна кристаллографической плоскости (100) либо (110), и сравниваются с теорией, предложенной Гринбергом. Для кристаллографической плоскости (111) наши результаты совпадают с результатами угловой зависимости ФМЭ в работах [3, 4].

* Экспериментальные результаты были доложены [5] на Всесоюзной конференции по радиоэлектронике в г. Киеве 18—25 января 1959 г.

Образцы вырезались из монокристаллического слитка германия ($\rho = 8 \text{ ом} \cdot \text{см}$) в форме диска, 12 выводов припаивались оловом симметрично относительно центра в определенных кристаллографических направлениях. После соответствующей химической обработки поверхности в пергидроле, обеспечивающей удаление слоя, нарушенного механической обработкой, образцы помещались в однородное поле электромагнитного поля так, чтобы основание диска было параллельно ($\alpha=0$) направлению магнитного поля. При освещении одной из сторон диска белым светом в магнитном потоке в 5000 гаусс измерялась угловая зависимость напряжения ФМЭ от ориентации магнитного поля.

Таблица

Компоненты тензора σ_{ikl2}	Плоскость (100)	Плоскость (110)
σ_{1122}	$\frac{1}{2} \delta \sin^2 2\varphi + \beta$	$\frac{3}{8} \delta \sin^2 2\varphi + \beta$
σ_{2222}	$\delta (\sin^4 \varphi + \cos^4 \varphi) + \beta + \gamma$	$\delta \left(\sin^4 \varphi + \frac{1}{2} \cos^4 \varphi \right) + \beta + \gamma$
σ_{3322}	β	$\frac{1}{2} \delta \sin^2 \varphi + \beta$
$\sigma_{1222} = \sigma_{2122}$	$-\frac{1}{4} \delta \sin 4\varphi$	$\frac{1}{2} \delta \left(\frac{3}{2} \sin^2 \varphi - 1 \right) \sin 2\varphi$
$\sigma_{1322} = \sigma_{3122}$	0	0
$\sigma_{2322} = \sigma_{3222}$	0	0

Результаты опытов приведены на рисунке 1 для двух образцов (штриховые кривые), основания дисков которых параллельны плоскостям (100) и (110) соответственно. Если учесть, что образцы были вырезаны с точностью до нескольких градусов, то совпадение угловых зависимостей четного ФМЭ с теорией [4] можно считать удовлетворительным.

Интересующие нас компоненты тензора σ_{iklm} , вычисленные согласно [4], для плоскостей (100) и (110), сведены в таблицу (в обозначениях работы [4]).

На этих же образцах измерялось изменение сопротивления в магнитном поле при различной ориентации векторов электрического и магнитного полей. Результаты этих измерений в основном совпадают с результатами работ [6—8].

На основании проведенных исследований пространственная фигура анизотропного ФМЭ представляется нам имеющей шесть максимумов в направлениях $\langle 100 \rangle$ и восемь минимумов в направлениях $\langle 111 \rangle$. Возможно, что дальнейший анализ фотомагнитных явлений может дать полезные сведения о форме изознергетических поверхностей в исследуемом материале.

Авторы пользуются случаем выразить глубокую благодарность Е. М. Самойлову за помощь в работе.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР
Сибирский физико-технический институт
при Томском госуниверситете им. В. В. Куйбышева

Поступила в Редакцию
21/VIII 1960

ЛИТЕРАТУРА

- И. К. Кикоин. ДАН СССР, 3, 418, (1934).
- И. К. Кикоин, Ю. А. Быковский. ДАН СССР, 109, 735, (1956).
- И. К. Кикоин, Ю. А. Быковский. ДАН СССР, 116, 381, (1957).
- А. А. Гринберг. ФТТ, 2, 153 (1960).
- В. Н. Вертопрахов. Тезисы докладов Третьей всесоюзной конференции МВО по радиоэлектронике, 12, Киев, 1959.
- G. L. Pearson, H. Sulh. Phys. Rev., 83, 768, (1951).
- Р. Г. Аннаев, А. Алланазаров. ДАН СССР, 118, 47, (1958).
- Р. Г. Аннаев, А. Алланазаров. ДАН СССР, 132, № 3, 557, (1960).

