

п. 167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

1

НОВОСИБИРСК

1959

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

①



П-167/2 П23482

1959
№ 1

Известия Сибирского
Отделения АН
СССР

7 р.

П-23482

В. Д. ОРЕШКИН

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОТЛИВКАХ

Усадка различных частей затвердевающей отливки происходит неодинаково: тонкие ее части охлаждаются с большей скоростью, чем утолщенные места, а при одинаковом сечении медленнее охлаждаются стенки, расположенные вблизи литниковой системы или прибыли. Но вместе с тем, все части не могут сокращаться в объеме независимо друг от друга. В процессе охлаждения одна из них будет оказывать силовое воздействие на другую, отчего в отливке возникнут внутренние (безнагрузочные) напряжения, понижающие ее конструктивную прочность.

Внутренние (литейные) напряжения являются весьма серьезным и практически не обнаруживаемым дефектом, который приводит к тому, что отливка может разрушиться при нагрузках, значительно меньше расчетных. Иногда отливки разрушаются и без приложения к ним внешних сил или при незначительных усилиях: очистке, транспортировке или механической обработке. Величина внутренних напряжений в отливках зависит, главным образом, от свойств материала, условий охлаждения, характера действия, внутренних сил и конфигурации отливки.

Рассмотрим влияние каждого из этих факторов.

Свойства материала. Неравномерность распределения температур зависит от термофизических констант металла и, в первую очередь, от его теплопроводности. Чем меньше коэффициент теплопроводности, тем более неравномерно охлаждается отливка, тем более значительными оказываются в ней внутренние напряжения.

Каждый сплав в зависимости от механических свойств по-разному реагирует на воздействие внутренних напряжений. Однако в области высоких температур все железоуглеродистые сплавы имеют одни и те же низкие механические характеристики (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что кривая прочности с повышением температуры понижается и при достижении солидуса резко падает до нуля. Кривая пластичности же, наоборот, вначале повышается, достигает максимума и некоторое время держится на этом уровне, затем мгновенно снижается вблизи температуры солидуса. Эта схема позволяет наметить температурные границы, в которых отчетливо проявляются упругие или пластические свойства сплавов. Зона I отвечает упругому, зона II — упруго-пластическому и зона III — пластическому состоянию сплавов.

При температуре, близкой к началу плавления, прочностные свойства выражены слабо, а поэтому только что затвердевшая отливка чрез-

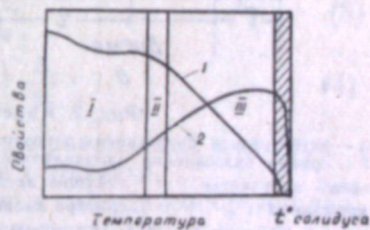


Рис. 1. Схема изменения свойств сплавов с изменением температуры:

1 — изменение прочности; 2 — изменение пластичности; I — зона упругих деформаций; II — зона упруго-пластических деформаций; III — зона пластических деформаций.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

7 23482
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргисской СОР

вычайно чувствительна к возникающим в ней напряжениям. Если все части отливки находятся в зоне упругих деформаций, то при непрерывно продолжающейся усадке внутренние напряжения в отливке будут возрастать. Причем, величина напряжений оказывается пропорциональной упругой деформации, и если внутренние напряжения превысят предел прочности сплава, возникновение трещин в отливке неизбежно. Следовательно, выбору сплава для литых деталей следует уделять большое внимание.

Условия охлаждения. Распределение температур по сечению отливки зависит также и от условий охлаждения. Чем интенсивнее охлаждается отливка, тем большей оказывается разность температур между ее тонкими и толстыми сечениями, тем большими будут возникшие в ней напряжения.

Пользуясь графиком охлаждения реальной отливки 7А-278, попытаемся выяснить процесс образования внутренних напряжений и установить их аналитическую зависимость от разности температур между массивными направляющими и тонкими продольными стенками [1].

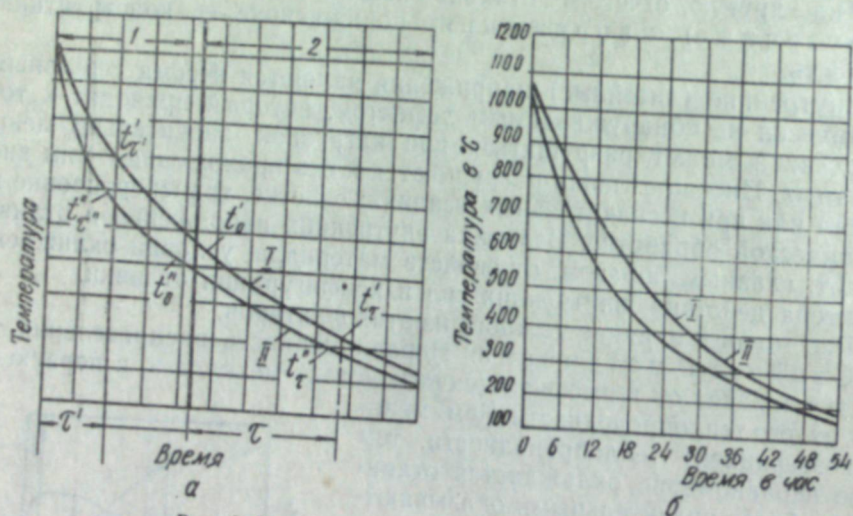


Рис. 2. Кинетика охлаждения отливки 7А-278:

а — естественное охлаждение в земляной форме; б — принудительное охлаждение в кессоне; I — кривая охлаждения направляющей; II — кривая охлаждения продольной стенки; τ' — текущее время на участке I; τ — текущее время на участке II; t'_c — температура направляющей в момент времени τ' ; t'_n — температура стенки в момент времени τ' ; t_c — температура направляющей, равная 620° при $\tau = 0$; t_n — температура стенки при $\tau = 0$; t'_c — температура направляющей при $\tau \neq 0$; t'_n — температура стенки при $\tau \neq 0$.

В первоначальный момент после заливки все части детали имеют одинаковую температуру (t_n) и равную длину, и так как отливка находится в области пластических деформаций, напряжения в ней отсутствуют. На рис. 2, а показан график охлаждения направляющей (кривая I) и продольной стенки (кривая II), который согласно рис. 1 можно разбить на два участка: первый, где сплав находится в пластическом состоянии, и второй, где преобладают упругие деформации.

Рассмотрим охлаждение отливки на участке I. В момент времени τ' , не равный нулю, продольная стенка при свободной усадке сократилась бы на величину, пропорциональную $t_n - t'_c$, а направляющая — на величину $t_n - t'_c$. Вследствие большой скорости охлаждения тонкая стенка оказалась бы несколько короче, чем массивная направляющая, так как

$$t_n - t'_c > t_n - t'_c.$$

Но ввиду того, что система жесткая, каждая из частей отливки в процессе охлаждения должна иметь одинаковую длину. В результате этого в отливке возникают внутренние напряжения: в продольной стенке — растягивающие, а в направляющей — сжимающие.

Согласно условию, на участке I преобладают пластические деформации, вследствие чего возникающие напряжения имеют возможность релаксироваться.

Совершенно иная картина обнаруживается в области упругих деформаций (участок 2), где нет условий для релаксации напряжений. В первоначальный момент, когда $\tau = 0$ и $l_1 = l_2 = l_0$, внутренние напряжения в отливке отсутствуют. Однако в любой отрезок времени $\tau \neq 0$. Направляющая при свободной усадке примет длину l'_τ , а продольная стенка — длину l_τ :

$$l'_\tau = l_0 (1 - \alpha \Delta t'), \quad (1)$$

$$l_\tau = l_0 (1 - \alpha \Delta t''), \quad (2)$$

где α — коэффициент линейного расширения (сжатия) сплава;

$\Delta t'$ — разность между температурой t'_0 направляющей в момент ее перехода из пластического состояния в упругое и температурой t'_c этой же части отливки в любой момент времени на участке 2;

$\Delta t''$ — разность между температурой t''_0 стенки при $\tau = 0$ и температурой t''_τ этой же стенки в любой момент времени на участке 2.

С изменением соотношения скоростей охлаждения на участке 2 изменятся и знаки внутренних напряжений: в продольной стенке отливки будут действовать уже сжимающие напряжения, а в направляющей — растягивающие. Приняв в качестве первого приближения закон распределения напряжений по сечению отливки равномерным, будем иметь:

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{F_1} = (l_{cp} - l'_\tau) \frac{E}{l_0}, \quad (3)$$

$$\sigma_2 = -\frac{P_2}{F_2} = -(l_{cp} - l_\tau) \frac{E}{l_0}, \quad (4)$$

где F_1 и F_2 — площади поперечного сечения направляющей и стенки;

P_1 и P_2 — внутренние силы, действующие в отливке;

l_{cp} — средняя длина жестко связанных между собой направляющей и стенки в момент времени $\tau \neq 0$.

Решая совместно уравнения (3) и (4) и подставляя вместо l'_τ и l_τ соответствующие им значения из равенств (1) и (2) при $P_1 = -P_2$ (система находится в равновесии), будем иметь:

$$\delta_1 = \frac{F_2}{F_1 + F_2} E \alpha (\Delta t_n - \Delta t_\tau), \quad (5)$$

$$\delta_2 = -\frac{F_1}{F_1 + F_2} E \alpha (\Delta t_n - \Delta t_\tau), \quad (6)$$

где: E — модуль нормальной упругости в кг/мм²;

$\Delta t_n = t'_0 - t''_0$ — разность между температурами направляющей и стенки в момент времени $\tau = 0$;

$\Delta t_\tau = t'_\tau - t''_\tau$ — разность между температурами направляющей и стенки в момент времени $\tau \neq 0$.

Анализируя формулы (5) и (6), можно заключить, что возникшие при охлаждении отливки внутренние напряжения могут быть остаточными или временными. Остаточные напряжения, определяемые лишь значением Δt_n при $\Delta t_\tau = 0$, не исчезают в отливке до полного ее охлаждения. Временные же напряжения, возникающие в отливке в любой момент ее охлаждения, зависят от $\Delta t_n - \Delta t_\tau$ и, как следует из формул (5) и (6), могут быть равны остаточным, быть меньше или больше их, по знаку совпадая или не совпадая с ними.

Большой практический интерес представляет условие, при котором временные напряжения равны или больше остаточных. Так как отливки из железоуглеродистых сплавов сравнительно хорошо сопротивляются сжимающим напряжениям, то наибольшее значение приобретают напряжения растяжения, чаще всего вызывающие трещинообразование.

Если временные растягивающие напряжения равны или больше остаточных и совпадают с ними по знаку, то они характеризуются, как видно из формул (5) и (6), следующим условием:

$$\Delta t_\tau \leq 0.$$

При этом растянутой должна стать направляющая. При перемене знака напряжений указанное условие для нашего случая выразится иначе, а именно:

$$\Delta t_\tau < \frac{F_1 + F_2}{F_1} \Delta t_n.$$

В этом случае растянутой окажется продольная стенка. Положив в равенстве (5) величину остаточных напряжений равной пределу прочности при растяжении σ_n , можно вычислить критический перепад температур $(\Delta t_n)_{кр}$ и $(\Delta t_\tau)_{кр}$. Приняв для чугуна СЧ-15-32 при температуре 400—600° $E = 12000 \text{ кг/мм}^2$ и $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$, получим:

$$(\Delta t_n)_{кр} = 7\sigma_n \frac{F_1 + F_2}{F_2}, \quad (7)$$

$$(\Delta t_\tau)_{кр} = 7\sigma_n \frac{(F_1 + F_2)^2}{F_1 \cdot F_2}. \quad (8)$$

Так как предел прочности чугуна СЧ-15-32 при растяжении σ_n при температуре 600° составляет около двух третей от предела прочности при 20° [1, 2], то после соответствующего преобразования равенство (8) примет следующий вид:

$$(\Delta t_\tau)_{кр} = 4,5\sigma_0 \frac{(F_1 + F_2)^2}{F_1 \cdot F_2}, \quad (9)$$

где σ_0 — предел прочности при растяжении при 20°.

На примере исследованной нами отливки станины 7А-278 рассмотрим вопрос о допустимых перепадах температур Δt_τ , определяющих величину внутренних напряжений, и, в частности, вопрос об остаточных напряжениях.

Подставив численные значения в формулы (7) и (9) при $F_1 = 0,6 F_2$ и $\sigma_0 = 15 \text{ кг/мм}^2$, будем иметь:

$$(\Delta t_n)_{кр} = 7\sigma_n \frac{F_1 + F_2}{F_2} = 4,5\sigma_0 \frac{F_1 + F_2}{F_1} = \frac{67,5 \cdot 1,6 F_2}{F_2} = 108^\circ,$$

$$(\Delta t_\tau)_{кр} = 4,5\sigma_0 \frac{(F_1 + F_2)^2}{F_1 \cdot F_2} = \frac{67,5 \cdot 4,26}{1} \cong 288^\circ.$$

Из рис. 2 видно, что $\Delta t_n = 100^\circ$, тогда

$$\sigma_1 = \frac{\Delta t_n}{(\Delta t_n)_{кр}} \sigma_0 \cdot K = \frac{100}{108} \cdot 15 \cdot 0,7 = 9,7 \text{ кг/мм}^2, \quad (10)$$

что составляет около 65% от предела прочности чугуна СЧ-15-32 при растяжении при нормальной температуре. В формуле (10) K — коэффициент, учитывающий релаксацию напряжений, и для разбираемого случая может быть принятым равным 0,7 [3, 4].

При кессонном изготовлении этой же детали в силу того, что процесс охлаждения отдельных частей отливки до некоторой степени регулируем, перепад температур Δt_n между направляющей и стенкой при $\tau = 0$ значительно понижается и, как показали наши опыты, не превышает 60° (рис. 2, б). Тогда величина растягивающих остаточных напряжений σ_1 будет равна:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta t_n}{(\Delta t_n)_{кр}} \sigma_0 \cdot K = \frac{60}{108} \cdot 15 \cdot 0,7 = 5,8 \text{ кг/мм}^2.$$

В этом случае напряжения хотя и уменьшились почти в два раза, но они все же очень велики и составляют около 38% от предела прочности при растяжении. При установке такой отливки после выбивки на сильном сквозняке, местно охлаждающем какую-нибудь из стенок станины, не исключены еще большие внутренние напряжения, которые могут привести к появлению трещин.

Достичь же критического перепада $(\Delta t_\tau)_{кр} \cong 290^\circ$ трудно. Однако нам известен случай охлаждения как направляющих, так и стенок станины 7А-278 с одинаковой скоростью (процесс охлаждения велся неправильно), в результате чего был достигнут перепад температур около 300° между указанными частями отливки, и отливка лопнула. По нашему мнению, отливки типа 7А-278 можно удалять из формы в зимнее время при 350—450° и в летнее при 450—500° через 36—48 часов после заливки при условии, что критический перепад $(\Delta t_n)_{кр}$ не будет превышать 60—80°. Указанный вывод подтверждается нашими многочисленными опытами по изготовлению качественных отливок в охлаждающихся кессонах при сокращенном в 1,5—2 раза времени их выдержки по сравнению с цеховой технологией [5].

Характер действия напряжений. Изобразим схему напряженного состояния отливки. При высоких температурах прочностные связи по границам кристаллитов литого сплава меньше, чем по плоскостям кристаллической решетки.

С переходом всей отливки в твердое состояние температура наружных и внутренних ее слоев понижается, что сопровождается повышением ее прочностных свойств. Однако затвердевшая отливка представляет собой конструкцию более жесткую, чем отливка затвердевающая, и при непрекращающихся усадочных процессах в отливке возникают внутренние напряжения значительной величины. Поэтому к разрушению склонна и отливка, находящаяся в зоне пластических деформаций.

Для подтверждения рассмотрим механизм возникновения напряжений в слитке шестиугольного сечения из стали 40Х весом около 5 т. На этом слитке образование поперечных трещин (а иногда и излома) объясняется тем, что внутренние зоны слитка, охлаждающиеся медленнее, приобретают после окончательного затвердевания растягивающие осевые напряжения, а внешние — сжимающие. На рис. 3 показаны кривые охлаждения центральной и наружной зон слитка, свидетельствующие о том, что температура центральной части слитка в течение всего времени охлаждения значительно выше наружной. Как только весь слиток за-

твердеет и в упругое состояние перейдет последний элементарный слой, расположенный по оси слитка, система будет полностью связана, и в силу указанного перепада температур в ней появятся внутренние напряжения.

Приняв слиток за бесконечное количество цилиндров, каждый с толщиной стенки dr , выделим из него элементарный слой (рис. 4) и опишем характер возникающих в нем напряжений. Сразу же после заливки температура по сечению этого слоя имеет одинаковое значение и изображается прямой линией. Затем по мере охлаждения распределение температур по сечению отливки изобразится кривой, описываемое уравнением параболы:

$$t = t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2), \quad (11)$$

где t_1 — температура осевой части слитка;
 t_2 — температура поверхности слитка;
 r — текущее расстояние от оси слитка до рассматриваемого элементарного слоя;
 R — радиус поперечного сечения слитка.

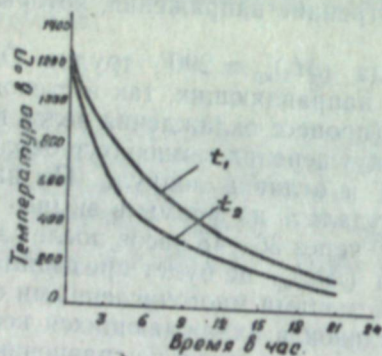


Рис. 3. Кинетика охлаждения слитка:

t_1 — температура наружной части;
 t_2 — температура осевой части.

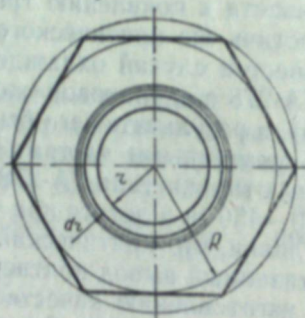


Рис. 4. Поперечный разрез слитка:

R — радиус слитка; r — расстояние до элементарного слоя;
 dr — толщина слоя.

В зоне пластических деформаций можно предположить свободное относительное сокращение элементарного слоя ϵ , однако в момент времени τ_2 сокращение исключено, так как все элементарные слои взаимно связаны между собой и их относительное сокращение ϵ_c будет инным.

Учитывая указанное, напишем, согласно закону пропорциональности, уравнение равновесия внутренних сил:

$$\int_0^R E(\epsilon - \epsilon_c) 2\pi r dr = 0, \quad (12)$$

где $2\pi r dr$ — толщина элементарной площадки, на которую действуют внутренние силы Px ,

E — модуль нормальной упругости.

Из равенства (12) определим ϵ_c , учитывая, что

$$\epsilon = \alpha t = \alpha \left[t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2) \right];$$

$$\int_0^R \left\{ E \left[t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2) \right] \alpha - E \epsilon_c \right\} 2\pi r dr = 0.$$

Откуда

$$\epsilon_c = \alpha \frac{1}{2} (t_1 + t_2). \quad (13)$$

Из приведенных выражений найдем величину напряжения, растягивающего слиток в направлении его оси:

$$\begin{aligned} \sigma &= E(\epsilon - \epsilon_c) = E\alpha \left[t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2) - \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \right] = \\ &= E\alpha (t_1 - t_2) \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{R^2} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Так как элементарный слой постепенно приобретает упругие свойства, в связи с чем уменьшается осевая деформация вследствие наличия радиальных и тангенциальных напряжений, то введем эмпирический коэффициент $K = \frac{1}{1-\mu}$, учитывающий указанные факторы. Здесь μ — коэффициент Пуассона. Окончательно формула (14) запишется следующим образом:

$$\sigma = E\alpha (t_1 - t_2) \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{R^2} \right) K. \quad (15)$$

Пользуясь формулой (15), вычислим максимальную величину осевых напряжений в слитке из стали 40X.

Наибольшие напряжения возникнут в случае, когда температура осевой части слитка t_1 будет равна 620° [2], а температура наружной поверхности t_2 — нулю. Тогда

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= E\alpha (t_1 - t_2) \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{R^2} \right) K = \\ &= \frac{14800 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 620 \left(\frac{1}{2} - \frac{0}{R^2} \right) \cdot 1}{(1 - 0,32)} \cong 104 \text{ кг/мм}^2. \end{aligned}$$

Надо полагать, что при таких больших осевых напряжениях, примерно в 2 раза превышающих предел прочности ст. 40X при растяжении, в слитке возможно образование поперечных трещин. Напряжений не будет, если $\Delta t = 0$, однако на практике такой случай не имеет места; при небольшом перепаде температур, например, при $\Delta t = 100^\circ$, величина растягивающих осевых напряжений будет равна:

$$\sigma_1 = \frac{14800 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \left(\frac{1}{2} - \frac{0}{R^2} \right) \cdot 1}{(1 - 0,32)} \cong 17 \text{ кг/мм}^2$$

Эти напряжения также велики и, суммируясь с внешними нагрузками, могут привести к разрушению.

Рассмотренные закономерности имеют большое значение для уяснения механизма деформации отливок под действием внутренних напряжений, и они позволяют сделать следующие выводы:

1. Так как чугун сжимающим усилиям сопротивляется в большей степени, чем растягивающим, то деформация отливки при повышенных температурах происходит преимущественно в зонах действия растягивающих напряжений.

2. Поскольку растяжение является более жестким видом напряженного состояния, чем сжатие, то образования трещин в отливках следует ожидать в зонах действия растягивающих напряжений.

При прочих равных условиях образование трещин в отливке оказывается тем более вероятным, чем она более жесткая по своей геометрической форме.

Внутренние силы и конфигурация отливки. На характер распределения внутренних напряжений большое влияние оказывает конфигурация отливки, и ее габаритами и формой определяется как теплосодержание металла, так и процесс теплообмена в системе металл—форма. Характером же теплообмена обуславливается и распределение температур в отливке, а следовательно, процессы усадки и внутренних напряжений. Кроме того, геометрической формой определяется сопротивление деформации отливки, а следовательно, и величина напряжений: термических и усадочных.

В слитках, как указывалось выше, имеют место лишь термические напряжения, в то время как в отливках (особенно крупных и фасонных), сочетающих в себе толстые и тонкие части, возникают как термические, так и усадочные напряжения. Причем, растягивающие усадочные напряжения, как правило, суммируясь с термическими, вызывают в отливке либо искривление, либо трещинообразование.

Чаще всего под действием внутренних напряжений происходит коробление отливок, причем это явление может произойти как до, так и после механической обработки. Например, на рис. 5, а показана массивная плита большой длины, наружные поверхности которой сжаты, а внутренняя область растянута. После напряжений по отношению к нейтральной оси $a-a$ расположено симметрично, и сжимающие и растягивающие напряжения уравниваются друг друга и не в состоянии искажить геометрическую форму отливки. Но если удалить припуск на обработку, т. е. сжатый слой металла, симметрия поля напряжения нарушается. Растянутые центральные слои в этом случае получают возможность сократиться, а сжатые слои на нижней грани плиты удлиняться, и отливка, разгружаясь от внутренних напряжений, изгибается, как показано на рис. 5, а пунктиром.