ХРОНИКА

СИМПОЗИУМ

ПО НЕКОТОРЫМ ПРОБЛЕМАМ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

С 17 по 19 ноября 1960 г. в Новосибирске, в Академгородке, проходил симпозиум по некоторым проблемам математики и механики. В нем приняли участие виднейшие советские ученые.

Доклады, включенные в программу симпозиума, группировались главным образом вокруг тех направлений в математике и механике, в развитие которых внес существенный вклад акад. М. А. Лаврентьев, 60-летие со дня рождения и 40-летие научной, педагогической и общественной деятельности которого отмечалось 19 ноября 1960 г.

Симпозиум открылся докладом акад. М. А. Лаврентьева «Некоторые проблемы движения жидкости со свободными поверхностями».

Обзорный доклад об исследованиях по устойчивости, выполненных в Академии наук УССР под руководством М. А. Лаврентьева, сделал акад. А. Ю. Ишлинский (МГУ).

С докладом «Методы решения уравнений пограничного слоя» выступил акад. А. А. Дородницын (Вычислительный центр АН СССР).

Д-р техн. наук Г. С. Мигиренко (Ин-т гидродинамики СО АН СССР) осветил некоторые вопросы динамики разрушения; д-р физ.-мат. наук Н. Н. Моисеев рассказал о результатах исследований нелинейных волн в сплошных средах, выполненных в Вычислительном центре АН СССР.

О парогазовом цикле и некоторых проблемах энергетики, связанных с ним, доложил акад. С. А. Христианович (Ин-т теоретической и прикладной механики СО АН СССР).

Акад. Л. И. Седов (Ин-т механики МГУ) сделал доклад «Об основных концепциях механики сплошной среды».

О применении теории функций комплексного переменного к задачам фильтрации доложила акад. П. Я. Кочина (Ин-т гидродинамики СО АН СССР).

О результатах исследований кубатурных формул сообщил акад. С. Л. Соболев (Ин-т математики СО АН СССР).

Акад. И. Н. Векуа (Новосибирский гос. ун-т) посвятил свой доклад обобщенным аналитическим функциям и квазиконформным отображениям.

О некоторых вопросах теории уравнений смешанно-составного типа доложил член-корр. АН СССР А. В. Бицадзе (Ин-т математики СО АН СССР).

Совместный доклад докторов физ.-мат. наук Л. Д. Кудрявцева и С. М. Никольского (Математический ин-т им. В. А. Стеклова АН СССР) был посвящен теоремам вложения и их приложениям к решению эллиптических уравнений.

Д-р физ.-мат. наук Л. И. Волковичский (Пермский гос. ун-т) сделал доклад на тему «Сингулярные интегральные уравнения и теория потенциала на римановых поверхностях».

О конструктивности в алгебре доложил акад. А. И. Мальцев (Ин-т математики СО АН СССР).

Член-корр. АН СССР А. Д. Александров (ЛГУ) сделал доклад «О принципе максимума».

О некоторых новых результатах в конструктивной теории функций сообщил в своем докладе член-корр. АН СССР, акад. АН Арм. ССР С. Н. Мергелян (Вычислительный центр АН Арм. ССР).

По докладом развернулась оживленная дискуссия.

Член-корр. АН СССР Л. А. Галин (Ин-т механики АН СССР) в своем выступлении остановился на контактных задачах теории упругости с переменным модулем упругости.

С сообщением «Дифракция слабых ударных волн при малых углах» выступил канд. физ.-мат. наук К. Е. Губкин (Ин-т химической физики АН СССР).

Канд. физ.-мат. наук С. К. Годунов остановился на некоторых парадоксах квазилинейных уравнений; канд. физ.-мат. наук Ю. Г. Решетняк — на квазиконформных отображениях в пространстве.

Д-р физ.-мат. наук С. Г. Крейн (Воронежский гос. ун-т) в своем выступлении развил ряд вопросов по интерполяционным теоремам в теории операторов.

Д-р физ.-мат. наук А. А. Никольский (Ин-т механики АН СССР) посвятил свое выступление движению тел во вращающейся жидкости.

О решении осесимметричных задач теории упругости при помощи аналитических функций сообщил д-р техн. наук А. Я. Александров (Новосибирский ин-т инженеров железнодорожного транспорта).

Д-р физ.-мат. наук П. Ф. Фильчаков (Ин-т математики АН УССР) рассказал о приемах решения задач напорной фильтрации с помощью циркуля и линейки.

В выступлении Ю. Л. Родина (Пермский гос. ун-т) была рассмотрена краевая задача Римана и ее приложения.

Доклады, заслушанные на симпозиуме, будут изданы отдельным сборником.

А. К. Черненко

СОВЕЩАНИЕ

ПО ВОПРОСАМ ГЕОБОТАНИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

С 14 по 18 ноября в Новосибирске проходило первое Всесоюзное совещание по вопросам геоботанической картографии, организованное Сибирским отделением и Отделением биологических наук Академии наук СССР.

В совещании участвовало более 150 человек, представлявших институты АН СССР, институты Академии союзных республик и около 40 внеакадемических учреждений различных городов.

Во вступительном слове акад. А. А. Трофимука было обращено особое внимание на значение карт растительности при оценке природных условий новых районов освоения и интенсивном вовлечении в хозяйственный оборот природных ресурсов нашей страны.

Совещание заслушало и обсудило более 50 докладов по картографии растительности. Доклады были объединены в тематические циклы, каждому из которых было посвящено отдельное заседание, по существу соответствовавшее самостоятельному симпозиуму.

На первом симпозиуме, посвященном общим вопросам картографии, с программным докладом выступил член-корр. АН СССР В. Б. Сочава (Ин-т географии СО АН СССР). Изложив основные теоретические и методические вопросы картографии растительности, он обратил особое внимание на необходимость координации деятельности всех учреждений, занимающихся картографией растительности, с целью максимального удовлетворения запросов народного хозяйства, а также указал на необходимость широкого развертывания работ по геоботаническому картированию в районах нового освоения в Сибири и на Дальнем Востоке.

Три доклада этого цикла: Т. И. Исаченко, А. С. Карпенко, Е. В. Шифферс (Бот. ин-т АН СССР) — касались принципов и методов генерализации содержания геоботанических карт при составлении их в разных масштабах.

Большой интерес вызвал доклад А. Н. Лукичевой (Бот. ин-т АН СССР), посвященный построению единой красочной шкалы для оформления карт мелких масштабов. На примере карты растительности Азии, составленной автором для физико-географического атласа мира (масштаб 1 : 17 000 000), включающей почти все типы растительности земного шара, были продемонстрированы принципы подбора красочной шкалы и дан перечень цветов и тонов, предлагаемых для обозначения главнейших подразделений растительного покрова земного шара.

Второй цикл докладов касался итогов работ по картографированию растительного покрова отдельных районов нашей страны. По этой теме были заслушаны доклады А. В. Куминой (Центр. Бот. сад СО АН СССР) об итогах и перспективах геоботанической картографии в Западной Сибири, З. В. Кубанской (Ин-т ботаники АН Каз. ССР) о картографических работах в Казахстане, Г. Э. Куренцовой (Ин-т биологии ДВФ СО АН СССР) о состоянии и задачах геоботанического картирования Советского Дальнего Востока, Б. П. Колесникова (УФАН СССР) об итогах картографирования Урала.

На третьем симпозиуме были обсуждены некоторые вопросы картографирования растительности таежной зоны и лесостепи в среднем масштабе.

Б. П. Колесников охарактеризовал методику составления среднemasштабной геоботанической карты Приморского края и сформулировал основные теоретические и методические положения, которые необходимо учитывать при составлении обзорных и формационных среднemasштабных геоботанических карт.