По нашему мнению, подобные отливки необходимо подвергать двойной механической обработке: черновой и спустя некоторое время чистовой. Перед чистовой обработкой можно произвести также низкотемпературное старение при 100—200° с целью искусственного перераспределения атомов в металле и освобождения отливки, в связи с этим, от внутренних напряжений.

Вычислим величину внутренних напряжений, вызывающих в плите коробление или образование трещин.

Выделим из плиты элементарный слой (рис. 5, б) толщиной $2R$ и выведем формулу, описывающую его напряженное состояние. В первоначальный момент после заливки температура по сечению слоя распределяется по прямой линии $a-b-a$. Затем по мере охлаждения распределение температуры согласно равенству (11) пойдет по кривой $a_1-b_1-a_1$, имеющей параболический характер [6]:

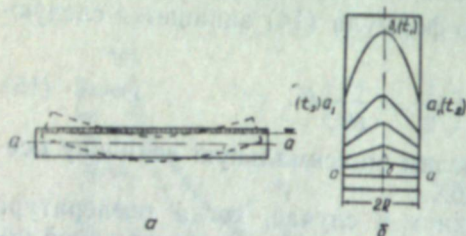


Рис. 5. К расчету внутренних напряжений в плите:

а — схема напряженного состояния; б — распределение температур в элементарном слое; t_1 — температура осевой части; t_2 — температура наружной поверхности.

$$t = t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2).$$

Относительное свободное сокращение слоя будет равно:

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_t}{l_0}, \quad (16)$$

где l_0 — первоначальная длина;

l_t — длина при температуре t° .

Так как плита состоит из бесконечно большого количества элементарных слоев, взаимно связанных между собой, то при температуре t° они будут иметь одинаковую длину. Относительное связанное сокращение ε_c найдем исходя из того, что в рассматриваемой системе отсутствуют внешние силы, а внутренние находятся в равновесии. Тогда согласно равенству (12) можно записать:

$$\int_0^R E(\varepsilon - \varepsilon_c) dr = 0. \quad (17)$$

Для решения этого выражения относительно ε_c необходимо найти значение ε . Для этого подставим в равенство (16) вместо l_t его значение:

$$l_t = l_0(1 - \alpha t), \quad (18)$$

а вместо t — значение температуры для случая параболического распределения температур:

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_0 \left[1 - \alpha \left[t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2) \right] \right]}{l_0} = \alpha \left[t_1 - \frac{r^2}{R^2} (t_1 - t_2) \right]. \quad (19)$$

Подставив в равенство (17) найденное значение ε , получим:

$$\varepsilon_c = \frac{1}{3} \alpha (2t_1 + t_2). \quad (20)$$

Зная ε и ε_c определим величину напряжений:

$$\sigma = E(\varepsilon - \varepsilon_c) = E\alpha(t_1 - t_2) \left(\frac{1}{3} - \frac{r^2}{R^2} \right). \quad (21)$$

Формула (21) позволяет определять величину внутренних напряжений как в любой точке поперечного сечения плиты, так и в наружных и осевых ее частях. Например, внутренние напряжения растяжения, действующие по оси плиты (рис. 6, а), будут равны:

$$\sigma_1 = E\alpha(t_1 - t_2) \left(\frac{1}{3} - \frac{0}{R^2} \right) = \frac{1}{3} E\alpha(t_1 - t_2), \quad (22)$$

а напряжения сжатия, действующие на поверхности плиты при $r=R$, опишутся следующей формулой:

$$\sigma_2 = E\alpha(t_1 - t_2) \left(\frac{1}{3} - \frac{R^2}{R^2} \right) = -\frac{2}{3} E\alpha(t_1 - t_2). \quad (23)$$

Вычислим напряжения для плиты, отлитой из стали 40X, для которой при 600—620° $E = 14800 \text{ кг/мм}^2$, $\alpha = 15 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$.

Наибольшие напряжения возникнут, если внутренняя (осевая) зона будет иметь температуру $t_1 = 620^\circ$, а наружная — $t_2 = 0$. Тогда

$$\sigma_1 = \frac{1}{3} E \alpha (t_1 - t_2) = \frac{1}{3} 14800 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 620 \approx 46 \text{ кг/м.м}^2,$$

$$\sigma_2 = -\frac{2}{3} E \alpha (t_1 - t_2) = -\frac{2}{3} 14800 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 620 \approx -92 \text{ кг/м.м}^2.$$

Напряжения растяжения, представляющие, как указывалось выше, наибольшую опасность, составляют около 70% от предела прочности стали 40X при 600—620°. Такие напряжения в состоянии вызвать коробление, а незначительная внешняя нагрузка — образование трещин в отливке.

Затвердевание и охлаждение фасонной отливки, очевидно, происходит в еще худших условиях, так как сопротивление формы или стержня вызывает в ней, как правило, растягивающие напряжения. Это объясняется тем, что материал формы или стержня является не пассивным, а активным препятствием усадке, и он сам по мере прогревания расширяется навстречу отливке.

Подсчет и экспериментальное определение напряжений охлаждающихся в подобных условиях отливок — задача наших ближайших исследований.

Не дифференцируя литейные напряжения на термические, фазовые и усадочные, на временные и остаточные, а также в зависимости от зоны их влияния, отметим, что большое значение представляют остаточные литейные напряжения I и II рода, так как знание причин и законов возникновения этих напряжений дает возможность правильно построить технологический процесс и более эффективно решить задачу получения здоровых отливок.

Таким образом, литейные напряжения являются главным фактором, существенно осложняющим процесс формирования отливок и технологию их изготовления.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22/IV 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Орешкин, А. Н. Краснов, В. Д. Репкин, В. М. Соколов, Ю. Б. Фукс, К вопросу о продолжительности выдержки крупных отливок в форме, Сб. тр. ХМИ ЗСФАН СССР, № 11, 1958.
2. Н. Г. Гиршович, Чугунное литье, Металлургиздат, 1949.
3. Б. В. Рабинович, А. С. Константинов, Литейные свойства чугуна, М., 1957.
4. Ю. А. Нехендзи, Стальное литье, Metallurgizdat, 1948.
5. А. А. Корнилов, Ю. Б. Фукс, В. М. Соколов, Принудительное охлаждение крупных отливок. «За технический прогресс», № 8—9, Новосибирск, 1957.
6. А. А. Рыжиков, Теоретические основы литейного производства, Машгиз, 1954.

Н. Г. КАПУСТИН

СИСТЕМА РАСЧЕТОВ ДЛЯ ПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ МОЩНОСТИ КАРЬЕРА

Крутой подъем открытой угледобычи, намеченный по плану шестой пятилетки, требует строительства новых карьеров. Обширные угольные районы Казахстана, Западной и Восточной Сибири доступны для разработки карьерами почти любой мощности, а для обеспечения соответствующих потребностей этих карьеров энергией и техникой у нас есть все возможности.

В настоящее время Гипрошахты проектируют ряд угольных разрезов мощностью от 0,3 до 12 млн. т в год. При этом их первой задачей является установление годовой производительности предприятия.

Трудно переоценить значение правильно установленной мощности карьера. От этого зависят срок строительства, себестоимость добычи, производительность труда рабочих, эффективность использования капитальных вложений. Проектная мощность угольного разреза, как всякого социалистического предприятия, должна быть прежде всего рациональной.

Рациональной мощностью карьера следует называть ее технически достижимый размер, при котором обеспечиваются на протяжении срока службы предприятия: максимальные запасы карьерного поля, минимальная средняя себестоимость добычи полезного ископаемого, нормальный срок окупаемости основных фондов, эффективное использование новой горной техники, максимальная продукция в рублях, получаемая на 1 рубль капитальных вложений, и выполнение государственного плана развития данного горно-промышленного района.

В настоящей статье мы излагаем систему расчетов проектного обоснования мощности угольного разреза в виде решения числового примера.

Найдем мощность разреза для условий бурогоугольного пласта с горизонтальной мощностью $M = 100$ м, углом падения $\alpha = 20^\circ$, глубиной наносов $H = 40$ м, простиранием $S = 2000$ м.

Приток воды малый. Транспорт осуществляется электровозами по почве пласта, где уложена тупиковая капитальная трасса, выходящая через траншею глубиной 40 м к внешним отвалам в 1000 м от устья траншеи. Себестоимость подземной добычи $e = 80$ руб./м³. Трудоемкость процессов принимаем по данным М. И. Луговкиной [1], стоимостные параметры — из работ В. В. Попова [2] и А. С. Фиделева [3]. В основу расчета кладем исследование вариантов мощности разреза 900, 1800, 2700 и 5000 тыс. т в год (табл. 1).

По поводу данных табл. 1 заметим, что количество вариантов определяется требованием теории погрешностей о проведении сглаживающих кривых не менее чем через 4—5 точек. При выявлении технико-экономических показателей и параметров по вариантам необходимо выполнить требование эффективного использования новой горной техники, состав которой будет меняться для каждого исследуемого варианта мощности предприятия. Может оказаться, что состав производственного оборудо-

Таблица 1

Показатели вариантов

Мощность разреза, млн. т	Емкость ковша вскрышного экскаватора, м ³	Высота уступа, м	Стоимость м ³ , руб	
			отделения и погрузки	транспорта на 1 дог. м пути
0,9	3	10	3,8	0,23 · 10 ⁻³
1,8	4	12	3,5	0,21 · 10 ⁻³
2,7	6	15	3,3	0,20 · 10 ⁻³
5,0	6	20	3,3	0,20 · 10 ⁻³

вания, схемы экскавации и вскрытия, системы транспорта для малой и большой мощности карьера будут качественно резко отличаться. В условиях обширного месторождения длина карьерного поля S столь же неизвестна, как и глубина разработки z . В таких случаях определение величины S и z осуществляется совместно, как это предложено А. С. Фиделевым [3—5]. Тогда длина карьерного поля S по вариантам мощности карьера будет также изменяться.

Далее рассмотрим некоторые издержки производства на добычу угля.

Стоимость внешней капитальной траншеи по общеизвестной формуле:

$$K^I = k_n \left(\frac{b}{2} + \frac{H}{3} \right) \frac{H^2}{i} \varphi,$$

где k_n — полная стоимость м³ проведения траншеи = 12 руб;

b — ширина траншеи по почве (ПТЭ, § 23) соответственно вариантам = 8, 10 и 16 м. При мощности разреза 5 млн. т предусматриваются две независимые траншеи: $b = 16$ и 12 м;

i — уклон траншеи = 0,03;

φ — коэффициент удлинения = 1,2.

Тогда $K_9^I = 13,2$; $K_{18}^I = 14,2$; $K_{27}^I = 16,4$; $K_{50}^I = 16,4 + 15 = 31,4$ млн. руб. Здесь и далее индексы (9, 18, 27 и 50) показывают мощность карьера — 900, 1800, 2700 и 5000 тыс. т в год, для которой установлен тот или иной параметр.

Стоимость железнодорожных путей и тролля капитальной трассы до предельного горизонта будет

$$K^{II} = k_r (nh + H) \frac{\varphi}{i},$$

где $\varphi = 1,3$;

h — высота породного уступа;

k_r — стоимость возведения пог. м пути и тролля по вариантам: 600, 750, 900 и 1650 руб.

n — число уступов.

$$K_9^{II} = 1 + 0,26n; \quad K_{18}^{II} = 1,3 + 0,4n; \quad K_{27}^{II} = 1,44 + 0,52n.$$

Учитывая две независимые трассы в варианте мощности 5 млн. т в год, получим $K_{50}^{II} = 2,86 + 1,44n$.

Стоимость забойных путей и тролля:

$$K^{III} = k_3 \left[\frac{n+2}{2} S + Mn + 0,5n(n+1)h(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha) \right],$$

где величина γ — угол откоса бортов: $\gamma_9 = 45^\circ$, $\gamma_{18} = 45^\circ$, $\gamma_{27} = 40^\circ$, $\gamma_{50} = 38^\circ$.

k_3 — стоимость пог. м. пути и тролля = 200 руб.

$$K_9^{III} = 0,22n + 0,0038n^2 + 0,4$$

$$K_{18}^{III} = 0,22n + 0,0047n^2 + 0,4$$

$$K_{27}^{III} = 0,22n + 0,006n^2 + 0,4$$

$$K_{50}^{III} = 0,22n + 0,008n^2 + 0,4 \text{ млн. руб.}$$

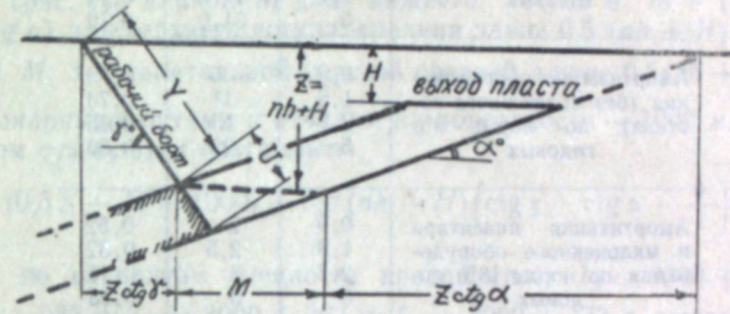


Рис. 1. Схема для подсчета коэффициента вскрыши и среднего пути транспортирования.

Предельный коэффициент вскрыши μ устанавливается из геометрических соображений (рис. 1).

$$U = \frac{M}{\cos \gamma + \sin \gamma \cdot \text{ctg } \alpha}; \quad Y = \frac{z}{\sin \gamma} = \frac{nh}{\sin \gamma} + \frac{H}{\sin \gamma}; \quad \mu = \frac{Y}{U};$$

$$\mu = \frac{h}{M} (\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha) n + \frac{H}{M} (\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha).$$

Имея в виду варианты значения величин h и γ , находим:

$$\mu_9 = 1,77 + 0,41n; \quad \mu_{18} = 1,77 + 0,52n;$$

$$\mu_{27} = 1,77 + 0,64n; \quad \mu_{50} = 1,77 + 0,81n.$$

Стоимость отвальных путей при их максимальном развитии:

$$K^{IV} = \left(l_m \mu \frac{1,3A}{A_m} + 1000 \right) k_3,$$

где l_m — длина отвального тупика = 500 м;

1,3 — коэффициент разрыхления;

A — мощность разреза в м³ угля в год;

A_m — годовая производительность одного отвального тупика в м³;

длина подъездных путей 1000 м.

$$K_9^{IV} = 0,365 + 0,026n; \quad K_{18}^{IV} = 0,365 + 0,07n;$$

$$K_{27}^{IV} = 0,365 + 0,12n; \quad K_{50}^{IV} = 0,365 + 0,27n.$$

Общая стоимость путей и тролля в млн. руб.

$$\Sigma K = K^{II} + K^{III} + K^{IV}$$

$$\Sigma_9 K = 1,76 + 0,51n + 0,0038n^2;$$

$$\Sigma_{18} K = 2,05 + 0,7n + 0,0047n^2;$$

$$\Sigma_{27} K = 2,32 + 0,89n + 0,006n^2;$$

$$\Sigma_{50} K = 4,06 + 1,83n + 0,008n^2.$$

Амортизационные расходы a^I на m^3 угля сведены в табл. 2, где подвижной состав не учитывается, так как его амортизация уже вошла в издержки соответствующего процесса — экскавации, транспорта.

Таблица 2

Амортизационные расходы			
Наименование фондов и расходов	Мощность разреза, млн. т/г.	Стоимость фондов, млн. руб.	Расходы на 1 m^3 угля, руб.
Ремонт зданий и сооружений по норме 1,5% годовых	0,9	8	0,18
	1,8	11,8	0,14
	2,7	17,5	0,12
	5	31,0	0,12
Амортизация оборудования (без подвижного состава) по норме 9% годовых	0,9	6	0,79
	1,8	11	0,73
	2,7	15	0,65
	5	25	0,60
Амортизация инвентаря и малоценного оборудования по норме 18% годовых	0,9	2	0,52
	1,8	2,5	0,32
	2,7	3	0,26
	5	5	0,23
Итого, руб./ m^3	0,9		1,5
	1,8		1,2
	2,7		1,0
	5		0,9

Стоимость зданий и сооружений — B , а также капитальной траншеи — K^I , отнесенная к 1 m^3 угля будет:

$$a^{II} = \frac{B + K}{MSnh}$$

По вариантам мощности карьера это составит последовательно:

$$a_9^{II} = \frac{10,6}{n}; \quad a_{18}^{II} = \frac{10,8}{n}; \quad a_{27}^{II} = \frac{11,3}{n}; \quad a_{50}^{II} = \frac{15,6}{n} \text{ руб.}$$

Расходы на амортизацию всех путей по годовой норме 9% составят величину:

$$a^{III} = \frac{10,09 \sum K}{A}$$

По вариантам мощности разреза имеем:

$$\begin{aligned} a_9^{III} &= 0,23 + 0,066n + 0,0005n^2; \\ a_{18}^{III} &= 0,13 + 0,046n + 0,0003n^2; \\ a_{27}^{III} &= 0,1 + 0,041n + 0,00026n^2; \\ a_{50}^{III} &= 0,1 + 0,04n + 0,0002n^2 \text{ руб./}m^3. \end{aligned}$$

Стоимость отделения и погрузки горной массы по разносу бортов и выемки угля $a^{IV} = (1 + \mu)k_B$, где k_B — стоимость 1 m^3 в рублях согласно данным табл. 1.

Учитывая изменения параметров μ , k_B по вариантам, найдем:

$$\begin{aligned} a_9^{IV} &= (2,77 + 0,41n)3,8 = 1,56n + 10,5; \\ a_{18}^{IV} &= (2,77 + 0,52n)3,5 = 1,82n + 9,7; \\ a_{27}^{IV} &= (2,77 + 0,64n)3,3 = 2,11n + 9,17; \\ a_{50}^{IV} &= (2,77 + 0,81n)3,3 = 2,67n + 9,17 \text{ руб./}m^3. \end{aligned}$$

Расстояние внутрикарьерного транспорта изменяется для каждого уступа. Поэтому логично ввести понятие [5, 6] средней дистанции l , которая последовательно складывается следующими ее элементами: 1 — забойными путями средней длины $0,5S$; 2 — пути торцовых транспортных берм (рис. 1) длиной M для нижнего уступа и $M + (nh + H)(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha)$ для верхнего уступа; средняя длина $0,5(nh + H)(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha) + M$; 3 — капитальной трассой средней длины $0,5(nh + H)\frac{\varphi}{i}$; 4 — стационарными путями к отвалам на поверхности — 1000 м.

Найдем сумму этих слагаемых:

$$l = (0,5S + M + 1000) + 0,5(nh + H)(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \alpha + \frac{\varphi}{i}).$$

Тогда по вариантам мощности предприятия: $l_9 = 3000 + 236n$; $l_{18} = 3000 + 283n$; $l_{27} = 3000 + 363n$; $l_{50} = 3000 + 473n$, метры.

Стоимость транспорта 1 m^3 угля с учетом вскрыши борта составит величину $a^V = (1 + \mu)lq$, где q — «цена» тонна-метра грузоперевозок по данным табл. 1.

После подстановки соответствующих цифр получим:

$$\begin{aligned} a_9^V &= (2,77 + 0,41n)(3000 + 236n)0,00023 = 1,91 + 0,46n + 0,0266n^2; \\ a_{18}^V &= 1,71 + 0,49n + 0,0312n^2; \\ a_{27}^V &= 1,66 + 0,59n + 0,0465n^2; \\ a_{50}^V &= 1,66 + 0,75n + 0,0766n^2. \end{aligned}$$

Стоимость отделения и погрузки наносов, непосредственно залегающих над выходом пласта, отнесенная к m^3 угля:

$$a^{VI} = H \frac{M + H \text{ctg } 45^\circ}{Mnh} k_n$$

или

$$a_9^{VI} = \frac{14}{n}; \quad a_{18}^{VI} = \frac{11,7}{n}; \quad a_{27}^{VI} = \frac{9,35}{n}; \quad a_{50}^{VI} = \frac{7}{n} \text{ руб.,}$$

где k_n — стоимость m^3 по буровзрывным и экскаваторным работам совместно, равная 2,5 руб.

Стоимость передвижки путей вскрышных забоев в условиях предельного горизонта

$$a^{VII} = \frac{\varepsilon}{Mf} n,$$

где ε — стоимость передвижки 1 лог. м пути, равная 30 руб.

f — толщина вскрываемого слоя угля при каждой переноске путей;

$$f_{9,18} = 1,8; \quad f_{27,50} = 3,6 \text{ м.}$$

Далее имеем:

$$a_{9,18}^{VII} = 0,1 n; \quad a_{27,50}^{VII} = 0,05 n \text{ руб./м}^3.$$

Стоимость отвалообразования на 1 м³ угля $a^{VIII} = 1,3 \mu$, где μ — стоимость 1 м³ отвалообразования = 1,5 руб.

Соответственно вариантам имеем:

$$a_9^{VIII} = 0,8 n + 3,45; \quad a_{18}^{VIII} = 1,0 n + 3,45;$$

$$a_{27}^{VIII} = 1,25 n + 3,45; \quad a_{50}^{VIII} = 1,58 n + 3,45.$$

Стоимость содержания условно постоянного штата трудящихся (контора, МОП и др.) по вариантам

$$a_9^{IX} = 1,66; \quad a_{18}^{IX} = 1,16; \quad a_{27}^{IX} = 1,0; \quad a_{50}^{IX} = 0,9 \text{ руб.}$$

Сумма учтенных затрат на добычу 1 м³ угля будет $a = \sum_1^{IX} a_i$; для разреза мощностью 0,9 млн. т... $a_9 = 19,3 + 3n + \frac{24,6}{n} + 0,027 n^2 \dots$ (1)

$$1,8 \quad a_{18} = 17,4 + 3,46 n + \frac{22,5}{n} + 0,032 n^2 \dots \quad (2)$$

$$2,7 \quad a_{27} = 16,4 + 4n + \frac{20,7}{n} + 0,047 n^2 \dots \quad (3)$$

$$5,0 \quad a_{50} = 16,2 + 5,1 n + \frac{22,6}{n} + 0,077 n^2 \dots \quad (4)$$

Заменяя числовые коэффициенты буквами, получим функцию себестоимости добычи в общем виде для заданной мощности разреза:

$$a = C_1 + C_2 n + \frac{C_3}{n} + C_4 n^2. \quad (5)$$

Как известно, именно такую функцию впервые получил А. С. Фиделев [4]. Себестоимость добычи по формуле (5) соответствует предельному горизонту разработки n_0 , который определяется из условия равенства себестоимости двух способов (открытого — a , подземного — e) разработки: $a = e = 80 \text{ руб./м}^3$.

Приравняв правые части выражений (1—4) себестоимости $e = 80$, получим кубические уравнения с одним неизвестным. Действительные корни этих уравнений есть предельный уступ n_0 , глубже которого открытый способ разработки исключается.

Себестоимость по формуле (5) соответствует предельному горизонту n_0 .