Е. И. Лапшина (Центр. Бот. сад СО АН СССР) доложила об особенностях составления карты растительности в масштабе 1 : 1 000 000 на территорию Западной Сибири и предложила для обсуждения легенду и красочную шкалу пяти листов этого масштаба, охватывающих зону подтайги, лесостепи и степи юго-востока Западной Сибири, а также горные сооружения Алтая и Кузнецкого Алатау.

Е. Л. Любимова (Ин-т географии АН СССР) на примере карты растительности Канской лесостепи показала особенности картирования растительности лесостепных котловин Средней Сибири.

Вопросам комплексности растительного покрова и соотношения типологических и региональных, фитоценологических и фитокомплексных единиц при картировании растительности был посвящен доклад В. В. Мазинг (Тартуский гос. ун-т).

Четвертый симпозиум был посвящен вопросам картографии растительности и геоботанического районирования. На примере ботанико-географического расчленения Западной Сибири Л. В. Шумилова (Томский гос. ун-т) показала опыт использования карт различных типов растительности для целей районирования. Ею также была высказана мысль о том, что в основе комплексного естественно-исторического районирования должно лежать ботанико-географическое районирование, которое в свою очередь опирается на геоботаническое картирование. Подтверждение и развитие этого тезиса было дано в докладе Т. Г. Абрамовой (НИИГЭ ЛГУ) на примере комплексного природного районирования Вологодской области. Применение геоботанического районирования для обоснования сельскохозяйственного и экономического районирования показала в своем докладе Л. Р. Лаасимер на примере выделения хозяйственных и геоботанических районов в Эстонии.

Несколько докладов было посвящено ландшафтному картированию природы и их связи с геоботаническим картированием. С большим содержательным докладом по этой теме выступил А. Г. Исаченко (ЛГУ). Он указал на необходимость комплексного картографирования путем создания серии специальных карт природы, а также создания комплексных физико-географических или ландшафтных карт. О классификации географических ландшафтов Латвийской ССР и возможности применения ее принципов при геоботаническом картировании доложил К. Г. Раман (Латв. гос. ун-т).

А. Г. Воронов (МГУ) сообщил о методике биогеографического картирования и о необходимости создания таких карт, на которых было бы отражено распространение комплексов растительного покрова и животного населения тех или иных территорий. Такие биогеографические карты будут наиболее полезными для рационального комплексного учета и использования природных ресурсов. Е. И. Игнатьев и О. В. Шкурлатов (Ин-т географии СО АН СССР) в своем докладе показали возможность применения геоботанических карт и планов при медико-географическом изучении территории и особенно при разработке медико-географических прогнозов на районы, подлежащие интенсивному экономическому освоению. При составлении сводной медико-географической карты Сибири и Дальнего Востока должны быть использованы обзорные геоботанические карты на эту территорию.

Большой интерес вызвали доклады об использовании фитоиндикаторов при составлении геоботанических карт. С. В. Виктор (Всесоюз. агролог. трест) сформулировал основные положения методики составления индикационных карт и продемонстрировал наиболее распространенные виды геоботанических индикационных карт: гидрондикационные, литондикационные и карты для распознавания площадей, перспективных в поисках того или иного полезного ископаемого.

Б. Н. Горбачев и О. С. Горожанкина (Ростов-на-Дону, Упр. землеустройства) изучали растения-индикаторы, строго приуроченные к определенным местообитаниям и устойчивые к различным видам хозяйственного воздействия. На основе изученных видов-индикаторов ими были составлены карты восстановленной растительности степной зоны Ростовской области.

В докладах по лесной тематике были подняты вопросы создания лесотипологических карт (В. А. Розенберг — Ин-т биологии ДВФ СО АН СССР), составления карт на основе генетической классификации лесов (Б. П. Колесников), срока «жизни» лесных и геоботанических карт (Г. В. Крылов — Биол. ин-т СО АН СССР).

Ряд докладов был посвящен картам кормовых угодий, методам и принципам их составления (Л. Н. Соболев — Ин-т географии АН СССР, А. В. Кумина — Биол. ин-т СО АН СССР, О. Н. Насонова — Ин-т ботаники Каз. ССР), требованиям, предъявляемым к геоботаническим картам кормовых угодий (И. А. Шаценкин — Ин-т кормов ВАСХНИЛ).

Картография растительности болот была представлена всего двумя общими докладами, а вопросы типологии и методики составления болотных карт разных масштабов, к сожалению, не были затронуты. А. С. Оленин (Главторффонд) сделал об-

зорный доклад о современном состоянии картирования торфяных болот и продемонстрировал карты торфяного фонда, составленные Главным управлением торффонда при Совете Министров СССР.

Группа работников Лаборатории аэрометодов АН СССР доложила об использовании аэрофотосъемки при картировании различных типов растительности: лесов, пустынь, степи, подводной растительности и др.

Заслушанные доклады вызвали оживленные прения и получили ряд критических замечаний. Ценными были выступления работников производственных организаций. Всего в обсуждении докладов приняло участие 75 человек.

Во время совещания в конференц-зале, где проходили заседания, а также в прилегающих помещениях была организована большая картографическая выставка, на которой было представлено более 280 карт растительности различных типов и на различные территории, выполненных как советскими специалистами, так и зарубежными. На выставке можно было увидеть «Ботанико-географическую карту Российской империи» Г. И. Танфильева (1900), являющуюся библиографической редкостью, и карты, выполненные с помощью современных аэрометодов.

Широко были представлены среднемасштабные карты растительности областей, краев и республик Грузинской ССР, Дагестана, Средней Азии, Эстонской ССР, Иркутской области, Новосибирской области и Алтайского края, Вологодской области, Приморского края и др.

Научно-редакционная часть ГУГК демонстрировала выпущенные ею настенные обзорные карты растительности и почв всей территории Советского Союза. Много было карт узкоспециальных — карты торфяного фонда Сибири и Дальнего Востока, карты лесов, карты кормовых угодий, пастбищ, фенологические карты и т. д.

38 иностранных карт, выполненных в 9 странах (Франция, Испания, Италия, США, ФРГ и ГДР, Румыния, Швейцария и Швеция), а также некоторые карты Африки и Малайзии, выполненные в порядке международного сотрудничества при ЮНЕСКО, позволили познакомиться с картографическими школами за рубежом. Объяснения при обсуждении демонстрируемых зарубежных карт давал В. Б. Сочава, остальных карт — специалисты тех организаций, чьи карты экспонировались. Выставка представляла большой интерес и содействовала взаимному обмену мнений и взаимной информации непосредственных исполнителей картографических работ.

После широкого обмена мнениями совещание приняло развернутое решение, в котором определило основные задачи и направления развития геоботанического картирования в нашей стране.

Совещание также отметило необходимость организации специализированных лабораторий по картографии растительности в системе Академии наук СССР, республиканских Академий и особенно в системе Сибирского отделения АН СССР, подчеркнуло важность решения вопроса об издании карт растительности через издательства Академии наук, необходимость быстрого издания уже подготовленных к опубликованию карт для всестороннего их использования.

Е. И. Лапшина

ВТОРАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ УЧЕНЫХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

21—24 сентября 1960 г. в Иркутске состоялась Вторая зональная научная конференция по русскому языку, в которой приняли участие кафедры 12 педагогических институтов и 4 университетов, в том числе Улан-Баторского университета МНР, представители Ученой комиссии по русскому языку Министерства просвещения РСФСР и Сибирского отделения АН СССР, учителя и методисты Иркутска.

Делегаты обсудили 33 научных доклада и 10 сообщений.