Средняя себестоимость за срок службы предприятия будет:

$$a_c = \frac{1}{n_0} \int_0^{n_0} a dn = C_1 + 0,5 C_2 n_0 + \frac{C_3}{n_0} \ln n_0 + \frac{C_4}{3} n_0^2. \quad (6)$$

Тогда исследованные варианты будут характеризоваться данными табл. 3.

На основе пар значений A и a_c , выбираемых из табл. 3, строим график и видим, что функция сглаживающей кривой этого графика $a_c = F(A)$ может быть представлена выражением:

$$a_c = d + pA + \frac{W}{A}, \quad (7)$$

где коэффициенты d, p, W находим способом наименьших квадратов.

Здесь важно заметить, что полученная функция (7) по своей природе является эмпирической, так как в ее основу положены отдельные калькуляции по независимым вариантам мощности предприятия.

В решаемом примере имеем:

$$a_c \pm 0,3 = 46,9 + 0,7 A + \frac{4,0}{A}, \quad (8)$$

где $\pm 0,3 \text{ руб./м}^3$ — максимальное отклонение тождества (8) (правой его части) от данных табл. 3.

Таблица 3

Характеристика вариантов

Мощность разреза, млн. т. А	Предельный уступ, n_0	Высота уступа, h_m	Промышленные запасы поля, млн. м ³ Q	Средняя себестоимость по формуле (6), руб. м ³ , a_c	Разность себестоимостей
0,9	17,3	10	34,6	52,0	2,0
1,8	15,5	12	37,2	50,7	0,7
2,7	13,4	15	40,2	50,0	0
5,0	10,6	20	42,4	51,2	1,2

Проектная мощность A_0 определится из условия

$$F^1 = p - \frac{W}{A_0^2} = 0,$$

$$A_0 = \sqrt{\frac{W}{p}} = \sqrt{4:0,7} = 2,4 \text{ млн. т в год.} \quad (9)$$

Именно при этой мощности будет минимальная себестоимость

$$a_0 = d + 2\sqrt{pW}, \quad (10)$$

где d — ее часть, не зависящая от мощности предприятия.

Заметим, что

$$a_0 - d = 2\sqrt{pW} = 3,34 \text{ руб./м}^3.$$

Ввиду того, что установление величин p, W связано с погрешностями калькуляций, то ответ, получаемый по формуле (9), также содержит ошибку $\pm m_A$. Поэтому проектное значение мощности разреза будет заключаться в диапазоне от $A_1 = A_0 - m_A$ до $A_2 = A_0 + m_A$. Найдем погрешность m_A . Минимальная себестоимость a_0 по формуле (10) включает в себя ее переменную часть $2\sqrt{pW} = a_0 - d$, ошибку калькуляции которой считаем известной и равной m_E . Погрешность функции $E = 2\sqrt{pW} = 3,34$ будет [7]:

$$m_E = \sqrt{m_p^2 \left(\frac{\partial E}{\partial p}\right)^2 + m_W^2 \left(\frac{\partial E}{\partial W}\right)^2} = \sqrt{m_p^2 A_0^2 + \frac{m_W^2}{A_0^2}},$$

где m_p — погрешность величины p ,
 m_W — погрешность величины W .

Тогда

$$m_p = \frac{1}{A_0} \sqrt{m_E^2 - \frac{m_W^2}{A_0^2}} \quad (11)$$

Далее возьмем логарифм выражения $A_0 = \sqrt{\frac{W}{p}}$;

$$\ln A_0 = 0,5 \ln W - 0,5 \ln p; \quad \frac{dA}{A_0} = \frac{dW}{2W} - \frac{dp}{2p}$$

Зависимость дифференциалов распространяем на соотношение ошибок:

$$\frac{m_A}{A_0} = \frac{\pm m_W}{2W} - \frac{\pm m_p}{2p},$$

где m_p заменим выражением (11),

$$\pm m_A = A_0 \frac{m_W}{2W} \pm \frac{1}{2p} \sqrt{m_E^2 - \frac{m_W^2}{A_0^2}} \quad (11a)$$

Имея в виду выявление предельной абсолютной погрешности m_A , напишем условие максимума:

$$\frac{dm_A}{dm_W} = \frac{A_0}{2W} - \frac{m_W}{p \sqrt{m_E^2 - \frac{m_W^2}{A_0^2}}} = 0 \text{ или } m_W = \frac{A_0 m_E}{\sqrt{2}}$$

По выражению (11) имеем $m_p = \frac{A_0 m_E}{\sqrt{2}}$, а по (11a) имеем $m_A = \frac{m_E}{p \sqrt{2}}$.

В решаемом примере $m_E = 10\%$ от $2 \sqrt{pW}$, или $0,33 \text{ руб./м}^3$; $p = 0,7$;

$$\pm m_A = \frac{0,33}{\sqrt{2 \cdot 0,7}} = 0,34 \text{ млн. } m \text{ в год.}$$

Проектное значение мощности разреза подлежит выбору в диапазоне от $(A_0 - m_A) = 2,4 - 0,33 = 2,06$ до $(A_0 + m_A) = 2,4 + 0,33 = 2,73$ млн. t , где заключены типовые значения мощности $2,1 - 2,4 - 2,7$ млн. t в год.

Из политической экономии социализма известен закон непрерывного повышения производительности труда, который может быть иллюстрирован статистическими данными по угольной промышленности СССР: В 1925 г. производительность труда была 100% , в 1930— 151% , в 1935— 260% , в 1945— 220% , в 1949— 260% и в 1953— 320% .

По мере роста производительности труда снижается себестоимость, а следовательно, и общественно необходимый труд как мера стоимости общественного продукта. Действительно, себестоимость валовой продукции народного хозяйства СССР была снижена за 1-ю пятилетку на $9,2\%$, 2-ю — 10% , 3, 4-ю — 22% и за 5-ю на 20% .

Имея это в виду, горный проектировщик в своих расчетах должен учитывать закономерность снижения стоимости продукции угольной промышленности P и исторически складывающиеся темпы $q\%$ годового снижения этой стоимости.

Валовая продукция проектируемого предприятия выражается в нормах и ценах текущего года, которые диктуют меру снижения себестоимости и, следовательно, стоимости P . Исходя из этого, валовую продукцию проектируемого карьера логично исчислять не на одном уровне

стоимости угля в базисный год строительства предприятия, а с учетом постоянного снижения [8] стоимости угля как продукта целой отрасли народного хозяйства. В принятых обозначениях стоимость угля как общественного продукта за первый год работы карьера составит величину PA , за 2-й — $PA(1-q)$, за 3-й — $PA(1-q)^2$... через t лет $PA(1-q)^{t-1}$, руб.

Суммарно за все годы t службы предприятия:

$$E = \frac{PA}{q} - \frac{PA(1-q)^t}{q} \quad (12)$$

Сомножитель $(1-q)^t$ вычисляем, например, для $q = 0,04$ и ряда значений t . Полученные числа t и $(1-q)^t$ представим диаграммой, для которой находим формулу функции сглаживающей кривой в следующем виде:

$$(1 - 0,04)^t = 0,18 + 5,8/t - 0,003 t$$

или в общем

$$(1 - q)^t = c + b/t - et \quad (13)$$

Выражение (12) с учетом (13) переписывается так:

$$E = - \frac{PA}{q} \left[(1 - c) - \frac{b}{t} + et \right] \quad (14)$$

За срок службы карьера будут осуществлены капитальные вложения

$$mA(1 + \rho t),$$

где ρ — средневзвешенная по видам основных фондов норма на капитальный ремонт в $\%$,

m — удельные капитальные вложения на строительство зданий и сооружений карьера в руб. на t годовой производительности, принимаемые для средних и крупных карьеров более или менее постоянными.

Чтобы выявить степень эффективности капитальных вложений, Госплан СССР [9] рекомендовал подсчитывать «выпуск продукции в рублях на 1 рубль капитальных вложений». Очевидно, целесообразный вариант мощности карьера должен обеспечивать максимальный выпуск удельной продукции:

$$F = \frac{E}{mA(1 + \rho t)} \quad (15)$$

В этом выражении величину t заменим через Q/A , где Q — промышленные запасы карьерного поля.

Получим так называемый показатель эффективности

$$F = \frac{P}{mq} \left[\frac{(1-c)A}{A + \rho Q} - \frac{bA^2}{Q(A + \rho Q)} + \frac{eQ}{A + \rho Q} \right] \frac{P}{m} f(A) \quad (16)$$

Здесь содержится обычно неизвестная для проектировщиков стоимость угля P , как мера общественно необходимых затрат на добычу $1 t$ угля. Однако если величину F для одного значения мощности карьера A_1 принять за 100% , то для другого значения A_2 получим

$$100 \frac{P}{m} f(A_2) : \frac{P}{m} f(A_1) \text{ или } 100 f(A_2) : f(A_1).$$

Как видим, величины P , m в ходе вычисления относительного уровня эффективности сокращаются без остатка.

Воспользуемся формулой (16) для решаемого примера. При этом будем иметь в виду данные: $c = 0,18$; $b = 5,8$; $e = 0,003$; $q = 0,04\%$; $\rho = 0,03\%$ и запасы карьерного поля Q по данным табл. 3.

Например, для мощности карьера $A = 0,9$ млн. т/год и $Q = 34,6$ млн. т.

$$F = \frac{P}{m} \left[\frac{(1 - 0,18) 0,9}{0,9 + 0,03 \cdot 34,6} - \frac{5,8 \cdot 0,9^2}{34,6 (0,9 + 0,03 \cdot 34,6)} + \frac{0,003 \cdot 34,6}{0,9 + 0,03 \cdot 34,6} \right] = 9 \frac{P}{m}$$

Подобно этому устанавливаем величину F для всех других вариантов, как показано в табл. 4.

Ранее было показано, что мощности карьера 2,1—2,7 млн. т/год обеспечивают практически равную себестоимость добычи 1 т угля. Эти же варианты в отношении показателя эффективности значительно отличаются.

Таблица 4

Мощность карьера, млн. т/г	Показатель эффективности вариантов		
	Показатель эффективности F по формуле (16)	%	%
0,9	9 P/m	96	—
1,8	9,4 P/m	100	—
2,1	9,2 P/m	98	110
2,4	8,9 P/m	95	107
2,7	8,35 P/m	89	100
5	3,4 P/m	36	—

В целях удовлетворения наибольшей эффективности капитальных вложений в предприятие, при наименьшей себестоимости его продукции, следует принять к строительству в условиях решаемого примера карьер мощностью 2,1 млн. т/год.

Следует оговориться, что изложенный метод осуществлен путем решения числового примера в простейших геологических условиях участка месторождения с ограниченным простиранием и равнинной земной поверхностью. Если решать аналогичную задачу для сложноструктурного месторождения, то формулы объема капитальной траншеи, коэффициента вскрыши, объема вскрыши над выходами пласта под наносы и др. изменят свой алгебраический вид. Несмотря на это, принцип, подход к решению поставленной задачи, т. е. предлагаемый метод технико-экономического обоснования проектной мощности карьера, полностью сохранится. Нет необходимости краткую журнальную статью, имеющую целью постановку вопроса о новом методе, загромождать сложными алгебраическими, геометрическими и графо-аналитическими расчетами, которые неизбежны при проектировании месторождений сложной структуры. Это тем более излишне здесь, поскольку в ряде монографий Е. Ф. Шешко, А. С. Фиделева, В. В. Ржевского и др. проектировщики найдут ответы на все вопросы, возникающие по ходу выявления наших функций (7), (16) в условиях сложноструктурных месторождений.

Стоимостные и технические параметры, вовлекаемые в числовом примере, являются приближенными. В этом отношении в статье имеются некоторые допущения, например, равенство удельных капитальных вложений, одинаковая стоимость «чистого» транспорта породы и угля электропоездами, а также экскавации угля и породы. Эти допущения стали возможными ввиду иллюстративных целей решаемого примера.

В настоящее время главная задача состоит в разработке принципов, системы расчетов, детали которых могут быть развиты позднее. В статье рассмотрены главные расходы на добычу угля; не рассматриваются, например, расходы на разнос торцовых бортов карьера и др.

Это сделано преднамеренно. Если проектировщику понадобится учесть этот разнос, то он с успехом может воспользоваться соответствующими формулами проф. П. И. Городецкого.

Обширная литература в области проектирования, строительства и эксплуатации карьеров вполне гарантирует успех точного выявления

функций (7) и (16), совместный анализ которых составляет главное в предлагаемом методе.

Некоторые ученые исключают математическое «вмешательство» в разрешение проблемы мощности предприятия. Например, Г. Я. Бурштейн [6] рекомендует отказаться от применения математических методов для решения экономических задач, в особенности таких специальных задач, как определение годовой производительности рудника [6]. С этим согласиться нельзя, так как лишь дифференциальное исчисление дает естественную возможность изображать математически не только состояние, но и процесс (Ф. Энгельс, «Диалектика природы»).

До сих пор проектировщики и экономисты стремились каждый по-своему решать задачу о мощности горного предприятия, вкладывая в это решение только техническое либо экономическое содержание. Между тем имеются пути объединения усилий проектировщика и экономиста для выработки единого решения проблемы типа предприятия на строгих технико-экономических основаниях. Предлагаемая система расчетов, возможно, явится одним из таких путей дальнейшего развития теории проектирования мощности карьера.

Томский политехнический институт

Поступила в редакцию
13/II 1957

ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Луговкина, Производительность труда и трудоемкость процессов на угольных карьерах. Углетехиздат, М., 1954.
2. В. В. Попов, Развитие добычи угля открытым способом в Кузбассе. Автореферат дисс. Новосибирск, 1954.
3. А. С. Фиделев, Расчетные методы при проектировании комплексно-механизированных карьеров. Изд. АН УССР, 1954.
4. А. С. Фиделев, Определение глубины карьера и размеров карьерного поля. Горный журнал, № 3, 1949.
5. А. С. Фиделев, Оконтуривание месторождений для комплексного механизированного карьера. Изд. АН УССР, 1954.
6. Г. Я. Бурштейн, О применении аналитического метода в горном деле. Горный журнал, № 9, 1952.
7. Справочник по маркшейдерскому делу. Углетехиздат, М., 1953.
8. Н. Г. Капустин, Научные основы проектирования контура карьера сложноструктурных пластовых залежей. Автореферат дисс., 1952.

В. Т. ДЗЮБЕНКО

МЕТОД ВЫБОРА ФОРМЫ ЩИТА И ЕГО ПОЛОЖЕНИЯ В ПЛАСТЕ

Одной из особенностей щитовой системы является широкое использование сил тяжести и горного давления для ряда операций, связанных с процессом добычи угля: передвижения щита вниз по падению пласта, разрушения угля по периметру забоя и опорных целиков, транспортировки угля по забою и печам до основного штрека.

Этому благоприятствует направление отработки и крутое падение пластов. С уменьшением угла падения пластов ниже установившегося предела — 55° использование сил природы осложняется, что ведет к ухудшению подвижности щита по почве и кровле пласта и его управляемости, от которых зависит возможность применения щитовой системы в целом. Под управляемостью щита понимается его способность в период движения при общей посадке изменять под действием давления горных пород свой наклон относительно почвы и кровли пласта и перемещаться в заданном направлении. На изменение этих показателей, помимо горно-геологических факторов, влияют положение щита в пласте в период работы, а также конструктивные его особенности, форма щита и наличие устройств, снижающих трение его о почву пласта.

Роль горно-геологических факторов в работе щитов более полно изучена на крутом падении пластов и частично освещена в ряде работ о применении щитов.

На пластах наклонного падения имеются лишь отдельные случаи положительного и отрицательного влияния этих факторов на работу щитов. Например, небольшой взброс почвы пласта или очень слабые породы в ней затрудняют применение щитов.

Более полное исследование производилось лишь в лабораторных условиях на стенде с применением метода моделирования с эквивалентными материалами. Были установлены некоторые зависимости подвижности щита от угла падения пласта, характеристики вмещающих пород и способа управления кровлей. Одновременно исследовались методы ведения щитов различных конструкций и управления ими. Было отмечено, что управляемость щитов зависит от их формы и положения в пласте.

Последнее явление было замечено в производственных условиях при работе секционных щитов. Так, если угол наклона щита оказывался больше или меньше от нормали к пласту, то при общей посадке его движение по почве и кровле было неодинаковым. В первом случае щит двигался быстрее по почве, наклон его увеличивался и он перемещался к кровле. Во втором случае щит двигался быстрее по кровле, угол его наклона уменьшался и он перемещался к почве. Это обстоятельство было использовано при работе щитов на пластах с падением меньше 55° , в частности, на шахтах «Коксовая-2» и «Редаково-Северная» комбината «Кузбассуголь». Наиболее хорошие результаты получены на шахте «Ре-

* Статья печатается в порядке обсуждения. — Ред.

даково-Северная», где в некоторых случаях удавалось вести бессекционные щиты на пластах с падением даже до 45° .

Влияние формы щита на его подвижность впервые замечено при испытании щита на катках в 1945 г. на шахте имени Дзержинского треста «Прокопьевскуголь». Щит, имевший серпообразную форму (рис. 1, б), прошел 33 м по падению, показав хорошую подвижность по почве пласта и хорошую управляемость. В период посадки щит двигался по почве быстрее, чем по кровле, и его поворачивало относительно верхнего конца.

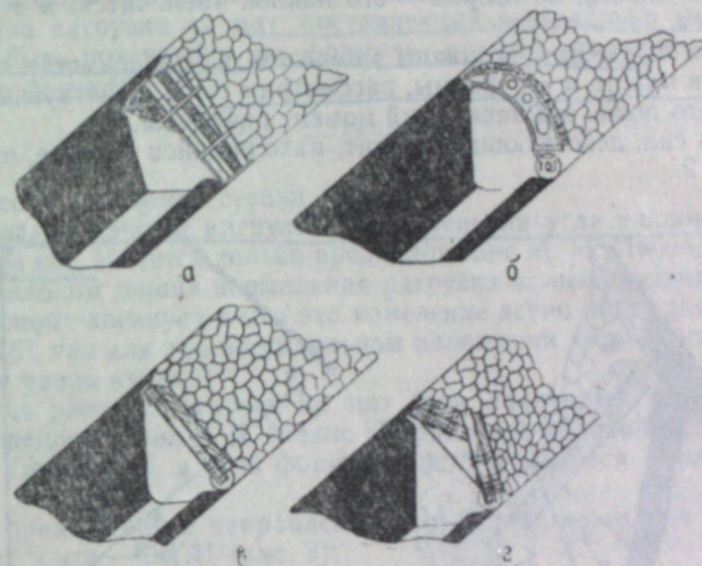


Рис. 1. Конструкции щитов для разработки пластов наклонного падения. а — трапециевидный, б — серпообразный, в — плоский, г — шатровой.

По выражению забойщиков, работавших под щитом, «нижнюю часть щита забрасывало в сторону кровли», т. е. он откатывался от почвы. Чтобы удержать щит у почвы в начальный период работы, его приходилось даже выполаживать путем посадки только по кровле пласта. Управление таким щитом вкрест простирания пласта, в частности, отведение его от почвы к кровле, не представляло больших трудностей. Достаточно было создать плоскость под катками с наклоном меньше падения пласта, и он при посадке перемещался в сторону кровли на значительную величину.

Вопросы движения щитов и управления ими на пластах крутого и наклонного падения освещены в работах ряда исследователей [1—4 и др.]. Эти работы, обосновывая методы ведения плоских щитов, не дают количественной оценки управляемости щитов различных конструкций в зависимости ее от формы и положения щитов в пласте.

В связи с имеющимися тенденциями распространить применение щитовой системы разработки на пласты наклонного падения необходимо более точно знать работоспособность той или иной конструкции и главным образом ее управляемость.

В данной работе предлагается методика количественной оценки управляемости щитов в зависимости от их формы и положения в пласте.

В основу количественной оценки управляемости щита предлагается принять отношение моментов сил, действующих относительно концов его у кровли и почвы пласта. Если обозначить коэффициент управляемости через P , то можно написать:

$$П = \frac{M_B}{M_A}$$

где

M_B — момент сил относительно конца щита у кровли;

M_A — момент сил относительно конца щита у почвы.

Величина $П = 1$ означает, что движение щита по почве и кровле равное. При $П > 1$ щит движется быстрее по почве, а при $П < 1$ — по кровле. В первом случае щит будет двигаться, не меняя своего положения относительно пласта, во втором — его наклон увеличится, а в третьем — уменьшится.

Чтобы определить величины моментов, их зависимость от положения щита в пласте и его формы, рассмотрим силы, действующие на щит в период его покоя и в начальный момент движения.

Схема сил, действующих на щит, находящийся в покое, представлена на рис. 2.

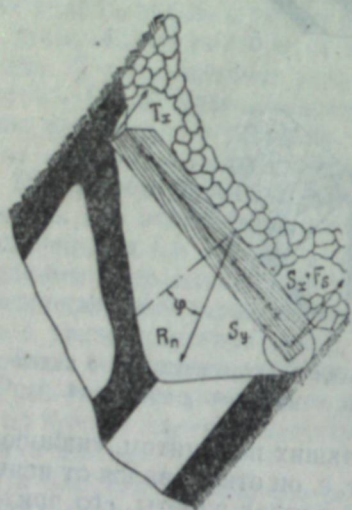


Рис. 2. Схема сил, действующих на щит, находящийся в покое.

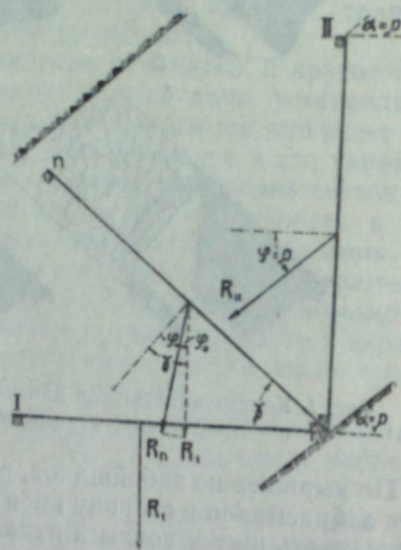


Рис. 3. Точка приложения равнодействующей силы и ее направление при различных положениях щита.

Вес пород, оказывающий давление на щит, может быть заменен равнодействующей силой R_n , приложенной в какой-то точке и направленной под углом φ от нормали щита. С другой стороны на щит действуют тангенциальные силы реакций S_x и T_x , нормальная реакция S_y и пропорциональная ей сила трения F_f .

Величина этих сил зависит от общей нагрузки R_n , которая, в свою очередь, зависит от угла падения пласта α , угла наклона щита γ и размеров щита.

Общую нагрузку R_1 на щит, расположенный горизонтально (рис. 3, I), можно определить по формуле М. М. Протоdjяконова [5].

$$R_1 = \frac{4}{3} \delta \frac{a^2}{f} \quad (1)$$

где δ — объемный вес пород, т/м³;
 f — коэффициент крепости пород;
 a — полупролет щита, м.

Коэффициент крепости для сыпучих пород, какими являются породы за щитом, равен тангенсу угла внутреннего трения ρ , т. е.

$$f = \operatorname{tg} \rho.$$

Тогда

$$R_1 = \frac{4}{3} \delta \frac{a^2}{\operatorname{tg} \rho} \quad (2)$$

Опыт работы бессекционных щитов подтверждает правильность применения этой формулы для подсчета общей нагрузки.

Величина нагрузки на щит, поставленный вертикально (рис. 3, II), R_{II} , может быть подсчитана по формуле расчета подпорных стенок И. П. Прокофьева [6]:

$$R_{II} = \frac{1}{2} \delta h^2 \cos \rho, \quad (3)$$

где h — высота подпорной стенки (щита).

Формул для расчета нагрузок при изменении угла наклона щита γ в литературе нет. Имеется только предположение М. М. Протоdjяконова [5], что с наклоном днища нормальная нагрузка на него изменяется примерно по закону косинуса и что это изменение верно лишь для углов не более 60—70°, так как при вертикальном положении нормальная нагрузка не будет равна нулю.

Формула расчета нагрузки на щит (при наклонных ограждающих стенках), предложенная Е. Я. Махно [7], дана для условий угла падения более 55°. Кроме того, в этой формуле не учитывается угол наклона щита.

Точка приложения и направление R известны, но только в крайних положениях щита — I и II (рис. 3).

При горизонтальном расположении щита сила R_1 приложена по его середине и направлена вертикально вниз [5].

В положении II, где щит стоит под углом 90°, сила приложена также посередине щита, но направлена под углом φ , равным углу внутреннего трения пород ρ [6], что подтверждается и опытами на моделях подпорных стенок [8].

Имея данные величины, точки приложения и направления нагрузки на щит при его вертикальном и горизонтальном положениях, можно определить изменение R в зависимости от γ для α меньше 55°.

Для этого примем следующие условия:

1. Величина R при значении угла наклона щита γ от 0° до 90° будет изменяться в пределах от R_1 до R_{II} и приложена посередине щита;

2. Угол наклона φ силы R при наклоне щита на угол γ будет изменяться от 0° (в положении I) до угла внутреннего трения пород ρ (в положении II), т. е.

$$\varphi = \frac{\rho \gamma}{90};$$

3. Поскольку ρ для обрушенных пород за щитом в условиях Кузбасса находится в пределах от 35 до 50°, в которых лежит и диапазон применения щитов на катках по углам падения пластов, действие распора обрушенных пород на кровлю будет столь незначительным, что им можно пренебречь. А так как щиты покрываются металлической сеткой, то коэффициент трения их о породу будет равен ρ .

Тогда угол трения ρ можно приравнять углу наклона пласта α , а также и углам естественного откоса α_0 и трения пород о щит ρ_0 , т. е.

Сущность
(на рис. 116)

$$\alpha = \rho = \rho_0 = \varphi_0.$$

Исходя из этих положений, рассмотрим, как будет изменяться величина R с изменением наклона пласта и щита.

Равнодействующая сила R_1 , при повороте щита на угол γ на пласте с падением $\alpha = \rho$, изменит свое направление на угол $\varphi = \frac{\alpha \cdot \gamma}{90}$.

Угол между нормалью и R_1 равен углу γ . Тогда угол φ_0 между R_1 и R_n (рис. 3, п) будет равен

$$\varphi_0 = \gamma - \varphi = \gamma \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right).$$

Величина силы R_n определится как проекция силы R_1 на направление R_n .

$$R_n = R_1 \cos \varphi_0 = R_1 \cos \gamma \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right).$$

Подставляя значение R_1 , определяемое по формуле (2), получим:

$$R_n = \delta a^2 \frac{4}{3} \frac{\cos \gamma \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right)}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

При замене в формуле (4) выражения $\frac{4}{3} \frac{\cos \gamma \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right)}{\operatorname{tg} \alpha}$ через K_2 ее можно написать так:

$$R_n = \delta a^2 K_2, \quad (5)$$

где

K_2 — коэффициент, учитывающий влияние углов γ и α .

Зная величину R_n из уравнений статики, можно найти силы реакции T_x , S_x , S_y и силу трения F_S .

В начальный период движения щита схема сил, действующих на него, несколько изменится. В этот период, когда верхние и нижние опоры щита взорваны, силы реакций T_x и S_x равны нулю, щит будет находиться под действием трех сил — R_n , S_y , F_S . Величина R_n может быть найдена из уравнения (5), а силы F_n , S_y — из уравнений статики.

Определив величину и направление сил, можно найти их моменты — M_A , M_B , а также и коэффициент управляемости.

Как показывает опыт ведения секционных и других щитов, характер движения этих щитов при общей посадке зависит от их положения в пласте в начальный момент, от которого зависят и величины сил, действующих у кровли и почвы пласта. Поэтому для оценки работоспособности щитов различных конструкций достаточно сравнить их управляемость для одинаковых положений и, в частности, для начала движения.

Для определения коэффициента управляемости и установления зависимости его от формы и положения щита в пласте найдем силы, действующие на щит, форма которого зависит от величины b , а положение — от угла его наклона γ .

В соответствии со схемой (рис. 4) эти силы будут равны.

Реакция $S_y = R_y = R_n \sin \varphi^1$.

Сила трения F направлена против движения щита и равна

$$F_S = R_y \mu_1 = R_n \mu_1 \sin \varphi^1,$$

где μ_1 — общий коэффициент трения для случая щита на катках. Для щита без катков ставится коэффициент трения μ .

Моменты сил относительно точек A и B , определяемые как произведение сил на соответствующие плечи, равны:

$$M_A = R_n \cdot C_1, \quad (6)$$

$$M_B = R_n C_2 + S_y e - F_S d. \quad (7)$$

Из треугольников $A_n n_1 O$ и $B_n n_2 O$ плечи c_1 , c_2 выразим через размеры a_1 , a_2 и b , определяющие точку приложения равнодействующей силы R_n :

$$c_1 = A_n O \cos (\varphi + \omega_1);$$

$$c_2 = B_n O \cos (\varphi - \omega_2);$$

$$A_n O = \frac{a_1}{\cos \omega_1}; \quad B_n O = \frac{a_2}{\cos \omega_2}.$$

Углы ω_1 и ω_2 выразим через отношение $\frac{b}{a_1}$ и $\frac{b}{a_2}$:

$$\omega_1 = \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1}; \quad \omega_2 = \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2}.$$

Тогда

$$c_1 = \frac{a_1}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_1}} \cdot \cos \left(\frac{\gamma \alpha}{90} + \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1} \right);$$

$$c_2 = \frac{a_2}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_2}} \cdot \cos \left(\frac{\gamma \alpha}{90} - \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2} \right).$$

Плечи e и d выразим также через a_1 и a_2 :

$$e = (a_1 + a_2) \cos \beta; \quad d = (a_1 + a_2) \sin \beta.$$

Подставив значения c_1 и c_2 и e , d в формулы (6) и (7), получим:

$$M_A = R_n a_1 \frac{\cos \left(\frac{\gamma \alpha}{90} - \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1} \right)}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_1}};$$

$$M_B = R_n a_2 \left[\frac{\cos \frac{\gamma \alpha}{90} + \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2}}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_2}} + \left(1 + \frac{a_1}{a_2}\right) \sin \varphi^1 \cos \beta (1 - \mu_1 \operatorname{tg} \beta) \right].$$

Управляемость щита Π , определяемая как отношение моментов, будет равна

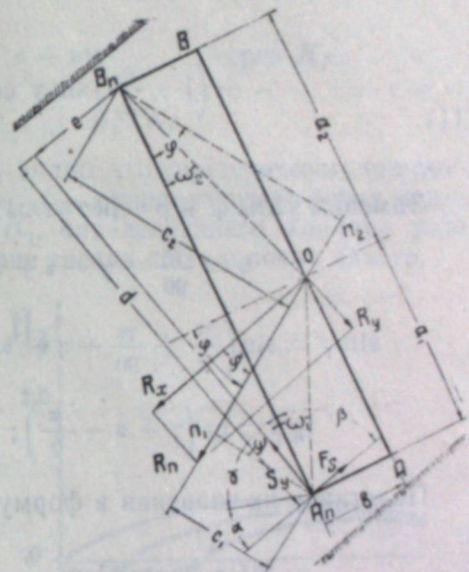


Рис. 4. Схема действия сил в начальный момент движения щита выпуклой формы при положении его в пласте под углом.

$$\begin{aligned}
 \Pi = \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_2}}{\cos \left(\frac{\gamma\alpha}{90} - \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2} \right)} \left[\frac{\cos \left(\frac{\gamma\alpha}{90} + \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1} \right)}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_1}} + \right. \\
 \left. + \left(1 + \frac{a_1}{a_2} \right) \sin \varphi' \cos \beta (1 - \mu_1 \operatorname{tg} \beta) \right]. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Заменим углы φ' и β через углы наклона щита γ и падения пласта α :

$$\varphi = \frac{\gamma\alpha}{90} - \gamma - \alpha + \pi; \quad \beta = \pi - \gamma - \alpha;$$

$$\sin \varphi' = \sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma\alpha}{90} - \gamma - \alpha \right); \quad \cos \beta = \sin \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right);$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right); \quad \cos \varphi = \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma\alpha}{90} \right).$$

Подставив их значения в формулу (8), получим

$$\begin{aligned}
 \Pi = \frac{a_1}{a_2} \frac{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_2}}{\cos \left(\frac{\gamma\alpha}{90} + \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2} \right)} \left(\frac{\cos \left(\frac{\gamma\alpha}{90} - \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1} \right)}{\operatorname{cosarctg} \frac{b}{a_1}} + \right. \\
 \left. + \left(1 + \frac{a_1}{a_2} \right) \sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma\alpha}{90} - \gamma - \alpha \right) \sin \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right) \times \right. \\
 \left. \times \left[1 - \mu_1 \operatorname{tg} \left(\gamma - \alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right] \right). \quad (9)
 \end{aligned}$$

Формула (9) дает зависимость управляемости щита от углов α и γ , величин a_1 , a_2 , определяющих точку приложения силы R_n по мощности щита, и b — относительно плоскости опор. Степень влияния этих факторов на управляемость щита различна. Чтобы установить наиболее выгодные их значения, рассмотрим их в отдельности.

С этой целью приравняем величину b нулю, что соответствует плоскому щиту, и обозначим управляемость его через Π_γ . Формула (9) примет вид:

$$\begin{aligned}
 \Pi_\gamma = \frac{a_1}{a_2} + \left(1 + \frac{a_1}{a_2} \right) \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma\alpha}{90} - \gamma - \alpha \right) \sin \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma\alpha}{90} \right)} \times \\
 \times \left[1 - \mu_1 \operatorname{tg} \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right) \right]. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Обозначив отношение $\frac{a_2}{a_1}$ через K_k , выражение

$$\frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma\alpha}{90} - \gamma - \alpha \right) \sin \left(\gamma + \alpha - \frac{\pi}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma\alpha}{90} \right)} \quad \text{через } K_\gamma$$

и выражение

$$[1 - \mu_1 \operatorname{tg} (\gamma + \alpha - \pi)] \quad \text{через } K_T,$$

получим

$$\Pi_\gamma = K_\gamma + (1 + K_k) \cdot K_\gamma \cdot K_T. \quad (11)$$

Таким образом, из формулы (11) видно, что управляемость плоского щита зависит от трех коэффициентов: K_k , определяющего точку приложения равнодействующей к щиту; K_γ , определяющего влияние углов наклона; и K_T , определяющего влияние трения щита о почву пласта.

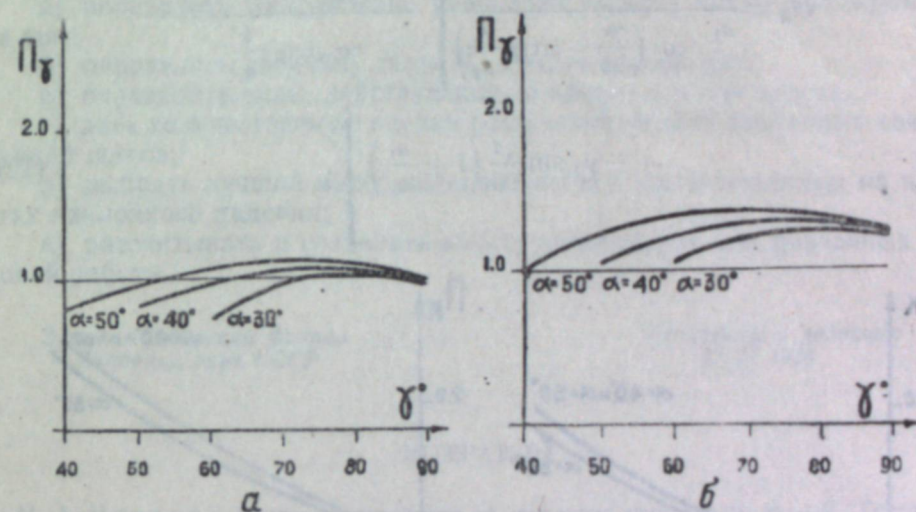


Рис. 5. Графики зависимости управляемости плоского щита от угла γ для пластов с падением α : а — для щита без катков, б — на катках.

Зависимость управляемости от угла γ для плоских щитов на катках и без катков и падения пластов от 30 до 50° показана на рис. 5. Большая подвижность во втором случае объясняется только влиянием коэффициента K_k . Значение его для щита без катков размером 5 м равно единице, так как $a_1 = a_2 = 2,5$ м, т. е. равнодействующая нагрузка R_n приложена посередине [6]. В конструкции щита на катках нагрузка также приложена посередине, но вследствие того, что нижняя опора щита находится выше почвы пласта на размер радиуса катка, $a_1 = 2$ м и $a_2 = 2,5$ м. Коэффициент K_k в этом случае равен 1,25. Общий коэффициент трения μ_1 для щита на катках и коэффициент трения μ скольжения щита без катков приняты равными. Если же учесть, что трение качения меньше трения скольжения, то значение Π_γ для щита на катках будет еще больше.

Управляемость щитов в обоих случаях возрастает с увеличением угла γ до 60—70°, а затем уменьшается. Следовательно, наклон щитов при работе должен находиться в таких же пределах.

Управление щитами при значении $\Pi > 1$ можно производить путем общей их посадки. Большой момент сил, действующий относительно верха щитов, и общее их движение способствуют отводу щитов от почвы пласта.

Существующие конструкции щитов разнообразны по форме и эксплуатационным качествам.

В щитах б и г (рис. 1) точки опоры по кровле и почве пласта не лежат в одной плоскости с точкой приложения силы R_n , и по управляемости эти щиты значительно отличаются от плоских. Зависимость ее от расстояния между плоскостями — b может быть определена из формулы (9) путем исключения из нее влияния угла наклона щита. Для этого примем, что щит располагается по нормали к пласту и переменной является лишь величина b , т. е. угол $\beta = \gamma + \alpha = 90^\circ$ и угол $\varphi^1 = \varphi = \frac{\gamma \cdot \alpha}{90}$.

После обозначения управляемости щита в этом случае через Π_K и преобразования выражения (8) формула (9) примет вид:

$$\Pi_K = \frac{a_2}{a_1} \frac{\cos \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2}}{\cos \left(\frac{\gamma \alpha}{90} - \operatorname{arctg} \frac{b}{a_2} \right)} \left[\frac{\cos \left(\frac{\gamma \alpha}{90} + \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1} \right)}{\cos \operatorname{arctg} \frac{b}{a_1}} - \mu_1 \sin \frac{\gamma \alpha}{90} \left(1 + \frac{a_1}{a_2} \right) \right]. \quad (12)$$

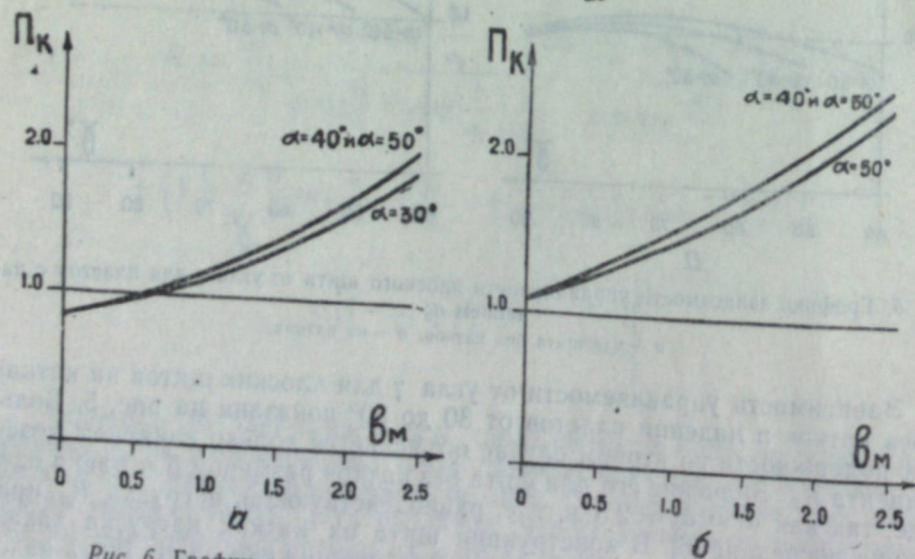


Рис. 6. График зависимости управляемости щита от величины b : а — для щита без катков, б — на катках.

Зная величину b , можно определить Π_K при наклоне щита по нормали к пласту.

На рис. 6, а, б графически изображены зависимости управляемости щитов без катков и на катках для размера их по мощности 5 м и падении пласта α .

Управляемость щита возрастает с увеличением b , т. е. если точки опоры щита по почве и кровле отстоят от плоскости приложения силы R_n , то управляемость его увеличивается.

Таким образом, для того, чтобы легче было вести щиты и управлять ими на пластах с углом падения 30—50°, форма их должна быть такой, при которой опоры располагались бы впереди плоскости приложения

сил. Этим условиям могут удовлетворять серпообразный, шатровый, тупоугольный, трапециодальный и другой формы щиты (рис. 1). При значении $b = 2,0$ м коэффициент управляемости будет равен 2, т. е. момент сил относительно точки щита у кровли пласта будет в 2 раза больше, чем у почвы. Благодаря этому может быть снижен угол падения пласта, при котором возможно передвижение щита вниз по падению без применения каких-либо принудительных механических или гидравлических усилий.

Выводы

Предлагаемая методика определения управляемости щита и величины моментов сил в зависимости от формы и положения щита в пласте позволит:

- определить направление равнодействующей силы, действующей на щит;
- определить величину силы R_n и ее составляющих;
- определить силы, действующие по кровле и почве пласта;
- дать количественную оценку работоспособности различных конструкций щитов;
- выбрать лучший метод ведения щитов и управления ими на пластах наклонного падения;
- рассчитывать и создавать конструкции щитов для различных условий работы.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12/VI 1958

ЛИТЕРАТУРА

- Н. А. Чинакал, Система разработки со щитовым креплением. М.—Л., Гостопиздат, 1943.
- И. Н. Степанов, Передвижное крепление очистных забоев. Углетехиздат, М., 1951.
- В. Т. Дзюбенко, Результаты испытаний щита для пластов наклонного падения. Уголь, № 7, 1953.
- В. Т. Дзюбенко, О. Н. Чинакал, Испытание бессекционного щита на катках. Уголь, № 5, 1956.
- М. М. Протоdjаконов, Давление горных пород и рудничное крепление, ч. 1. ГНТИУ, 1930.
- И. П. Прокофьев, Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок. Госстройиздат, М., 1947.
- Е. Я. Махно, Вопросы разработки крутопадающих пластов угля с применением щитовой крепи. Углетехиздат, М., 1957.
- Г. К. Клейн, Строительная механика сыпучих тел. Госстройиздат, М., 1956.

В. С. КАМИНСКИЙ, В. И. КОРШУНОВ, М. С. СОКОЛОВА

ОБОГАЩЕНИЕ БУРЕЙНСКИХ УГЛЕЙ МЕТОДАМИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СЕПАРАЦИИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ*

Буреинский каменноугольный бассейн, расположенный на юге Хабаровского края, является одной из крупных угольных баз Дальнего Востока. Площадь его около 12 тыс. км².

Буреинские угли уже давно привлекают внимание исследователей, занимающихся развитием производительных сил советского Дальнего Востока. Однако высокая зольность этих углей требует их обязательно обогащения, встречающего значительные трудности из-за специфики их строения.

Значительная часть минеральных включений в буреинских углях относится к «внутренним», тесно перемешавшимся с органической массой углей в ранние периоды ее формирования (когда она была еще пластичной). Как известно, подобные примеси особенно трудно поддаются удалению из угля в процессе его обогащения.

Результаты фракционных анализов буреинских рядовых углей показывают, что содержание в них средних промпродуктовых фракций уд. веса 1,4—1,8 составляет свыше 45%; при измельчении угля до 12 мм оно снижается лишь на 10%. Поэтому схемы обогащения буреинских углей не могут укладываться в рамки обычных комбинированных гравитационно-флотационных процессов.

В 1936—1939 гг. буреинские угли исследовались гравитационными методами в ВУХИНе, МГИ и СибВНИГИ, в результате чего были получены концентраты с зольностью 15% при выходе 25—35%. В 1938—1939 гг. работами, проведенными под руководством Н. П. Чижевского, была подтверждена трудная обогатимость буреинских углей: был получен концентрат зольностью 13—17%, при выходе не выше 35% [1, 2].

Учитывая тонкую вкрапленность минеральных частиц в угольной массе буреинских углей, сотрудники Московского горного института В. И. Трушлевич и М. С. Соколова в 1939—1940 гг. впервые полностью обогатили эти угли методом флотации при измельчении их до 0,4 мм.

После Отечественной войны исследования по обогащению буреинских углей были продолжены в ВУХИНе, ВУГИ и МГИ [3—5]. Результаты этих исследований приведены в табл. 1, а рекомендованные в то время схемы обогащения — на рис. 1 и 2.

Поиски путей повышения эффективности обогащения буреинских углей вызвали необходимость применить новейшие методы обогащения.

В 1954 г. были проведены предварительные опыты по обогащению одних и тех же проб буреинских углей в ВУХИНе по комбинированной схеме, включающей обогащение в тяжелых суспензиях, отсадку и флотацию, и на Жилевской опытно-экспериментальной обогатительной фаб-

* В экспериментальных работах по центробежному обогащению буреинских углей принимали участие Е. А. Богорад (ИГИ АН СССР), М. Д. Коган, М. И. Болунцева, Н. М. Шульман (Жилевская экспериментальная фабрика ВНИИ Углеобогащения).