На пленарных заседаниях были заслушаны доклады проф. В. Д. Кудрявцева (Иркутск) и канд. пед. наук Ж. С. Сажинова (Улан-Удэ) «О преподавании русского языка в национальных вузах Восточной Сибири и Дальнего Востока»; сообщения кандидатов филологических наук К. М. Браславца (Южно-Сахалинск), В. Я. Симоновой (Уссурийск), Т. А. Мехович (Владивосток) и Н. Г. Самсонова (Якутск) о результатах собрания материалов для словарей народных говоров; доклад доц. Е. А. Василевской (Москва) и содоклад доц. М. М. Власенко (Иркутск) «Материалы и рекомендации Ученой комиссии по русскому языку при Гувузе Министерства просвещения РСФСР, итоги и план работы зонального объединения на ближайшие два года», доклад Е. Н. Петуховой (Иркутск) «Научные основы словообразовательного

анализа и практика разбора по составу слова в вузе и школе»; доклад доц. Г. П. Домашенкиной (Хабаровск) «О производительности и непроизводительности основ в связи с формообразованием и словообразованием»; доклад В. К. Иваненко (Иркутск) «О постановке научного эксперимента по методике русского языка».

Проф. В. Д. Кудрявцев рекомендовал преподавателям русского языка в национальных вузах учитывать расхождения в строе русского и родного языка, отводить больше времени на изучение словаря, словосочетаний и фразеологизмов русской речи.

Богатым опытом преподавания русского языка в Бурятском институте поделился Ж. С. Сажин, рассказавший о приемах сопоставления родного и русского языков. Он доказывал необходимость особых сборников для практических занятий в национальных вузах.

Доц. Л. И. Шощкая (Иркутск) рассказала об опыте преподавания русского языка в Пекинском институте, где серьезное внимание уделяется лексикологии.

Представитель Монгольского университета Жамбалдорж (Улан-Батор) сообщил о преподавании русского языка в университете и школах МНР.

Конференция пришла к выводу, что для разработки трудных вопросов преподавания русского языка в национальных вузах необходимо в составе сибирских зональных объединений выделить секцию национальных вузов.

Сообщения о собирании материалов для региональных словарей показали, что более интенсивно ведут накопление лексики Иркутский, Южно-Сахалинский пединституты, Якутский и Иркутский университеты. Высокую оценку конференции получил словарь, собранный в течение сорока лет работы в Киренском районе Иркутской области учителем-краеведом В. А. Вдовиним. Принято решение ускорить подготовку к опубликованию регионального словаря с материалами Иркутской области и вернуть обследование говоров Приморья, Колымы и Камчатки, а также приамурских и прибайкальских говоров.

Серьезную научную дискуссию вызвали доклады по вопросам словообразования.

В ходе дискуссии выявилась потребность в особом словаре «Аффиксы русского языка», где все слова были бы расположены под теми аффиксами, от которых они образованы, при этом была бы приведена для каждого слова производящая основа и определено значение аффикса. Достигнута предварительная договоренность о накоплении материала для такого словаря.

Большой интерес вызвал доклад В. К. Иваненко «О постановке научного эксперимента по методике русского языка в школе».

Доклады доц. Е. А. Василевской (Москва) и М. М. Власенко (Иркутск) ознакомили представителей кафедр с проектами предложенной Ученой комиссии по русскому языку при Гувузе Министерства просвещения РСФСР «О развитии и укреплении практических знаний и навыков студентов по русскому языку», «О единой программе для государственных экзаменов по русскому языку», «О проведении курсовых экзаменов и зачетов по языковедческим дисциплинам».

Конференция с большим интересом выслушала сообщение сотрудника СО АН СССР Е. А. Куклиной о предполагающейся общесибирской конференции филологов и об основных направлениях исследований по русскому языку и языкознанию.

В секции современного русского языка были обсуждены доклады А. Г. Щепина (Чита) — «О синтаксической омонимии в современном русском языке», Л. И. Шощкой (Иркутск) — «Синонимия в языке поэзии декабристов». Фразеологическим синонимам и синонимическим повторам в языке современных писателей посвятили свои доклады доц. В. Т. Шкляров и А. Я. Скундло (Иркутский университет). Доц. Н. С. Востокова (Комсомольск-на-Амуре) подвергла анализу характер и средство языковой экспрессии в эпистолярном стиле А. П. Чехова.