Таблица 1

Результаты исследований обогатимости буреинских углей различными организациями, %

Наименование пластов	ВУХИН, Губахинская ОФ (отсадка)			ВУГИ (отсадка+флотация)			МГИ (отсадка+флотация)		
	концентрат		исход. уголь	концентрат		исход. уголь	концентрат		исход. уголь
	выход	зольн.	зольн.	выход	зольн.	зольн.	выход	зольн.	зольн.
Эльга	—	—	—	32,3	10,4	35,3	32,0	13,0	35,1
Янкан	—	—	—	31,7	10,0	34,0	42,0	12,3	38,0
Сивак Нижний	—	—	—	40,9	10,0	33,8	62,2	11,6	26,2
Чаланык Верхний	33,4	15,0	31,2	48,8	10,6	28,1	60,0	12,2	24,0
Чаланык Нижний	—	—	—	32,0	10,9	42,5	30,0	12,3	40,9

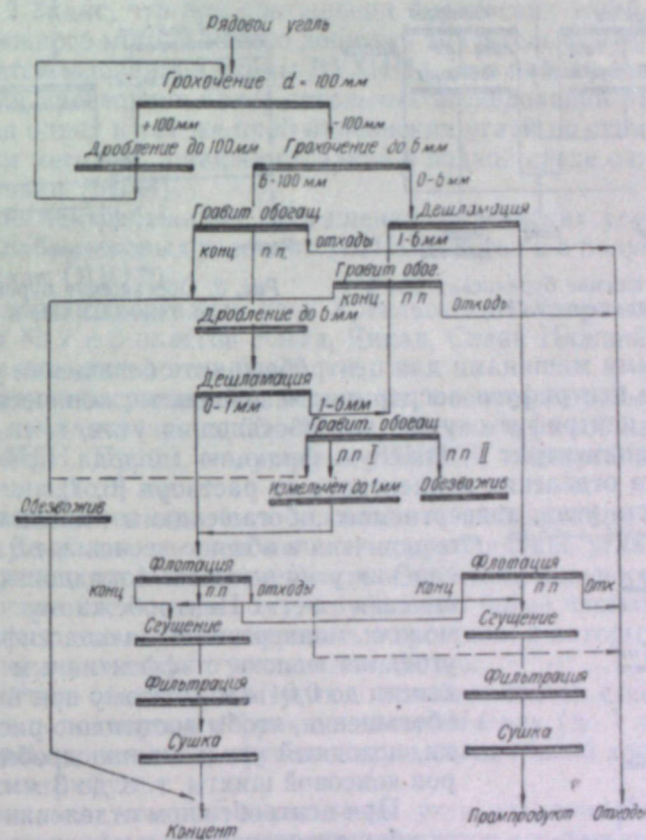


Рис. 1. Обогащение буреинских углей по схеме ВУГИ.

рике ВНИИУглеобогащения — по предложенной Д. З. Юровским и разработанной ИГИ АН СССР и ВНИИУ схеме, совмещающей отсадку в тяжелой жидкости и центробежное обогащение (рис. 3 и 4).

На Жилевской фабрике использовалась экспериментальная технологическая цепь аппаратов производительностью 300 кг/час. Чтобы выделить отвальные хвосты, в эту цепь включалась отсадочная машина.

Сущность метода центробежного обогащения заключается в том, что разделение угля по определенному удельному весу производится в тяжелой жидкости под влиянием центробежной силы. В этом случае скорость гравитационного разделения увеличивается в несколько сот раз.

В качестве тяжелых жидкостей могут быть использованы водные растворы хлористого или азотнокислого кальция и других неорганических солей.

Применение тяжелых жидкостей позволяет производить четкое разделение по заданному удельному весу с точностью до сотых долей его.

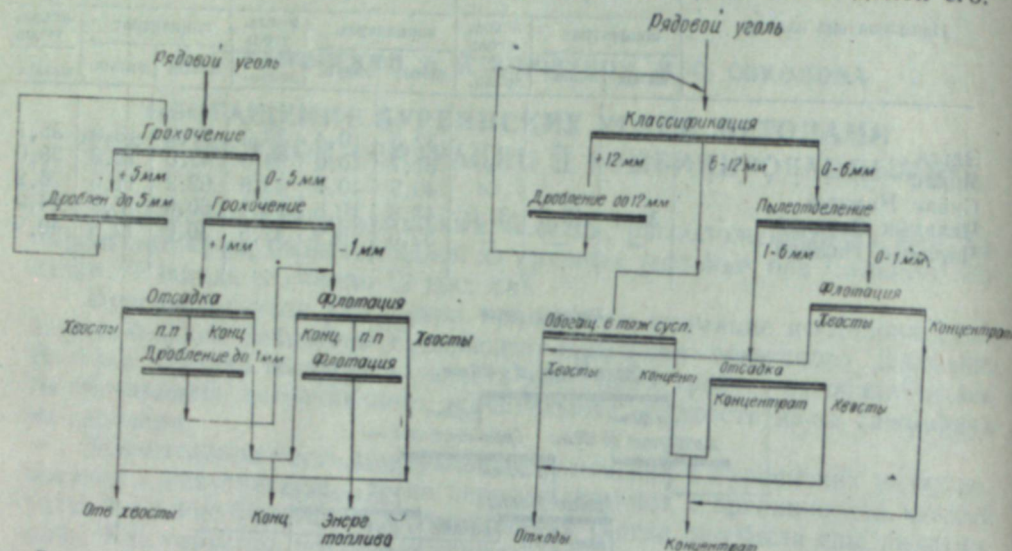


Рис. 2. Обогащение буренских углей по схеме МГИ.

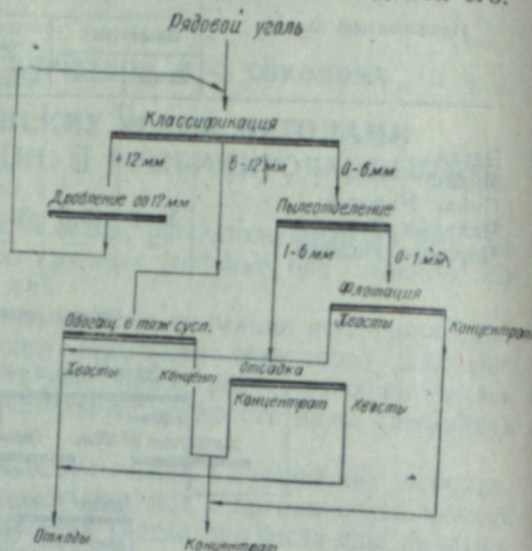


Рис. 3. Обогащение буренских углей по схеме ВУХИНа 1954 г.

Основными машинами для центробежного обогащения угля являются шнековые центрифуги непрерывного действия с коническими роторами. Одна из центрифуг служит для обогащения угля, т. е. для разделения его на концентрат и тяжелую фракцию (порода, промпродукт), а другая — для отделения концентрата от раствора [6, 7].

Крупность угля, подвергаемого обогащению в тяжелых суспензиях, ограничена и обычно не меньше 6 мм. При расчленении угля в тяжелых жидкостях этого ограничения нет. Центробежному обогащению может подвергаться неклассифицированная угольная мелочь с эффективным разделением частиц до 0,04 мм. Поэтому при центробежном обогащении, чтобы достаточно раскрыть сростки, исходный уголь можно дробить до размеров коксовой шихты, т. е. до 3 мм.

При центробежном отделении концентрата от обогатительной среды (тяжелого раствора) высокозольный (30—45%) тонкодисперсный шлам отмывается, повышая качество концентрата. В процессе последующей регенерации циркулирующего технологического раствора шлам отфильтровывается на фильтр-прессах и может быть присажен к промпродукту. Предварительные опыты центробежного обогащения буренских углей в 1952 г. дали положительные результаты.

Объектами исследования буренских углей в 1954 г. были пробы угля пластов Эльга, Янкан, Сивак Нижний и Чаланык Верхний. Результаты опытов 1954 г. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты предварительных опытов сравнительного обогащения буренских углей по схеме ВУХИНа и центробежным методом, %

Наименование пластов	ВУХИНа (тяжелая суспензия + отсадка + флотация)			ВНИИУ и ИГИ АН СССР (центробежное обогащение)		
	концентрат		исход. уголь	концентрат		исход. уголь
	выход	зольн.	зольн.	выход	зольн.	зольн.
Эльга	21,0	14,5	40,6	37,0	9,3	40,2
Янкан	22,7	12,3	38,4	41,2	9,6	38,4
Сивак Нижний	37,0	13,1	34,2	45,1	10,4	34,8
Чаланык Верхний	48,3	13,0	26,4	59,6	12,1	27,4

Из табл. 2 видно, что при обогащении буренских углей с применением центробежного метода можно добиться значительно лучших результатов, чем с использованием схемы ВУХИНа. Это наблюдение послужило основой для проведения более детальных исследований параллельного обогащения одних и тех же проб буренских углей по схеме ВУХИНа, центробежным методом, а также отсадкой в водной среде с повышенным числом колебаний (МГИ).

Работы по центробежному обогащению буренских углей производились как в лабораторных условиях (ВНИИУ), так и в полупромышленных (Жилевская ОПОФ).

Обогащению подвергались угли Ургальского месторождения действующих шахт № 2 и 3 пластов Эльга, Янкан, Сивак Нижний и Чаланык Верхний, а также шихта этих углей.

Чтобы получить сравнительные данные, основные пробы отбирались ВУХИНам и измельчались до 50—12 мм. Часть этих проб направлялась в ВНИИУ и МГИ. Пробы, полученные ВНИИУ, подвергались дальнейшему дроблению до 3 мм.

При проведении опытов было установлено, что крупные классы угля имели большую зольность, чем мелкие; дробление угля до 50, 12 и 3 мм не нарушило этой закономерности. Снижение зольности в мелких классах объясняется, по-видимому, хрупкостью более чистых блестящих разностей угля и достаточной твердостью сростков, в которых минеральные включения цементируют угольное вещество.

Для изучения обогатимости угля в зависимости от степени его измельчения уголь подвергался фракционному анализу (до 1 мм), а класс 0—1 мм — фракционно-центрифугальному в специальной конической лабораторной центрифуге.

Было показано, что при измельчении угля возможный выход концентрата увеличивается и значительно снижается его зольность. Однако при разделении по уд. весу 1,5 зольность всплывшей фракции остается высокой даже при измельчении угля до 3 мм. Применение разделения по уд. весу 1,4 значительно снижает выход концентрата.

Обогащение угля методом центробежной сепарации в тяжелых жидкостях, как упоминалось выше, позволяет регулировать удельный вес разделения в весьма узких пределах.

При дальнейших работах по центробежному обогащению буренских углей в основном был принят удельный вес разделения 1,45, так как и в этом случае может быть значительно снижена зольность концентрата при сохранении относительно высокого его выхода.

Обогащению подвергалась шихта, составленная ВУХИНам из угля различных шахтопластов, подлежащих обогащению на намечаемой к

строительству обогатительной фабрики. Исходная зольность шихты составляла 32,7%. Результаты обогащения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Класс, мм	Выход	Всплывшая фракция			Осевшая фракция		
		выход от класса	выход от пробы	зольность	выход от класса	выход от пробы	зольность
1—3	47,9	45,8	21,9	12,7	54,2	26,0	53,3
0—1	52,1	61,3	31,9	13,4	38,7	20,2	58,3
0—3	100,0	—	53,8	13,1	—	46,2	55,5

Данные контрольного расслоения показывают, что обогащение шихты по уд. весу 1,45 дает относительно удовлетворительные результаты. Приведенные в табл. 3 показатели были подтверждены в лабораторных опытах центробежного обогащения шихты.

На Жилевской фабрике измельчение шихты до 3 мм производилось на молотковой дробилке, работающей в замкнутом цикле с горизонтальным продольнокачающимся грохотом. Затем шихта подвергалась обогащению на технологической цепи шнековых центрифуг в экспериментальном цехе. Обогащение осуществлялось в водном растворе азотнокислого кальция уд. веса 1,43 с целью снижения зольности концентрата. Производительность центрифуг составляла 300 кг/час. Уголь суспендировался с соотношением 1 г угля на 2 м³ раствора.

Результаты полупромышленного обогащения шихты приведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что при центробежном обогащении буренских углей, наряду с высокими выходами относительно малоугольного концентрата, наблюдается также явление, имеющее, на первый взгляд, отрицательный характер: низкая зольность оседающей фракции. В 1954 г. сотрудник ИГИ АН СССР В. И. Коршунов провел опыты лабораторного центрифугального разделения тяжелой фракции буренских углей, выделенной при их центробежном обогащении по уд. весу 1,45. Разделение тяжелой фракции производилось в водном растворе хлористого цинка по уд. весу 1,8. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что процесс центробежного обогащения при использовании на обогатительной фабрике разделяющих растворов двух различных удельных весов в принципе вполне позволяет получать как малоугольный концентрат, так и отвальную породу, наряду с энергетически и экономически применимые для промышленного использования тяжелые жидкости с уд. весом выше 1,6.

Впредь до изыскания новых тяжелых жидкостей повышенного удельного веса при обогащении в истинных растворах отвальная порода может быть получена путем использования отсадки в тяжелых жидкостях.

Таблица 4
Результаты обогащения шихты буренских углей в экспериментальном цехе Жилевской фабрики, %

Наименование продуктов	Выход	Зольность
Концентрат	48,0	11,5
Промпродукт + порода	44,3	52,7
Шлам	7,7	43,6
Исходный уголь, 0—3 мм	100,0	32,2

Таблица 5
Центрифугальное разделение тяжелой (осевшей) фракции буренских углей, %

Наименование пласта	Фракция 1,45—1,8		Фракция тяжелее 1,8		Осевшая фракция зольн.
	выход	зольн.	выход	зольн.	
Эльга	47,5	33,8	52,5	73,4	54,7
Янкан	53,9	39,5	46,1	74,9	55,7
Сивак Нижний	55,7	39,6	44,3	75,1	55,2
Чаланык Верхний	72,1	37,3	27,9	79,3	50,1

При этом процесс обогащения идет эффективнее, чем при отсадке в водной среде. В 1954 г. на Жилевской ОПОФ, как упоминалось выше, были проведены опыты получения этим методом отвальной породы из углей отдельных пластов Ургальского месторождения. Полученные результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6
Результаты выделения породы на отсадочной машине в тяжелой жидкости при комбинированной схеме центробежного обогащения буренских углей, %

Наименование пластов	Концентрат		Промпродукт		Порода		Исход. уголь зольн.
	выход	зольн.	выход	зольн.	выход	зольн.	
Эльга	37,0	9,3	37,9	50,4	25,1	70,4	40,2
Янкан	41,2	9,6	36,5	51,5	22,3	70,2	38,4
Сивак Нижний	45,1	10,4	30,1	45,0	24,8	66,8	34,8
Чаланык Верхний	59,1	12,1	25,6	42,2	15,3	61,7	27,4

При обогащении буренских углей в ВУХИНе отвальная порода не была получена.

Необходима специальная технико-экономическая разработка вопроса о преимуществах выделения в буренском бассейне отвальной породы, по сравнению со смешиванием этой породы с промпродуктом и использованием полученного микста для энергетических целей.

Та же шихта буренских углей, которая исследовалась во ВНИИУ, обогащалась в ВУХИНе В. М. Ермаковой и М. В. Циперовичем по схеме, приведенной на рис. 5. Уголь класса 6—12 мм обогащался в тяжелой суспензии, уголь класса 1—6 мм — отсадкой и мелочь класса 0—1 мм — флотацией.

Результаты обогащения по этой схеме (табл. 7) показывают, что

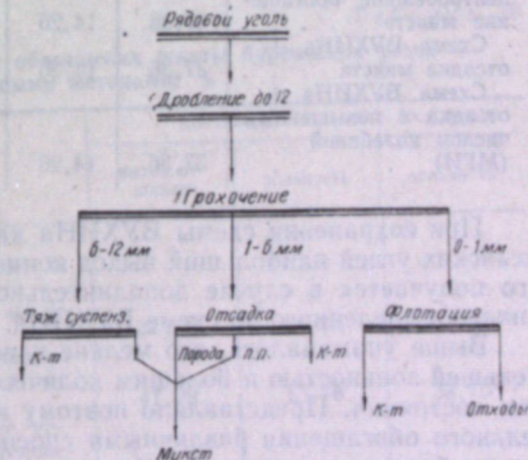


Рис. 5. Обогащение буренских углей по схеме ВУХИНа 1955 г.

фракция, охарактеризованная как «порода», фактически также представляла собой промпродукт, так как хвосты зольностью 54% не являются отвальными. Таким образом, наиболее целесообразным являлось объединение «промпродукта» и «породы» в один продукт — «микст», суммарный выход которого превышал 62%.

Этот «микст» общей зольностью 45,4% подвергался додрабливанию до 3 мм и дополнительному обогащению различными методами: обычной отсадкой (ВУХИН), отсадкой с повышенной частотой колебаний (исследования проводились в МГИ И. М. Верховским и Н. Н. Виноградовым) и методом центробежного обогащения (ВНИИУ).

В табл. 8 приводятся данные о выходах и зольности суммарного концентрата, в зависимости от добавки дополнительного концентрата, полученного при обогащении промпродукта различными методами.

Таблица 7

Результаты обогащения буренских углей при дроблении рядового угля до 12 мм по схеме ВУХИНа, %

Продукты обогащения	Выход	Зольность
Промпродукт	28,05	34,68
Порода	34,18	54,21
Шлам	0,41	44,30
Исх. уголь	100,00	33,76

Суммарные данные о выходах и качестве концентрата, полученного по схеме ВУХИНа, с добавкой концентрата, полученного дополнительно при обогащении микста различными методами, %

Метод обогащения	Концентрат по схеме ВУХИНа		Концентрат, получ. из промпродукта		Суммарный концентрат	
	выход от рядового угля	зольность	выход от рядового угля	зольность	выход от рядового угля	зольность
Схема ВУХИНа + центробежное обогащение микста	37,36	14,26	9,93	11,90	47,29	13,7
Схема ВУХИНа + отсадка микста	37,36	14,26	4,27	14,77	41,63	14,3
Схема ВУХИНа + отсадка с повышенным числом колебаний (МГИ)	37,36	14,26	5,85	17,25	43,21	14,0

При сохранении схемы ВУХИНа как основной при обогащении буренских углей наибольший выход концентрата и наименьшая зольность его получается в случае дополнительного центробежного обогащения микста, выделенного по схеме ВУХИНа.

Выше упоминалось, что мелкие классы буренского угля обладают меньшей зольностью и большим количеством угольных частиц в свободном состоянии. Представляло поэтому интерес провести опыты сравнительного обогащения различными способами отсева класса 0—6 мм от шихты буренского угля (дробленного до 12 мм).

Если концентрат, полученный при обогащении отсева класса 0—6 мм, присоединить к концентрату, выделенному при обогащении шихты класса 6—12 мм в тяжелой суспензии (ВУХИН), то суммарный концентрат по качественным и количественным показателям будет лучше в случае применения центробежного обогащения отсева (табл. 9). Еще лучшие результаты, как это будет видно из дальнейшего, могут быть дости-

Таблица 9

Суммарные данные о выходах и качестве концентрата, полученного по схеме ВУХИНа, с добавкой концентрата, полученного при обогащении отсева различными методами, %

Метод обогащения	Концентрат, полученный при обогащении в тяжелой суспензии (кл. 6—12 мм)		Концентрат, полученный из отсева (кл. 0—6 мм)		Суммарный концентрат	
	выход от шихты	зольность	выход от шихты	зольность	выход от шихты	зольность
Тяжелая суспензия + центробежное обогащение	11,74	12,23	38,90	12,25	50,64	12,24
Тяжелая суспензия + отсадка с повышенной частотой колебаний (10)	11,74	12,23	32,96	13,16	44,70	12,92
Схема ВУХИНа (тяжелая суспензия + отсадка + флотация)	11,74	12,23	25,62	15,18	37,36	14,26

гнуты в том случае, если центробежному обогащению подвергнуть весь уголь, а не только отсев класса 0—6 мм.

Следует учесть, что результаты обогащения отсадкой с повышенной частотой колебаний, приведенные в табл. 9, получены при работе в лабораторных условиях на чистой воде, а не на зашламленной оборотной. Поэтому при работе по такой схеме в промышленных условиях вряд ли могут быть получены аналогичные результаты.

Для выявления возможного выхода концентрата из шихты по центробежному месту обогащения при сохранении зольности концентрата на том же уровне, что и по схеме ВУХИНа (см. табл. 10), проба дробленной до 3 мм шихты была подвергнута центробежному обогащению в лабораторных условиях с применением тяжелого раствора уд. веса 1,5. При этом было получено 57,3% концентрата с зольностью 14,26%.

Таблица 10

Сравнительные результаты обогащения шихты буренских углей различными методами, %

Метод обогащения	Концентрат		Исх. уголь зольность
	выход от шихты	зольность	
По схеме ВУХИНа (обогащение в тяжелой суспензии угля класса 6—12 мм + отсадка угля класса 0—6 мм + флотация мелочи 0—1 мм)	37,36	14,26	33,76
По схеме ВУХИНа + центробежное обогащение микста (промпродукт + порода), дробленного до 3 мм	47,29	13,76	33,76
По схеме ВУХИНа (обогащение угля класса 6—12 мм в тяжелой суспензии) + центробежное обогащение отсева 0—6 мм	50,64	12,24	33,76
Центробежное обогащение шихты, дробленной до 3 мм:			
уд. вес разделения 1,43	48,00	11,50	32,20
" 1,45	53,80	13,10	32,70
" 1,50	57,30	14,26	32,42

Ряд лабораторных опытов центробежного обогащения бурейских углей был проведен с дроблением их до 6 мм. Полученные результаты по качественным и количественным показателям оказались близки к результатам обогащения угля, дробленного до 3 мм. Однако они не были проверены в экспериментальном цехе Жилевской ОПОФ, так как аппаратура и коммуникации цеха не рассчитаны на переработку углей, дробленных до 6 мм. В промышленных же условиях при центробежном обогащении бурейских углей, видимо, можно ограничиться дроблением их до 6 мм.

В сводной табл. 10 приведены варианты обогащения шихты бурейских углей с применением метода центробежного обогащения в тяжелых жидкостях как частично, т. е. только промпродукта или отсева, так и полностью — всего угля.

Из табл. 10 видно, что наиболее эффективные результаты в получении концентрата из бурейских углей могут быть достигнуты при центробежном обогащении всего угля, дробленного до 0—3 (0—6) мм.

Однако приемлемые результаты были получены и при дроблении угля до 12 мм с обогащением угля класса 6—12 мм в тяжелых суспензиях и отсева 0—6 мм — центробежным методом. Подобная схема может быть принята для уменьшения степени дробления угля и снижения расхода электроэнергии. Однако наличие на обогатительной фабрике двух тяжелых сред (суспензии и тяжелой жидкости) с отдельными схемами их регенерации приведет к ненужному усложнению технологической схемы.

Более рационально уголь класса 6—12 мм подвергать обогащению тоже в тяжелой жидкости, но с применением сепараторов такого же типа, как и для обогащения в суспензиях.

Выхода концентрата по этой схеме могут быть дополнительно повышены дроблением и последующим центробежным обогащением промпродуктов.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения тяжелых сред при обогащении труднообогатимых углей.

Использование таких сред (как суспензий, так и тяжелых жидкостей) позволяет более точно воспроизвести в промышленных условиях качественные и количественные показатели обогащения, устанавливаемые по фракционному анализу. Четкость разделения угля, породы и слотков при обогащении угля в тяжелых средах зависит только от разности в удельных весах смеси минеральных зерен, входящих в исходный уголь.

Перевод гравитационного процесса обогащения углей с воды и воздуха как разделительных сред на тяжелые жидкости или псевдожидкости (водные суспензии и аэровзвеси) должен привести, по-видимому, к упрощению конструкций углеобогатительных машин. Как известно, основным назначением механизмов этих машин является достижение гидродинамических условий, позволяющих выделять продукты обогащения требуемого качества и количества в соответствии с удельными весами фракций. При использовании тяжелых сред потребуется меньшее вмешательство механизмов, так как угольные частицы будут разделяться самой средой по ее удельному весу. Сепараторы для обогащения угля в тяжелых суспензиях и жидкостях должны выполнять единственную механическую операцию — непрерывное перемещение больших количеств угля через разделительную среду, без нарушения ее свойств.

Наиболее же эффективным методом обогащения угольной мелочи класса 0—3 (6) мм является, очевидно, центробежная сепарация в истин-

ных тяжелых жидкостях, свойства которых не нарушаются в поле центробежной силы. Центробежная сила значительно повышает скорость движения частиц по сравнению с гравитационным полем, т. е. интенсифицирует процессы обогащения.

Институт горючих ископаемых
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10/IX 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Чижевский, Топливная база металлургии Дальнего Востока. Вестник АН СССР, № 2—3, 1939.
2. Н. П. Чижевский, Ф. А. Попутников, Кокс для металлургии Дальнего Востока. Изв. АН СССР, ОТН, № 3, 1940.
3. С. И. Панченко, М. В. Циперович, Исследования по обогатимости бурейских углей. Сообщения о докладах и научных работах СОПС АН СССР, вып. V. Изд. АН СССР, 1955.
4. П. Г. Дремайло, Результаты лабораторных исследований обогатимости бурейских углей гравитационным методом и методом флотации. Сообщения о докладах и научных работах СОПС АН СССР, вып. V. Изд. АН СССР, 1955.
5. И. М. Верховский, Исследование обогатимости бурейских углей флотацией. Сообщения о докладах и научных работах СОПС АН СССР, вып. V, Изд. АН СССР, 1955.
6. Л. М. Сапожников, А. З. Юровский, Новая техника коксования и обогащения углей. Изд. АН СССР, 1956.
7. В. С. Каминский, А. З. Юровский, Центробежное обогащение коксующихся углей. Кокс и Химия, № 2, 1958.
8. А. З. Юровский, Результаты полупромышленного обогащения бурейских углей методом центробежной сепарации и лабораторных исследований обогатимости Чульманских углей. Сообщения о докладах и научных работах СОПС АН СССР, вып. V, Изд. АН СССР, 1955.

А. Т. ЛОГВИНЕНКО, З. В. ФЕДОРОВА

**БЕЗОБЖИГОВЫЙ ТАЛЬКОВЫЙ КИРПИЧ И ПЕРИКЛАЗО-
ФОРСТЕРИТОВЫЙ ОГНЕУПОР ИЗ ТАЛЬКОВ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Огромные запасы талька и магнезита в Красноярском крае и их высокое качество позволяют поставить вопрос о возможности использования этих минералов для производства огнеупорных материалов в металлургической промышленности восточных районов Советского Союза.

Плотные разновидности тальковых пород уже с начала XVIII в. использовались русскими металлургами на Урале для кладки печей [1]. В литературе имеются также указания о применении талькового кирпича в Америке, Скандинавии, Советском Союзе [2, 3].

Однако при распиловке талькового камня получается большой отход тальковой мелочи, использование которой для получения огнеупорного материала имеет большую экономическую целесообразность.

Работами многих исследователей [4—9] установлена возможность получения из водных силикатов магния (асбеста, серпентина, талька) с добавкой окиси магния, форстеритовых и периклазо-форстеритовых огнеупоров, подробно разработана технология их производства.

Учитывая эти возможности использования тальковых пород и наличие плотных и рыхлых их разновидностей в сочетании с месторождениями магнезита, можно ставить вопрос о получении штучных безобжиговых изделий и периклазо-форстеритового огнеупора.

Химический состав, который был определен П. С. Мамыкиным и Т. Ф. Мелеховой [10] для 5 проб талька, взятых из 5 шурфов, характеризует породу, как близкую к теоретическому составу талька: содержание MgO — 31,80—32,40%, Fe₂O₃ — 0,30—0,94%, Al₂O₃ — 0,05—0,40% и CaO — 0,15—0,40%.

Две из исследованных проб, взятые из 2 шурфов, вблизи пос. Киргитей, представляют собой плотные разновидности талька. Три пробы, взятые из 3 шурфов, расположенных на расстоянии 4—5 километров от поселка Киргитей, представляют рыхлый тальк.

Керамические и технологические исследования проведены для 2 плотных разновидностей талька: стеатита и талькового сланца. Для керамических исследований образцы выпиливались в виде кубиков с размером ребра 4—5 см.

Образцы обжигались при температуре 1000, 1100, 1200, 1300 и 1400°. Стеатит-сырец (табл. 1) отличается меньшим удельным весом, более высокой пористостью и водопоглощением, малой прочностью по сравнению с показателями тех же свойств талькового сланца-сырца (табл. 2).

Изменение свойств стеатита при нагревании происходит при более низких температурах. Удельный вес стеатита повышается до 2,84% при 1000°. Дальше повышение идет медленно. Удельный вес талькового сланца повышается только после обжига при 1300°.

Кажущаяся пористость образцов талькового сланца и стеатита после

Таблица 1

Керамические свойства стеатита

Наименование определений	Ед. изм.	Необожженный	Температура обжига, °C				
			1000	1100	1200	1300	1400
Удельный вес	г/см ³	2,77	2,84	2,88	2,89	2,89	3,02
Объемный вес		2,66	2,57	2,63	2,65	2,65	2,75
Кажущаяся пористость	%	4,60	10,66	9,44	9,38	8,84	7,50
Водопоглощение	%	1,73	4,15	3,59	3,54	3,30	2,73
Потеря веса	%	—	4,43	4,55	4,70	4,75	4,86
Усадка	%	—	1,40	2,40	2,75	2,80	4,00
Предел прочности при сжатии	кг/см ²	36,02	902,3	1640,4	1636,4	1992,9	3561,8
Термостойкость		Выдержали 8 тепло-смен	—	—	Выдержали 5 тепло-смен	—	Выдержали 8 тепло-смен
Огнеупорность	°C	1540	—	—	1540	—	—

Таблица 2

Керамические свойства талькового сланца

Наименование определений	Ед. изм.	Необожженный	Температура обжига, °C				
			1000	1100	1200	1300	1400
Удельный вес	г/см ³	2,80	2,76	2,76	2,79	2,83	2,94
Объемный вес		2,76	2,75	2,70	2,70	2,70	2,70
Кажущаяся пористость	%	0,36	1,07	2,08	2,67	3,10	10,10
Водопоглощение	%	0,13	0,39	0,77	0,99	1,15	3,77
Потеря веса	%	—	1,37	4,74	4,74	4,78	5,07
Усадка	%	—	0,00	0,40	0,70	0,80	1,10
Предел прочности при сжатии	кг/см ²	127,86	601,4	1324,1	1796,7	2146,3	984,9
Термостойкость		Выдержали 8 тепло-смен	—	—	Выдержали 8 тепло-смен	—	Выдержали 8 тепло-смен
Огнеупорность		1540	—	—	1540	—	—
Температура начала деформации под нагрузкой 2 кг/см ²	°C	1520	—	—	—	—	—

обжига при 1000° становится более высокой, чем пористость необожженных образцов. При дальнейшем повышении температуры обжига кажущаяся пористость стеатита понижается от 10,66 до 7,50%, пористость талькового сланца повышается от 1,07 до 3,10%, с резким ростом до 10,10% при температуре обжига 1400°.

Дегидратация стеатита, о которой можно судить по потере веса, происходит в основном до 1000° и дегидратация талькового сланца — до 1100°. Прочность обожженных образцов стеатита и талькового сланца возрастает с повышением температуры обжига. При 1400° прочность талькового сланца понижается.

Микроскопические исследования шлифов, приготовленных из образцов, обожженных при 1200—1400°, при увеличении в 150 раз показали, что при 1200° тальк в образцах стеатита разложился с образованием новой фазы, возможно, клиноэнстатита мелкозернистой структуры. Местами

кристаллы имеют удлиненную форму и иногда объединяются в розетчатые скопления, напоминающие тальк (рис. 1).

После обжига при 1400° материал имеет более тонкозернистое строение, наблюдается присутствие стекловатой фазы (рис. 2).

Материал шлифа талькового сланца, обожженного при температуре 1200°, в проходящем свете имеет жилковатую структуру, состоит из серой стекловатой массы, пронизанной сетью лучистых агрегатов буроватого цвета, напоминающих структуру талька (рис. 3).

После обжига при 1400° увеличивается количество стекловатой фазы, появляются трещины, видимо, благодаря неоднородной структуре природного продукта. Тонкая зернистость наблюдается по всему шлифу и более крупные кристаллы клиноэнстатита вдоль трещин (рис. 4). Появление трещин объясняет пониженную прочность и повышенную пористость образцов талькового сланца после обжига при 1400°.

Стандарт на цельно-пиленный талько-магнезитовый кирпич Шабровского месторождения (ГОСТ 1517-42) предъявляет следующие технические требования к кирпичу: пористость истинную — 0,7—2,7%, влагоемкость — 0,2—0,4%, линейную усадку при 1400° (в среднем) — 1,3%, огнеупорность — 1540—1560°, начало деформации под нагрузкой 2 кг/см² при 1275—1440°, конец деформации при 1470—1520°, термическую стойкость (количество выдержанных теплосмен в среднем) — 8.

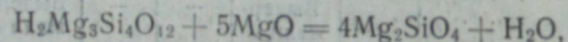
Исследуемый тальковый сланец удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и, следовательно, может быть использован для производства безобжиговых штучных изделий.

Стеатит для этой цели непригоден, так как имеет малую прочность, большую влагоемкость сырья и большую усадку при 1400°.

Для получения периклазо-форстеритового огнеупора использована тальковая мелочь от пробы стеатита.

При проведении исследований по получению периклазо-форстеритовых огнеупоров были учтены результаты работ Я. В. Ключарова и В. С. Городецкого [8, 9].

Чтобы связать избыток кремнезема в форстерит по реакции:



к тальку добавлялась окись магния, которая вводилась в виде металлургического порошка, полученного обжигом при 1500° магнезита Тальского месторождения (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав магнезита

Материал	Наименование определений				
	П, п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Магнезит сырой	50,0	0,60	0,95	1,21	46,20
Пересчет состава на металлургический магнезит	—	1,20	1,90	2,40	92,77

Для исследования талько-магнезитовых смесей выбраны три состава с добавкой металлургического порошка в количестве 32,37 и 42%. По А. С. Бережному, форстеритовыми огнеупорами следует считать

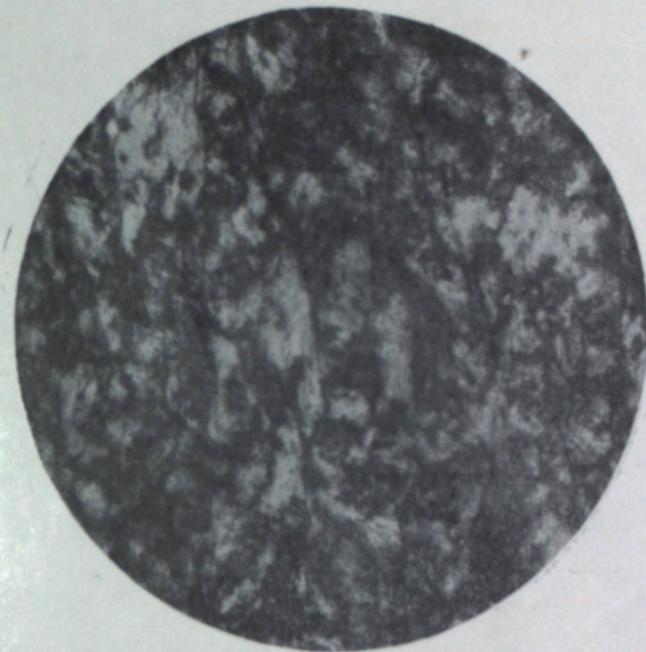


Рис. 1. Микроструктура стеатита, обожженного при температуре 1200° × 150.

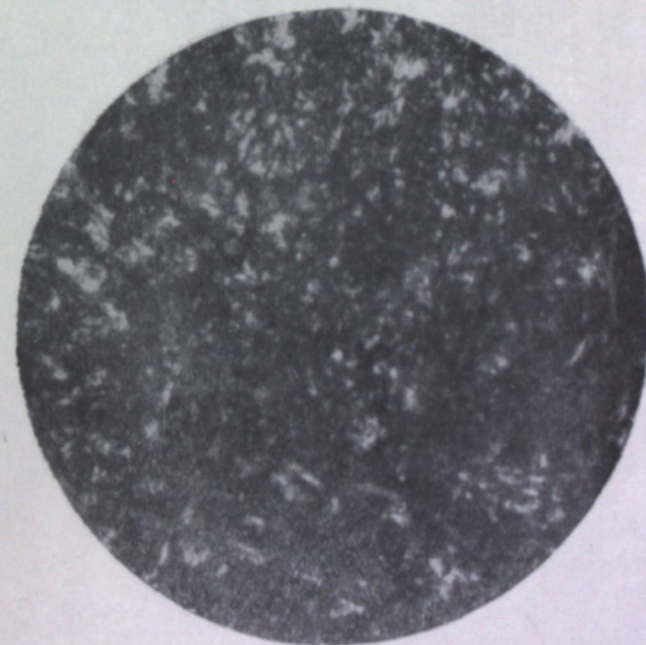


Рис. 2. Микроструктура стеатита, обожженного при температуре 1400° × 150.

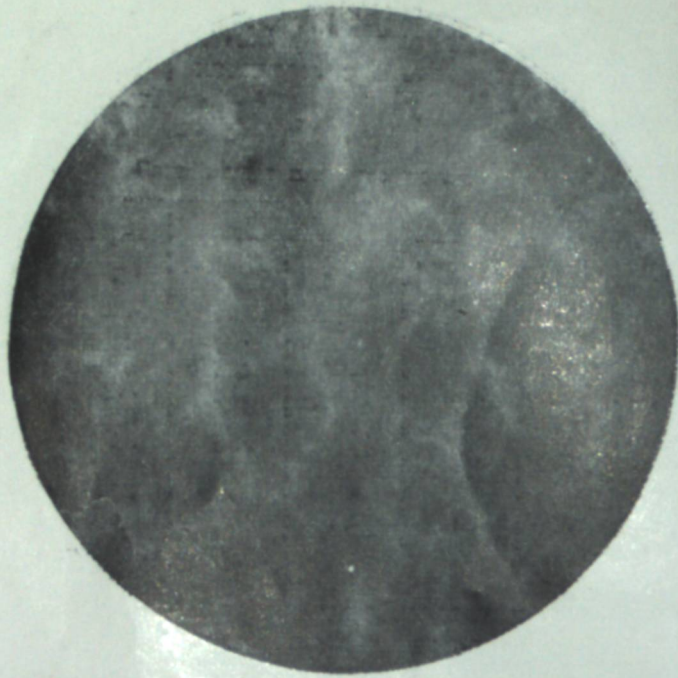


Рис. 3. Микроструктура талькового сланца, обожженного при температуре 1200° × 150.

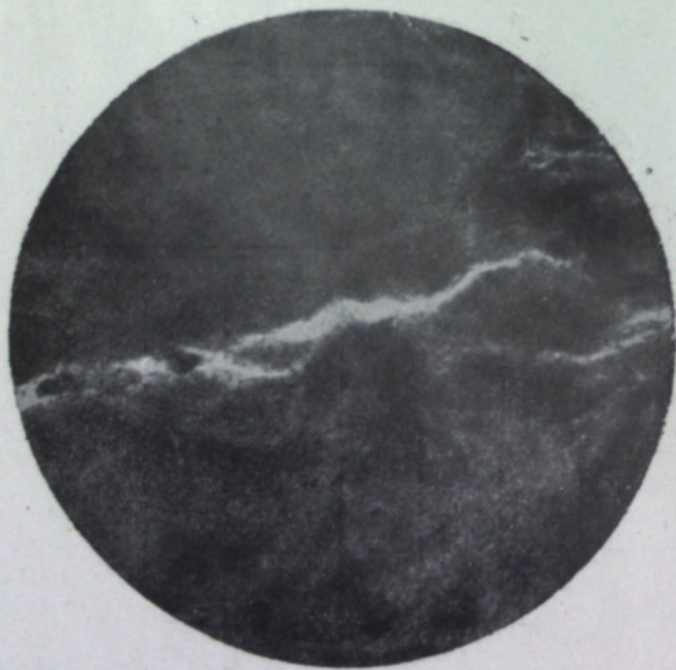


Рис. 4. Микроструктура талькового сланца, обожженного при температуре 1400° × 150.

изделия, содержащие 35—55% MgO при магниальном модуле $\frac{\text{MgO}}{\text{SiO}_2} = 0,94—1,34$. При расчете магниального модуля взятых смесей по химическому составу использованных материалов принималось, что полуторные окислы связываются в шпинель и CaO — в монтичеллит. Расчет дал отношение $\frac{\text{MgO}}{\text{SiO}_2} = 1,19; 1,34$ и 1,53.

Изготовление образцов велось обжигом полупродукта и обжигом готового продукта.

Тальк и металлургический порошок для полупродукта подвергались отдельно помолу до полного прохождения через сито 4900 отв./см². Составленные смеси тщательно перемешивались вручную, увлажнялись до состояния пластичной консистенции и из приготовленных таким образом масс вручную формовались брикеты в виде цилиндров диаметром 38 мм и высотой 15—20 мм. Для масс с модулем 1,34 часть брикетов была приготовлена отливкой в гипсовых формах. Метод отливки, как указывается в работе Я. В. Ключарова и В. С. Городецкого [8], приближает процесс уплотнения к процессу, происходящему при обжиге во вращающейся печи, при питании печи шламом. Возможность обжига полупродукта во вращающейся печи доказана опытами этих же авторов [9]. (Табл. 4).

Таблица 4
Наименование, состав масс, температура обжига и характеристика полупродукта

Магниальный модуль и наименование масс	Состав масс, %		Т-ра обжига, °С	Объемный вес, г/см ³	Кажущаяся пористость, %	Предела прочности при сжатии, кг/см ²	Усадка, %
	тальковая мелочь	металлургич. порошок					
1,19	68	32	1400	2,15	31,60	367,3	10,4
1,34	63	37	1500	2,07	31,70	200,4	10,6
1,34 л (брикеты литые)	63	37	1500	2,24	27,60	663,3	19,7
1,53 н (низкоожженный продукт)	58	42	1500	2,24	29,20	365,7	11,8
	58	42	1350	1,49	53,08	93,8	5,8

Наиболее плотный полупродукт с пористостью 27,6% получен из брикетов, приготовленных отливкой. Наиболее пористый полупродукт получен из массы 1,53 н, обожженной при 1350°.

Для изготовления продукта обожженный полупродукт дробился, растирался в ступке и рассеивался на фракции. Гранулометрический состав масс был принят следующий: для зерна в 1—0,5 мм — 26%, для 0,5—0,2 мм — 26%, 0,2—0,06 мм — 15% и для зерна > 0,06 мм — 33%.

Фракции тщательно смешивались, и смесь увлажнялась до влажности 6% с добавкой 2% сульфитно-спиртовой барды (расчет на сухую барду). Масса вылеживалась в сосуде с притертой пробкой в течение 16—20 часов. Также были приготовлены три дополнительные массы: одна без предварительного обжига полупродукта (состава с модулем 1,53), вторая — с добавкой к полупродукту тальковой мелочи и металлургического магниезитового порошка и третья — с добавкой к полупродукту тальковой мелочи. Тонкость помола стеатита и магниезита для добавок и для массы без предварительного обжига полупродукта определялась стопроцентным проходом через сито 4900 отв./см².

Прессование изделий производилось в форме цилиндров диаметром и высотой 18 мм и диаметром и высотой 38 мм, под удельным давлением 750 кг/см².

Обжигались образцы в криптоловой печи при 1550°.

Плотность сырца (табл. 5) при одинаковых условиях формования для масс из полупродукта 1,19 (32% магнезита), 1,34 (37% магнезита) и 1,53 (42% магнезита) понижается с повышением содержания металлургического порошка.

Таблица 5

Состав масс и характеристика сырца

Наименование массы	Т-ра обжига полупродукта, °С	Состав массы, %			Характеристика спрессованного и высушенного сырца		
		полупродукт	тальковая мелочь	магнезитовый порошок	объемный вес, г/см ³	кажущаяся пористость, %	водопоглощение, %
1,19	1400	100	—	—	2,23	28,31	12,99
1,34	1500	100	—	—	2,15	28,61	13,25
1,34л	1500	100	—	—	2,32	21,49	9,26
1,53	1500	100	—	—	2,11	28,96	13,34
1,53н	1350	100	—	—	1,84	39,63	17,03
1,53см	1500	85	10	5	2,30	21,83	9,40
1,53с	1500	80	20	—	2,37	18,89	7,86
1,53б/о	б/о	—	58	42	2,06	34,65	16,74

Заметное повышение плотности наблюдается для массы 1,34 л, полученной из литого полупродукта, а также для масс с добавкой к полупродукту сырой тальковой мелочи. Уплотнение в последнем случае следует отнести за счет лучших условий прессования с добавкой сырого талька. Более высокая плотность образцов из литого полупродукта, видимо, связана с большой плотностью полупродукта. Образцы спрессованного сырца из массы 1,53 без обжига полупродукта отличаются высокой пористостью, — очевидно, тонкий зерновой состав не обеспечил хороших условий прессования.

По результатам испытания готового продукта, приведенным в табл. 6, отмечается наибольшая плотность образцов из масс 1,19 (кажущаяся пористость 19,8%), 1,53 с (кажущаяся пористость 20,8%), 1,34 л (кажущаяся пористость 25,6%) и 1,53 н (кажущаяся пористость 23,7%).

Таблица 6

Результаты испытания готового продукта

Магнезиальный модуль и наименование масс	Ул. вес	Объемный вес, г/см ³	Кажущаяся пористость, %	Предел прочности при сжатии, кг/см ²	Термостойкость теплосмен		Усадка при обжиге, %	Дополнительная усадка, %	Огнеупорность, °С	Т-ра начала деформации под нагрузкой, °С
					водных	воздушных				
1,19	3,19	2,58	19,82	835,4	5	>20	8,54	0	1790	1540
1,34	3,15	2,23	29,96	864,6	6	>20	1,35	0	>1800	—
1,34 л	3,15	2,36	25,58	996,7	—	>20	1,31	—	—	—
1,53	3,14	2,23	30,30	319,7	6-7	>20	1,20	0	1800	1560
1,53 н	3,18	2,47	23,71	733,3	5	>20	10,20	—	—	—
1,53 б/о (без предварительного обжига)	3,15	2,24	29,90	374,1	4-5	>20	0,80	1,3	—	1560
1,53 см	3,16	2,34	28,10	650,8	5-6	>20	1,00	—	—	—
1,53 с	3,22	2,53	20,83	906,5	5-6	>20	3,41	—	—	1560

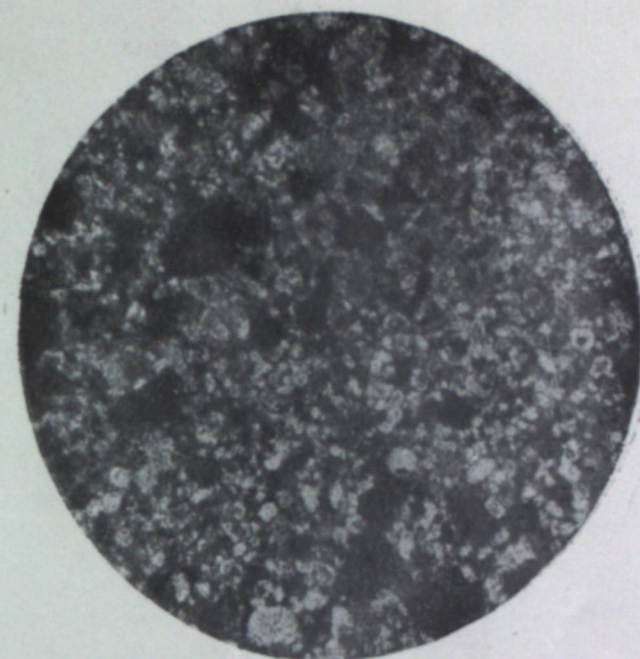


Рис. 5. Микроструктура образца из массы 1,19 × 150.