Секция методики русского языка обсудила доклады доц. Г. И. Упхонова (Улан-Удэ) «Принципы построения сопоставительной грамматики русского и бурятского языков» и канд. филолог. наук В. И. Золхоева (Иркутск) «Особенности ударения бурятского языка в сравнении с русским ударением». Л. А. Макарова (Енисейск) сделала сообщение на тему «Система упражнений по пунктуации при изучении морфологии в средней школе». Обе секции на совместном заседании рассмотрели пособие для студентов «Грамматический разбор», составленное кафедрой Хабаровского педагогического института, и сделали авторам много полезных замечаний.

Секция исторической грамматики и диалектологии заслушала очень интересный и богатый фактами доклад Е. А. Василевской (Москва) «Именные словосложение в русском языке», доклады К. Б. Воронцовой (Иркутск) «Сложные имена существительные женского рода с суффиксом К», доц. Г. В. Тропина (Иркутск) «Из наблюдений над омомастикой русского языка», К. Н. Озолиной (Иркутск) «Инфинитивные над омомастикой русского языка», канд. филолог. наук К. М. Браславца (Южно-Сахалинск) «Исследование кетского говора Обь-Енисейского междуречья» и др. Преподаватель Якутского университета Н. Г. Самсонов представил на обсуждение секции главы учебника по истории русского языка.

Все доклады и сообщения были предметом серьезного обсуждения и получили одобрение. Конференция поручила кафедре русского языка Иркутского пединститута подготовить к печати II выпуск трудов зонального объединения, включив в него лучшие статьи, рекомендованные кафедрами.

Конференция отметила, что работа зонального объединения и совместное издание научных сборников особенно необходимы ученым самых отдаленных вузов страны, отстоящих один от другого на тысячи километров.

Конференция обратилась с просьбой к Ученой комиссии по русскому языку создать постоянный информационный бюллетень, в котором бы печатались библиографические обзоры и аннотации на ученые записки, диссертации и монографии. Это позволило бы избежать дублирования тематики и повысить качество исследований по лингвистическим дисциплинам.

Участники конференции приветствовали решение Постоянной комиссии по общественным наукам СО АН СССР о проведении сибирской конференции филологов в Новосибирске и просили включить в программу предстоящей конференции актуальные вопросы развития речи и роли языка в коммунистическом воспитании трудящихся.

Следующая зональная конференция кафедр русского языка будет созвана в феврале 1962 г. в Хабаровске.

М. М. Власенко

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Б. Н. Девятков, Ю. Н. Корнев. Определение инерционности и регулируемости прямиоточных теплообменных аппаратов	3
З. Г. Каганов. Аналитический учет краевого эффекта в обмотках электрических машин	11
Н. Г. Капустин. Основные экономические критерии установления типоразмера комбайна и длины лавы	16
С. С. Черняк, Е. А. Толстикова, Р. А. Кузнецов. Повышение износостойкости сталей и чугунов методом электролитического сульфидирования	25
Г. Д. Потрашков, Л. Н. Хрусталева. О влиянии текстуры оттаявших глинистых грунтов на их прочность и фильтрационные свойства	31

ХИМИЯ

М. Ф. Шостаковский, Г. Г. Скворцова, М. Я. Самойлова, К. В. Запунная, Э. И. Косицына. Виниловые соединения. Сообщение I. Виниловые эфиры крезолов каменноугольной смолы	36
И. В. Калечиц, Ф. Г. Салимгареева, М. Ф. Иванова, Б. В. Тржцинская. О химизме превращений сложных эфиров в условиях жидкофазной гидрогенизации	44
А. С. Бергер. О фазовом составе продуктов взаимодействия β -двухкальциевого силиката с бессодовыми растворами алюмината натрия	52
Е. П. Ожигов, Л. И. Корень, Л. В. Хожанинова. Получение долгодействующих микроудобрений (фритт) из датолитовых руд	65
Н. В. Сташкова, А. И. Земянская. О механизме восстановления четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде	72