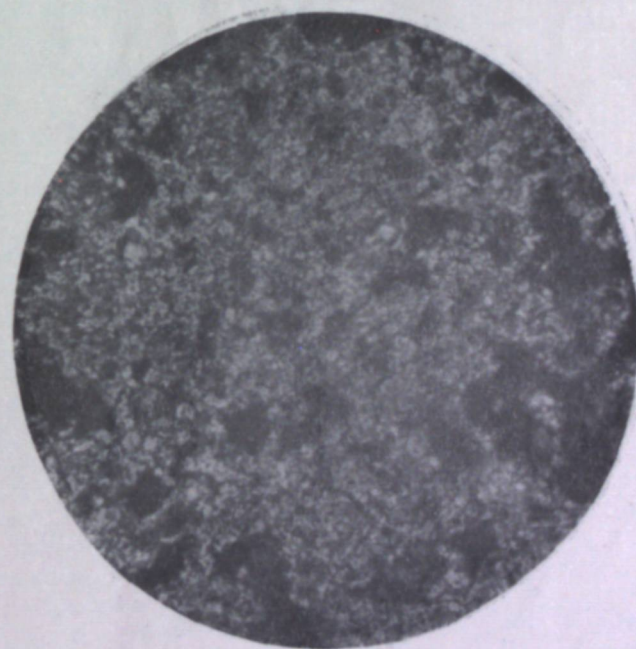


Рис. 6. Микроструктура образца из массы 1,34 × 150.

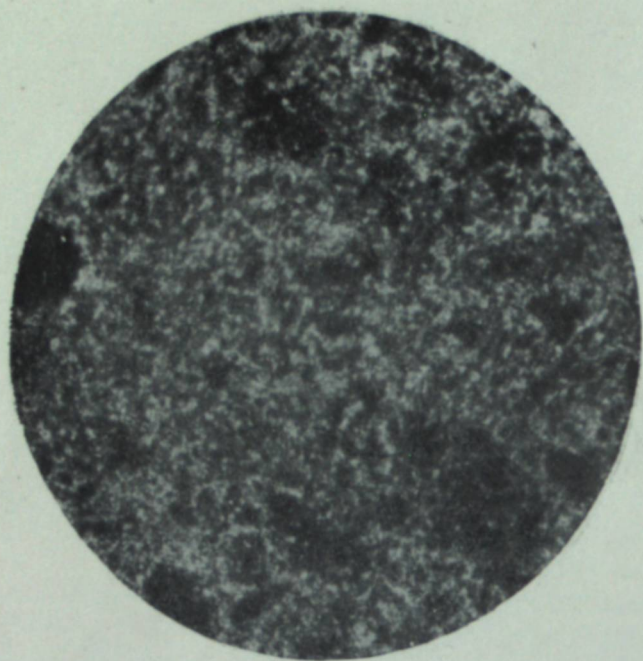


Рис. 7. Микроструктура образца из массы 1,53 б/о $\times 150$.

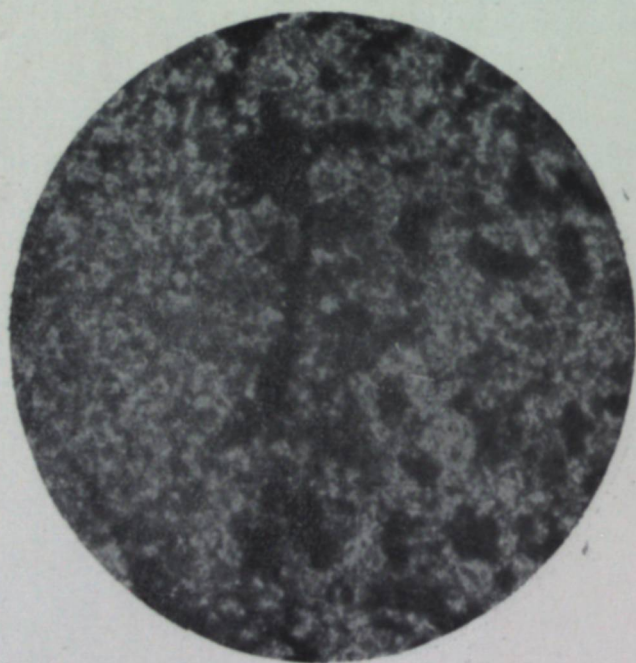


Рис. 8. Микроструктура образца из массы 1,53 $\times 150$.

Образцы масс 1,19 и 1,53 н, изготовленные из полупродукта, обожженного при более низких температурах (1400 и 1350°), имеют более высокую плотность. Но повышение плотности образцов из масс с низкоожженным полупродуктом одновременно связано с повышенной до $8,5$ — $10,2\%$ усадкой, против $0,8$ — $3,41\%$ усадки других масс.

Повышенная плотность образцов из массы 1,53с связана с уплотняющим действием добавки тальковой мелочи. Некоторое повышение плотности образцов из массы 1,34л происходит за счет метода подготовки образцов полупродукта отливкой.

Высокая механическая прочность получена для образцов из массы 1,19 и 1,34 ($729,9$ — $1056,0$ $\kappa\Gamma/\text{см}^2$). Прочность образцов из масс с модулем 1,53 без добавок составляет $318,7$ — $374,1$ $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. Следовательно, повышенное содержание магнезита снижает прочность образцов: Повышение прочности наблюдается для массы 1,53н с низкоожженным полупродуктом за счет получения более плотной массы и для масс с добавкой тальковой мелочи 1,53с и 1,53 см из-за некоторого понижения содержания магнезита. Значительное повышение плотности образцов достигнуто при обжиге некоторых масс при 1700° : для образцов массы 1,34л кажущаяся пористость снижается до $14,89\%$ и массы 1,53 б/о до $12,62\%$, при увеличении усадки до $6,2\%$.

Микрофотографии шлифов из образцов масс 1,19; 1,34л; 1,53 б/о и 1,53, обожженных при 1550° , даны на рис. 5—8. На рис. 5 материал шлифа массы 1,19 представлен в основном тонкозернистым форстеритом, редкими более крупными зернами периклаза и имеет значительную пористость. В проходящем свете периклаз отличается темно-желтой окраской.

На рис. 6 материал шлифа массы 1,34л состоит также из тонкозернистого форстерита, но с более ярко выраженными кристаллами, чем в предыдущем шлифе. Лучшая кристаллизация объясняется более высокой температурой обжига полупродукта. Встречаются зерна периклаза.

В шлифе массы 1,53 б/о (рис. 7) темно-бурые изотропные зерна периклаза встречаются чаще. Повышенное содержание магнезита в составе массы и отсутствие предварительного обжига дало большое количество свободного, не вошедшего в реакцию периклаза. Поры материала несколько меньшего размера по сравнению с другими шлифами.

Материал шлифа массы 1,53 (рис. 8) отличается меньшим количеством зерен периклаза по сравнению с шлифом из массы 1,53 б/о и местами более укрупненными зернами форстерита. Как и в случае шлифа из массы 1,34л, более совершенная реакция форстеритообразования объясняется более высокой температурой обжига полупродукта.

Полученный материал из исследованных талько-магнезитовых смесей является высокоогнеупорным материалом, пригодным для использования в печах металлургической промышленности.

Установлено следующее влияние отдельных факторов на свойства готового продукта:

1. Плотность спрессованного сырья и обожженного готового продукта понижается с повышением содержания окиси магния.

2. Полупродукт из брикетов, полученных отливкой, дает более плотный сырец и более плотный готовый продукт.

3. Обжиг полупродукта при 1350 — 1400° дает сырец с высокой пористостью, но плотность готового продукта повышается с одновременным повышением усадки до $8,5$ — $10,0\%$.

4. Лучшая кристаллизация форстерита идет в образцах из масс с обжигом полупродукта при 1500° .

5. Образцы из массы без предварительного обжига полупродукта имеют близкие качественные показатели той же массы, приготовленной из полупродукта, но дополнительная усадка образцов из массы без предварительного обжига является достаточно высокой.

6. Наиболее высокая плотность образцов при несколько повышенной усадке получается из массы 1,53с — полупродукт 1,53 с добавкой 20% тальковой мелочи.

Выводы

1. Из плотных разновидностей исследованных тальковых пород тальковый сланец пригоден для производства безобжигового цельнопиленого кирпича и других штучных изделий.

2. Стеатит в виде тальковой мелочи с добавкой окиси магния может быть использован для производства периклазо-форстеритового огнеупора.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
24/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. В. Ключаров, Форстеритовые огнеупоры на базе оливинита. Тр. «Гипроцемента», вып. XIII, 1950.
2. В. В. Аршинов, Шабровский и сыростанский тальковый камень, как огнеупорный материал в естественном и переработанном виде. Тр. ВИСМ, вып. 3, 1931.
3. Р. Л. Певзнер, Применение талькового камня взамен шамотного огнеупорного кирпича в паровозах серии Ф. Д. Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1942.
4. П. П. Будников, Г. В. Кукалев, Е. Л. Мандельгрин, К вопросу об использовании тальковых отходов в качестве огнеупорных материалов. Тр. ВИСМ, вып. 3, 1931.
5. К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин, К производству форстеритовых огнеупоров из отходов асбеста и сырого магнезита ($MgCO_3$). Тр. 4-го совещ. по эксперимент. минералогии и петрографии, вып. II, 1953.
6. Базелевич, Блинов, Технология искусственного талькового кирпича. Тр. ВИСМ, 1931.
7. В. И. Цыпкина, Краснодарские серпентины как сырье для изготовления форстеритовых огнеупоров. Журн. «Огнеупоры», № 12, 1938.
8. Я. В. Ключаров, В. С. Городецкий, Изучение процесса спекания талькомагнезитовых смесей. Тр. «Гипроцемента», вып. XV, 1952.
9. Я. В. Ключаров, В. С. Городецкий, Хромо-периклазо-форстеритовые высокоогнеупоры из талько-магнезитовой мелочи. Тр. «Гипроцемента», вып. XVI, 1953.
10. П. С. Мамыкин, Т. Ф. Мелехова, Тальк как сырье для производства форстеритовых огнеупоров. Сообщение 1. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 9, 1958.

Э. С. ЛУКАШОВ

О САМОВОЗБУЖДЕНИИ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С РЕГУЛЯТОРОМ

Исследователи перспективных схем дальних и сверхдальних электропередач все чаще и чаще сталкиваются с явлением неустойчивости электромагнитного процесса в синхронной машине — самовозбуждением. Явление это возникает при работе синхронной машины на емкость, представляет собой принципиально неограниченный и неуправляемый рост токов и напряжений в машине, а поэтому и требует мероприятий по устранению условий его возникновения [1, 2].

Самым заманчивым мероприятием в этом отношении является подавление самовозбуждения путем настройки регуляторов возбуждения. Работы по изучению самовозбуждения системы синхронный компенсатор — регулятор проводились в Московском энергетическом институте [3]. Было установлено, что синхронное самовозбуждение устраняется чрезвычайно легко. При установке на машине регулятора возбуждения, реагирующего на отклонение напряжения, синхронное самовозбуждение не возникает. Установлено также, что асинхронное самовозбуждение практически неустранимо. Только при постоянной времени обмотки ротора в десятки раз меньшей, чем у существующих машин, может быть получен желаемый эффект в довольно узкой области настройки регулятора.

Наибольшее практическое значение имело бы устранение асинхронного самовозбуждения, поэтому представляет интерес поведение синхронной машины с регулятором возбуждения, реагирующим на другие параметры (на угол вылета машины, продольную или поперечную составляющую тока или напряжения и т. д.).

В настоящей статье приводим результаты теоретического анализа поведения синхронной машины с регулятором, реагирующим на отклонение продольной составляющей напряжения на зажимах машины, а также на первую и вторую производные этой составляющей. Машина работает в зоне асинхронного самовозбуждения. Для режима синхронного компенсатора, работающего при номинальном напряжении, такое регулирование равносильно регулированию по углу вылета ротора.

Система дифференциальных уравнений, описывающая протекание процесса в синхронной машине, возбудителе и регуляторе возбуждения, согласно расчетной схеме (рис. 1), сводится к характеристическому уравнению 10-й степени (см. приложение). При выводе предполагалось, что машина не имеет демпферных контуров на роторе, что скорость машины постоянна и равна синхронной, что внешний реактанс и активное

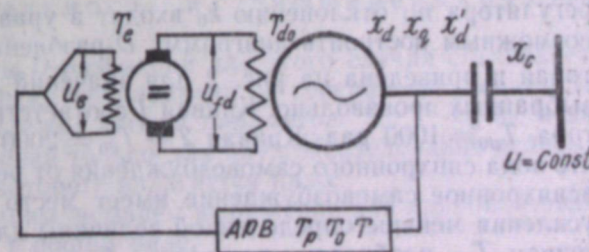


Рис. 1. Расчетная схема.

сопротивление статорной цепи равно нулю. Характеристическое уравнение выводилось с учетом отличных от нуля постоянных времени измерительного T_0 и дифференцирующих T органов регулятора возбуждения, так как известно [4], что при расчетах статической устойчивости упомянутые выше постоянные оказывают заметное влияние, причем в сторону уменьшения зон устойчивости.

Решение задачи сводится, таким образом, к отысканию совокупности значений параметров, входящих в выражения для коэффициентов характеристического уравнения, при которых все его корни имеют отрицательную вещественную часть. Исследование проводилось, в основном, методом D -разбиений [5], результаты проверялись по Раусу.

а) Неучет переходных процессов в регуляторе и возбудителе, регулирование по отклонению $T_e = T_p = T_0 = T = 0$, $k_1 = k_2 = 0$.

Порядок характеристического уравнения понижается до пяти. Несмотря на то, что емкостное сопротивление x_c и коэффициент усиления

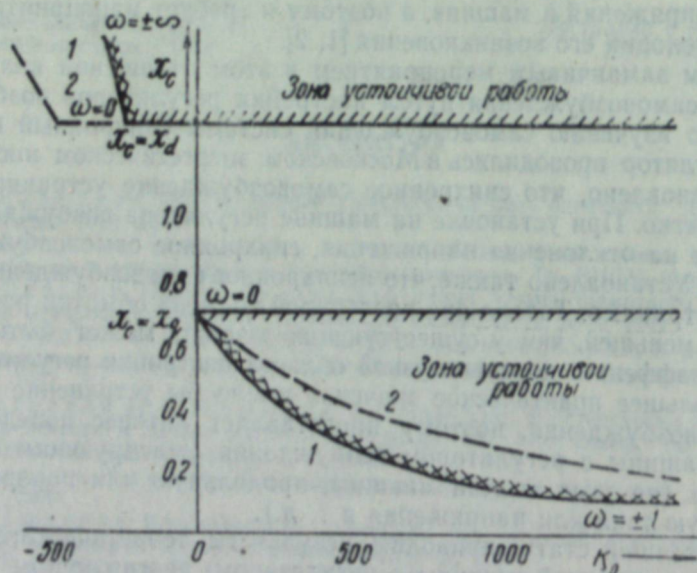


Рис. 2. Диаграмма D -разбиения при $T_e = T_p = T_0 = T = 0$;

$k_1 = k_2 = 0$; $x_d = 1,3$; $x_q = 0,7$; $x_d = 0,3$; 1 — $T_{d0} = 1000$; 2 — $T_{d0} = 2000$.

регулятора по отклонению k_0 входят в уравнение нелинейно, оказалось возможным построить диаграмму D -разбиения в координатах x_c ; k_0 , которая и приведена на рис. 2 для значений $x_d = 1,3$; $x_q = 0,7$; $x_d = 0,3$, выбранных произвольно. Кривая 1 соответствует постоянной времени ротора $T_{d0} = 1000$ рад. Кривая 2 — $T_{d0} = 2000$ рад. Из диаграммы видно, что зона синхронного самовозбуждения от регулирования не зависит, что асинхронное самовозбуждение имеет место только при коэффициентах усиления меньше определенной величины для каждого x_c , что с увеличением T_{d0} необходимая величина k_0 пропорционально возрастает. Поведение кривой в районе $x_c = 0$ объясняется отсутствием внешнего сопротивления.

б) Влияние учета переходных процессов в возбудителе и регуляторе. $T_e \neq 0$, $T_p \neq 0$, $T_0 = T = 0$.

В принятых предположениях процесс описывается характеристическим уравнением седьмой степени. Исследуя его коэффициенты на поло-

жительности для x_c в зоне $x'_d < x_c < x_q$, приходим к выводу о необходимости введения в закон регулирования первой и второй производных. В противном случае коэффициенты положительны только при чрезвычайно малых величинах T_e и больших величинах k_0 , весьма далеких от имеющих место в действительности. На рис. 3 приведена диаграмма D -разбиений, построенная в координатах k_1 ; k_2 при $T_{d0} = 1600$, $x_c = 0,5$, $k_0 = 120$, $T_p = 10$, $T_e = 30$, $T_0 = T = 0$, которая показывает, что в принятых предположениях процесс может быть устойчив при значениях коэффициентов усиления в пределах, применяемых на практике. Увеличение T_p или T_e сдвигает кривую в сторону больших k_1 и k_2 .

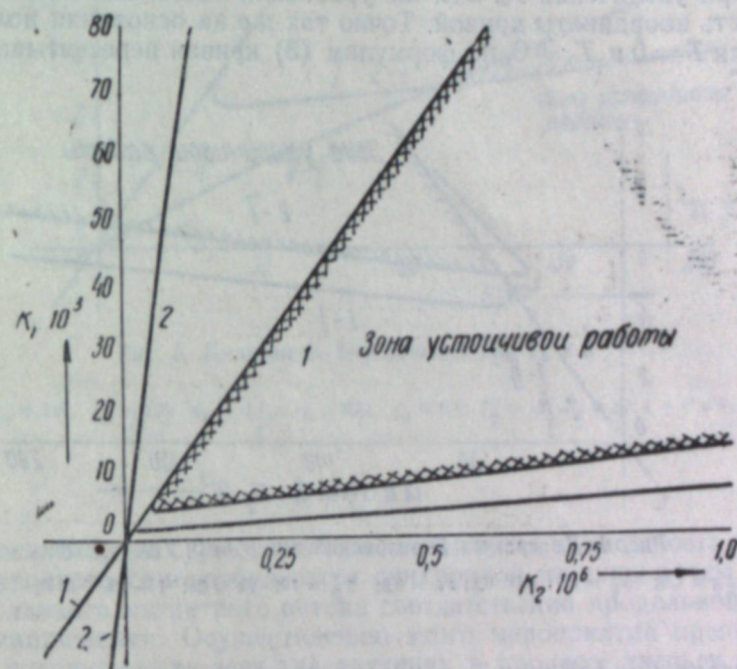


Рис. 3. Диаграмма D -разбиения при $T_0 = T = 0$;

$T_{d0} = 1600$; $k_0 = 120$; $x_d = 1,3$; $x_q = 0,7$; $x_d = 0,3$; $x_c = 0,5$;
 $T_p = 10$; 1 — $T_e = 30$; 2 — $T_e = 1,6$ (полное возбуждение)

Влияние T_e и T_p совершенно одинаково, так как они входят в характеристическое уравнение в виде суммы или произведения.

в) Общий случай. Учет влияния временных постоянных измерительного и дифференцирующих органов регулятора.

Построение диаграммы D -разбиений для этого случая сталкивается со значительными расчетными трудностями и совершенно ненаглядно, так как исследованию подлежат четыре параметра: T_0 , T , k_1 , k_2 , а диаграмма может быть построена только для двух. Исследование велось на основе приема, сущность которого излагается ниже.

Для случая $T_0 = T = 0$ выписываем выражение для кривой D -разбиения в координатах k_1 , k_2 в общем виде.

Они имеют вид:

$$k_{10} = f_1(\omega), \quad k_{20} = f_2(\omega), \quad (1)$$

так как все остальные параметры приняты постоянными. Полагаем $T = 0$, а $T_0 \neq 0$. Для этого случая уравнения кривой D -разбиения удалось записать в виде:

$$k_{1-1} = \varphi_1(\omega, T_0, k_{10}), \quad k_{2-1} = \varphi_2(\omega, T_0, k_{20}), \quad (2)$$

причем выражения (2) имеют весьма простой вид (см. приложение).

Для общего случая $T_0 \neq 0$ и $T \neq 0$ оказалось возможным уравнения кривой D -разбиений записать так:

$$k_1 = \Phi_1(\omega, T, k_{1-1}, k_{2-1}) K_2 = \Phi_2(\omega, T, k_{2-1}, k_{1-1}). \quad (3)$$

Проверено, что при $T_0 \neq 0$ и $T \neq 0$ направление штриховки кривой D -разбиения то же, что и для кривой (1). Вследствие этого по виду выражений (2) можно судить о том, как деформируется область устойчивой работы при увеличении T_0 . Эти же уравнения позволяют весьма просто пересчитать координаты кривой. Точно так же на основании полученной кривой для $T = 0$ и $T_0 \neq 0$, по формулам (3) кривая пересчитывается для любого T .