БИОЛОГИЯ

А. Ф. Никифоров. Реакция соединительной ткани и ее регенераторные способности <i>in vitro</i> при воздействии проникающей радиации	82
Л. И. Малышев. Растительность южной и средней частей западного побережья Байкала	92
А. И. Черепанов. Познание почвенной энтомофауны Западной Сибири	105
Н. Г. Коломиец. Холодостойкость гусениц сибирского шелкопряда и температурный режим в местах их зимовки	113

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. Н. Вертопрахов, В. А. Преснов. Об анизотропии поперечного фотомагнитного эффекта в германии	121
--	-----

ХРОНИКА

А. К. Черненко. Симпозиум по некоторым проблемам математики и механики	123
Е. И. Лапшина. Совещание по вопросам геоботанической картографии	124
М. М. Власенко. Вторая научная конференция по русскому языку ученых Восточной Сибири и Дальнего Востока	126

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще неопубликованные результаты исследований по актуальным научным проблемам, полученные за последние два-три года.

2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа, включая библиографию и иллюстративный материал.

3. На публикацию материалов, представляемых в редакцию, требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы, и соответствующая документация, удостоверяющая возможность печатания их в журнале.

4. Рукописи статей и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть четко перепечатана на машинке, через два интервала, на одной стороне листа, тщательно вычитана и подписана автором.

5. Корректра дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректре не допускаются. Иногородним авторам корректра не высылается.

6. Формулы, латинские, греческие и т. п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между заглавными и строчными буквами в формулах, имеющими одинаковые начертание (V и v, O и o, W и w, K и k, P и p, C и c), подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу (S), а строчные — сверху (s).

7. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подрисуночной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти представляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (вклеивать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукопись должна быть вложена опись иллюстраций (в 2 экземплярах), согласно их порядковой нумерации.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

8. Библиографические списки: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например: т. III, вып. 7, изд. 2; г) в тексте ссылка на литературу, перечисленную в библиографическом списке, помещенном в конце статьи, делается по такой форме: «Павлов [10, 11] указывает...».

Числа 10, 11, взятые в квадратные скобки, показывают порядковые номера трудов в библиографическом списке.

Схема перечня библиографических данных:

Для книг: фамилия и инициалы автора, название книги, название издательства (Медгиз, Техиздат), место издания, год издания (слово «год» не ставится, например: 1956)

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала (альманаха, газеты), том или выпуск (т. III, вып. 7), номер, год.

Говоря о месте издания, слова «Москва» и «Ленинград» можно заменять начальными буквами.

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401 — редакции журнала.

Художественный редактор В. И. Желнин.
Технический редактор О. А. Локшина.
Корректоры М. А. Башкова, Л. В. Жарикова.

Подписано к печати 14 февраля 1961 г. МН 03110. Бумага 70×108/16. 8,25 печ. л., 11,3 усл. печ. л.
+ 4 вкл. 12,1 уч.-изд. л. Тираж 2300.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР. Новосибирск, Советская, 20.
Заказ № 1042. Типография № 1 Полиграфиздата. Новосибирск, Красный проспект, 20.
Цена 70 коп.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

В журнале освещаются результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, проведенных в научных учреждениях, исследовательских институтах, высших учебных заведениях Сибири. В журнале печатаются также статьи методического характера, работы, посвященные важнейшим проблемам развития производительных сил восточных районов СССР.

В журнале регулярно дается разносторонняя информация о научной жизни и развитии науки в Сибири и на Дальнем Востоке, печатаются материалы по обмену опытом и координации научной работы, библиография и рецензии на книги, в которых рассматриваются вопросы, связанные с изучением Сибири.

Журнал рассчитан на научных работников, преподавателей вузов, инженеров и руководителей предприятий.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 8 р. 40 к.

на 6 месяцев — 4 р. 20 к.

на 3 месяца — 2 р. 10 к.

Цена отдельного номера 70 коп.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комната 401).