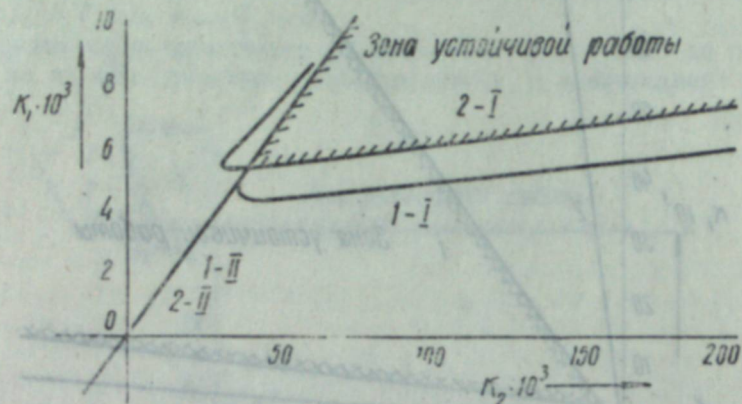


Рис. 4. Диаграмма D -разбиений при $T = 0$, $T_{d0} = 4600$.

$$k_0 = 120; \quad x_d = 1,3; \quad x_q = 0,7; \quad x_d' = 0,3; \quad x_c = 0,5; \quad T_p = 10; \quad T_e = 30; \quad 1 - T_0 = 0; \quad 2 - T_0 = 10.$$

Исследование влияния T_0 показало, что эта величина искажает зону устойчивости для $T = T_0 = 0$ сравнительно мало (рис. 4). Учитывая, что T_0 может быть очень мало, влияние T может быть проверено не на кривой (2), а на кривой (1). (Эти кривые при $T_0 = 1$ практически не отличаются друг от друга). Введение весьма малой величины T значительно изменяет зону устойчивости. Если участок I кривой (1), соответствующий малым значениям ω , деформируется мало (рис. 5), то участок II резко меняет свой наклон, как бы поворачиваясь по часовой стрелке пропорционально величине T . Так как устойчивая работа возможна только справа от этого участка кривой (при движении ω от 0 до ∞), то переход ее в IV квадрант соответствует исчезновению зоны устойчивости. Вышеописанный прием представления кривых D -разбиения дал возможность подсчитать критическое значение временной постоянной дифференцирующих элементов регулятора, при которой зона устойчивости пропадает. Очень грубо $T_{кр}$ может быть определено из формулы

$$T_{кр} = \frac{m}{2\omega_0^2} \quad (4)$$

где $m = \frac{T_e + T_p}{T_e + T_p}$, а ω_0 — значение ω , соответствующее какой-нибудь точке на участке I кривой (1), расположенной вблизи начала координат в I квадранте. Для тех значений T_e , T_p , T_0 , по которым строились кривые

рис. 4, величина $T_{кр} \cong 0,013$ — для случая электромашинного возбудителя ($T_e = 30$) и $T_{кр} \cong 0,07$ — для ионного возбуждения ($T_e = 1,6$). На рис. 5 показана кривая D -разбиений для $T_0 = 0,01$. Учитывая, что все постоянные времени выражены в радианах, что постоянные времена T в существующих регуляторах имеют порядок 0,04—0,08 секунд, можно сделать вывод, что практически устранить асинхронное самовозбуждение регулированием по продольной составляющей напряжения невозможно.

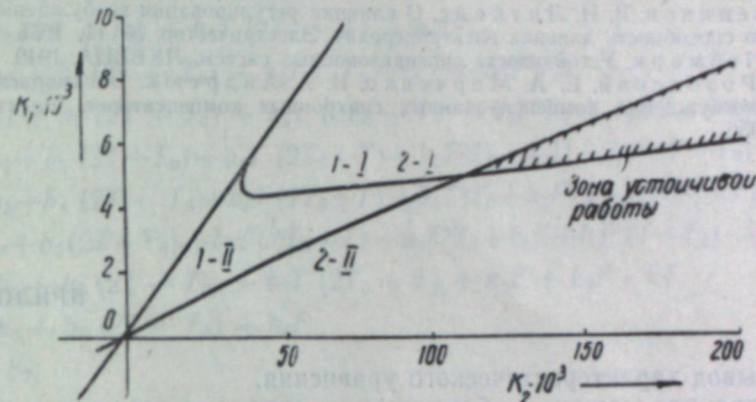


Рис. 5. Диаграмма D -разбиения при $T_0 = 0$

$$T_{d0} = 1600; \quad k_0 = 120; \quad x_d = 1,3; \quad x_q = 0,7; \quad x_d' = 0,3; \quad x_c = 0,5; \quad T_p = 10; \quad T_e = 30; \quad 1 - T = 0; \quad 2 - T = 0,01.$$

Выводы

Установлено, что существует принципиальная возможность устранения асинхронного самовозбуждения синхронной машины путем регулирования главного магнитного потока соответственно продольной составляющей напряжения. Осуществлению этого мероприятия препятствует большая инерционность всех участвующих в процессе звеньев и в особенности дифференцирующих элементов. Асинхронное самовозбуждение развивается в основном в поперечной оси машины, поэтому воздействие на него регулированием потока в продольной оси требует чрезвычайно жесткой системы возбуждения. Можно утверждать, что любое замедление в изменении главного магнитного потока отрицательно скажется на подавлении асинхронного самовозбуждения.

В литературе по данному вопросу существует мнение, что возможности регулирования возбуждения в смысле подавления асинхронного самовозбуждения еще далеко не исчерпаны [6]. На основании изложенного можно предполагать, что асинхронное самовозбуждение обычной синхронной машины вообще не может быть устранено регулированием главного потока возбуждения по любому параметру, — препятствием являются не принципиальные трудности, а порядок реально осуществимых величин временных постоянных звеньев системы.

По тем же соображениям можно предполагать, что выводы настоящей работы распространяются и на машину с успокоительными контурами, ибо демпферная клетка — это еще одна преграда на пути изменения магнитного потока, еще одна (или две) постоянных времени, участвующих в процессе.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В. А. Веников, Л. А. Жуков, Переходные процессы в электрических системах. Госэнергоиздат, 1953.
- 2 А. И. Долгинов, Резонанс в электрических цепях и системах, Госэнергоиздат, 1957.
- 3 Д. А. Федоров, Регулирование возбуждения компенсированного емкостью синхронного компенсатора, работающего в условиях самовозбуждения. Тр. МЭИ, вып. XX, 1956.
- 4 В. А. Веников, В. И. Литкенс, О влиянии регулирования возбуждения на пропускную способность дальних электропередач. Электричество, № 11, 1955.
- 5 Ю. И. Неймарк, Устойчивость линеаризованных систем, ЛКВВИА, 1949.
- 6 Ю. А. Розовский, Е. А. Марченко, В. А. Андреюк, О самораскачивании и самовозбуждении компенсированных синхронных компенсаторов. Электричество, № 5, 1956.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Вывод характеристического уравнения.

Синхронная машина, работающая на емкость в принятых предположениях, описывается уравнениями [1]:

$$\left. \begin{aligned} [x_d(p) - p^2 x_d(p) - x_c] \Delta i_d - 2p x_q(p) \Delta i_q + G(p) (1 - p^2) \Delta u_{fd} = 0 \\ - 2p x_d(p) \Delta i_d + [p^2 x_q(p) - x_q(p) + x_c] \Delta i_q - 2G(p) \Delta u_{fd} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} x_d(p) &= \frac{x'_d T_{d0} p + x_d}{T_{d0} p + 1}, \\ x_q(p) &= x_q, \\ G(p) &= \frac{1}{T_{d0} p + 1}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнение переходных процессов в возбудителе:

$$\Delta u_v = \Delta u_{fd} (p T_e + 1). \quad (7)$$

Уравнение регулятора:

$$\Delta u_v = + \left[\frac{1}{p T_p + 1} \left(\frac{k_0}{p T_0 + 1} + \frac{p k_1}{p T + 1} + \frac{p^2 k_2}{(p T + 1)^2} \right) \right] \Delta u_d. \quad (8)$$

Варьируя уравнение Горева для продольной оси

$$\dot{\psi}_d + \gamma \dot{\psi}_q + r i_d + u_d = 0$$

при $\omega = \text{const}$ и $r = 0$, получаем

$$\Delta u_d = -p \Delta \psi_d - \Delta \psi_q$$

с учетом того, что [1]

$$\psi_d = G(p) u_{fd} + x_d(p) i_d,$$

$$\psi_q = x_q(p) i_q,$$

получаем

$$\Delta u_d = -p [G(p) \Delta u_{fd} + x_d(p) \Delta i_d] - x_q(p) \Delta i_q. \quad (9)$$

Исключая из уравнений (7), (8), (9) ΔU_v и ΔU_d , получаем уравнение с

неизвестными Δi_d , Δi_q , ΔU_{fd} , решая которое совместно с (5), учитывая (6), получаем характеристическое уравнение 10 степени:

$$c_0 p^{10} + c_1 p^9 + c_2 p^8 + c_3 p^7 + c_4 p^6 + c_5 p^5 + c_6 p^4 + c_7 p^3 + c_8 p^2 + c_9 p + c_{10} = 0$$

с коэффициентами:

$$c_0 = b_0 T^2 T_0$$

$$c_1 = b_0 T (2T_0 + T) + b_1 T^2 T_0$$

$$c_2 = b_0 (2T + T_0) + b_1 T (2T_0 + T) + b_2 T^2 T_0$$

$$c_3 = b_0 + b_1 (2T + T_0) + b_2 T (2T_0 + T) + b_3 T^2 T_0$$

$$c_4 = b_1 + b_2 (2T + T_0) + b_3 T (2T_0 + T) + b_4 T^2 T_0 + k_2 D T_0 + k_1 D T T_0$$

$$c_5 = b_2 + b_3 (2T + T_0) + b_4 T (2T_0 + T) + b_5 T^2 T_0 + k_2 D + k_1 D (T + T_0) + k_0 D T^2$$

$$c_6 = b_3 + b_4 (2T + T_0) + b_5 T (2T_0 + T) + b_6 T^2 T_0 + k_2 F T_0 + k_1 (D + F T T_0) + k_0 2 D T^2$$

$$c_7 = b_4 + b_5 (2T + T_0) + b_6 T (2T_0 + T) + b_7 T^2 T_0 + k_2 F + k_1 F (T + T_0) + k_0 (D + F T^2)$$

$$c_8 = b_5 + b_6 (2T + T_0) + b_7 T (2T_0 + T) + k_1 F + k_0 F \cdot 2T$$

$$c_9 = b_6 + b_7 (2T + T_0) + k_0 F$$

$$c_{10} = b_7,$$

где

$$b_0 = x_q x'_d T_{d0} T_e T_p$$

$$b_1 = x_q x'_d T_{d0} (T_e + T_p) + x_q x_d T_e T_p$$

$$b_2 = x_q x'_d T_{d0} + x_q x_d (T_e + T_p) + T_{d0} T_e T_p (x_q x_c + x'_d x_c + 2x_q x'_d)$$

$$b_3 = T_{d0} (T_e + T_p) (x_q x_c + x'_d x_c + 2x_q x'_d) + x_q x_d + T_e T_p (x_q x_c + x_d x_c + 2x_q x'_d)$$

$$b_4 = T_{d0} (x_q x_c + x'_d x_c + 2x_q x'_d) + (T_e + T_p) (x_q x_c + x_d x_c + 2x_q x'_d) + T_{d0} T_e T_p (x'_d - x_c) (x_q - x_c)$$

$$b_5 = (x_q x_c + x_d x_c + 2x_q x'_d) + T_{d0} (T_e + T_p) (x'_d - x_c) (x_q - x_c) + T_{d0} T_e T_p (x_d - x_c) (x_q - x_c)$$

$$b_6 = T_{d0} (x'_d - x_c) (x_q - x_c) + (T_e + T_p) (x_d - x_c) (x_q - x_c)$$

$$b_7 = (x_d - x_c) (x_q - x_c); \quad D = x_q x_c; \quad F = x_c (x_q + x_c)$$

а) При $T_e = T_p = T_0 = T = 0$ и $k_1 = k_2 = 0$

$$a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5 = 0,$$

где

$$a_0 = x_q x'_d T_{d0}$$

$$a_1 = x_q x_d$$

$$a_2 = T_{d0} (x_q x_c + x'_d x_c + 2x_q x'_d) + k_0 x_q x_c$$

$$a_3 = x_q x_c + x_d x_c + 2x_q x'_d$$

$$a_4 = T_{d0} (x'_d - x_c) (x_q - x_c) + k_0 x_c (x_q + x_c)$$

$$a_5 = (x_d - x_c) (x_q - x_c).$$

б) При $T_e \neq 0$, $T_p \neq 0$, $T_0 = T = 0$

$$b_0 p^7 + b_1 p^6 + b_2 p^5 + b_3 p^4 + b_4 p^3 + b_5 p^2 + b_6 p + b_7 + k_2 D p^5 + k_1 D p^4 + (k_2 F + k_0 D) p^3 + k_1 F p^2 + k_0 F p = 0.$$

2. Уравнение кривой D -разбиения для $T_0 = T = 0$

$$k_{10} = -\frac{A}{\omega^2 C}, \quad k_{20} = -\frac{B}{\omega^2 C} + \frac{k_0}{\omega^2},$$

где

$$A = b_1 \omega^6 - b_3 \omega^4 + b_5 \omega^2 - b_7,$$

$$B = b_0 \omega^6 - b_2 \omega^4 + b_4 \omega^2 - b_6,$$

$$C = F - D \omega^2.$$

Уравнение кривой D -разбиения для $T = 0, T_0 \neq 0$

$$k_{1-1} = k_{10} + \frac{T_0 k_0}{1 + \omega^2 T_0^2}, \quad k_{2-1} = k_{20} - \frac{T_0^2 k_0}{1 + \omega^2 T_0^2}$$

Уравнение кривой D -разбиения для $T_0 \neq 0, T \neq 0$

$$k_1 = (1 - T^2 \omega^2) k_{1-1} - 2T \omega^2 k_{2-1},$$

$$k_2 = (1 + T^2 \omega^2) (k_{2-1} + T k_{1-1}).$$

Для этого же случая детерминант, определяющий штриховку кривой, равен

$$D_1 = -\omega^5 C (1 + \omega^2 T_0^2),$$

т. е. направление штриховки не меняется при изменении T и T_0 , так как D_1 не меняет знака.

Н. В. СТАШКОВА, А. И. ЗЕЛЯНСКАЯ

ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРМАНИЯ

Для определения малых количеств германия обычно применяется колориметрический метод с использованием фенилфлуорона [1]. Этот метод позволяет с большой точностью и воспроизводимостью выяснять содержания германия до сотых долей процента, свыше которых определение становится затруднительным и менее точным из-за больших разведений.

Полярографический метод в отличие от колориметрического может быть применен для определения германия в материалах с большими его концентрациями (сотые и десятые доли процента). Этим объясняется интерес к возможности полярографирования германия.

Методы полярографического определения германия в двухвалентном состоянии [2, 3] не нашли широкого применения в практике аналитической работы. Основной причиной этого послужило то, что полярографирование ионов двухвалентного германия осложняется легкостью его окисления до четырехвалентного состояния (даже если применяются сильные восстановители).

В последние годы появились работы о восстановлении четырехвалентного германия на ртутном капельном электроде. Д. Гурта и С. С. Н. Нэр [4] наблюдали две волны четырехвалентного германия в аммонийном растворе при $pH = 7-9$. Наличие двух волн авторы объясняли двухступенчатым восстановлением ионов германия до металлического состояния.

Позднее П. Валента и П. Зуман [5] получили также две волны германия в аммонийно-аммиачном растворе, из которых вторую они приписали каталитическому восстановлению водорода. В растворе 0,1 М трилона Б при $pH = 6-8$ ими была найдена четкая волна германия с $E^{1/2} = 1,3$ в, высота которой пропорциональна концентрации германия в растворе. Эта волна рекомендована для аналитических целей.

В работах Г. Совение и Г. Дикар [6, 7] указывается, что полярографическое восстановление четырехвалентного германия в растворах, содержащих 0,05 N KCl и 0,01 % желатины, зависит от pH раствора. Поэтому эти авторы предлагают применять буферные растворы.

В электролите, содержащем 0,05 N KCl + 0,1 M H_3BO_3 + 0,1 M NaOH при $pH = 8-9$, германий определяется количественно полярографическим методом после предварительного отделения его от мешающих элементов экстракцией четыреххлористым углеродом. Испытание предложенного метода на различных материалах дало относительную точность 0,5-2%.

В исследованиях, проведенных С. К. Дар [8], отмечено, что в боратном буфере добавка KCl приводила к увеличению значения диффузионного тока. Однако это действие не проявляется в присутствии желатины. Этим автором подтверждено, что pH раствора влияет на высоту волны и потенциал полуволны германия.

З. Шульцек и Я. Готтфрид [9] рекомендуют проводить полярографи-

рование четырехвалентного германия в среде $0,4 \text{ M Na}_2\text{CO}_3$ и $0,01\text{--}0,02 \text{ M}$ трилона Б. Этими авторами описывается методика полярографического определения германия в золах и сфалеритах.

В настоящей работе мы приводим результаты исследования волн четырехвалентного германия в других индифферентных электролитах.

Стандартные растворы четырехвалентного германия готовились из металлического германия растворением его в серной кислоте (1 : 3) с добавкой концентрированной перекиси водорода. Избыток последней затем тщательно удалялся при нагревании.

Исследования проводились на визуальном полярографе конструкции УФАН СССР с зеркальным гальванометром чувствительностью 10^{-9} A мм/м.

Замеры pH производились со стеклянным электродом на потенциометре ЛЛПУ-2. Удаление растворенного кислорода из растворов осуществлялось пропусканием очищенного водорода. Потенциал капельного электрода проверялся измерением на потенциометре ППТВ-1.

Опыты проводились в термостате при температуре $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$. Испытание различных индифферентных электролитов показало, что четырехвалентный германий восстанавливается из многих растворов на ртутном капельном электроде. Более четкие волны германия удается получить при $pH = 8$; значительное отклонение этой величины в ту или другую сторону резко ухудшает форму волн.

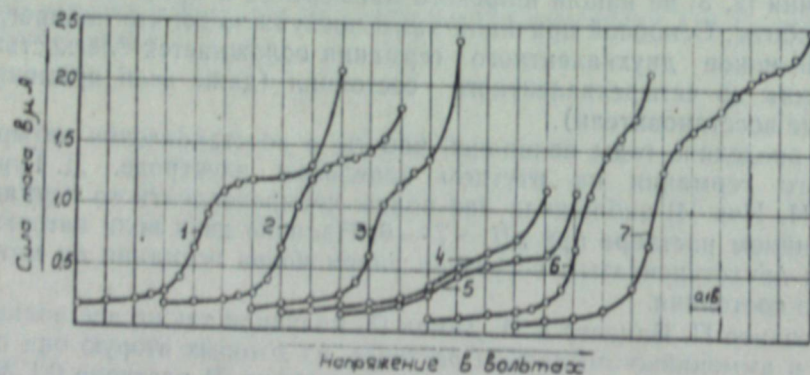


Рис. 1. Волны четырехвалентного германия ($0,6 \text{ мМ/л}$ при $pH = 8$) в индифферентных электролитах состава:

1— $0,1 \text{ M CH}_3\text{COONa} + 0,2 \text{ M NaCl}$. 2— $0,05 \text{ M KBr} + 0,2 \text{ M NaCl}$. 3— $0,05 \text{ M KNO}_3 + 0,2 \text{ M NaCl}$. 4— $0,1 \text{ M}$ глюкоза + $0,2 \text{ M NaCl}$. 5— $0,04 \text{ M}$ виннокислый $\text{K-Na} + 0,2 \text{ M NaCl}$. 6— $0,1 \text{ M}$ янтарнокислый $\text{Na} + 0,2 \text{ M NaCl}$. 7— $0,1 \text{ M}$ фенилуксусная кислота + $0,2 \text{ M NaCl}$. Начало полярограммы от $-1,0 \text{ в}$.

Хорошо выраженные волны наблюдаются в растворах $0,1 \text{ M CH}_3\text{COONa} + 0,2 \text{ M NaCl}$ (рис. 1, кривая 1); $0,1 \text{ M HCOONa} + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,07 \text{ M K}_2\text{SO}_4 + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,2 \text{ M NaCl} + 0,04 \text{ M}$ сульфаниловая кислота + $0,2 \text{ M}$ бензойная кислота + $0,2 \text{ M}$.

Потенциалы полуволн в этих условиях близки между собой и соответствуют $1,41\text{--}1,43 \text{ в}$ относительно н. к. э.

В растворах $0,1 \text{ M BaCl}_2 + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,05 \text{ M KBr} + 0,2 \text{ M NaCl}$ (рис. 1, кривая 2); $0,05 \text{ M KI} + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,02\%$ трилон А + $0,02 \text{ N Na}_2\text{SO}_4$; $0,06 \text{ M Na}_2\text{HPO}_4 + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,005 \text{ M Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,1 \text{ M Na}_2\text{CO}_3 + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,1 \text{ M}$ антралиловая кислота + $0,02 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$; $0,05 \text{ M KNO}_3 + 0,2 \text{ M NaCl}$ (рис. 1, кривая 3); $0,05 \text{ M NH}_4\text{CNS} + 0,2 \text{ M NaCl}$; $0,1 \text{ M}$ салициловокислый натрий + $0,02 \text{ N Na}_2\text{SO}_4$; $0,1 \text{ M}$ нафтионовокислый натрий + $0,2 \text{ M NaCl}$; $0,1 \text{ M}$ сульфосалициловый натрий + $0,02 \text{ N Na}_2\text{SO}_4$ верхняя площадка предель-

ного тока имеет крутой подъем, что затрудняет измерение высоты волны германия.

В растворе $0,1 \text{ M}$ глюкоза + $0,2 \text{ M NaCl}$ волна плохо выражена (рис. 1, кривая 4). В среде $0,04 \text{ M}$ виннокислый натрий — калий + $0,2 \text{ M NaCl}$ волна германия получается растянутой и малой по высоте (рис. 1, кривая 5).

В растворах $0,1 \text{ M}$ лимоннокислый аммоний + $0,2 \text{ M NaCl}$, а также в растворе янтарнокислого натрия предельный ток плохо выражен и почти сливается с разложением электролита (рис. 1, кривая 6).

Добавка $0,2 \text{ M}$ глицерина к раствору $0,2 \text{ M NaCl}$ вызывает уменьшение волны германия почти в два раза.

В растворах $0,2 \text{ M NaCl}$ в присутствии $0,1 \text{ M}$ пиридина или $0,1 \text{ M}$ фениларсиновой кислоты удается получить небольшую волну германия при $pH > 10$, а в более кислой среде разложение электролита начинается уже при $-1,3 \text{ в}$, что не позволяет обнаружить волну германия.

В растворах фенилуксусной кислоты или урацилацетата на полярограмме после волны германия наблюдается еще одна волна (рис. 1, кривая 7).

В растворах маннита четырехвалентный германий совсем не восстанавливается.

Значительно расширяется круг электролитов, в которых возможно получение хороших волн, если добавлять к растворам небольшие количества ($0,006 \text{ M/л}$) трилона Б.

Так, в присутствии последнего значительно улучшается форма волны германия в среде сернокислого, бромистого и йодистого калия, роданистого аммония, углекислого натрия, буры, лимоннокислого аммония, глицерина, салициловокислого натрия и др.

Полуволновые потенциалы волн германия в этих растворах почти не отличаются между собой и колеблются примерно от $-1,41$ до $-1,45 \text{ в}$ относительно н. к. э.

В растворе маннита при добавлении трилона Б появляется волна.

Присутствие трилона Б в $0,04 \text{ M}$ щавелевокислом аммонии задерживает разложение электролита, что дает возможность получить хорошо выраженную волну.

Меньшее действие оказывает добавка трилона Б на волну германия в растворах хлористого бария, азотнокислого калия, двузамещенного фосфорнокислого натрия, янтарнокислого натрия, сульфаниловой, фенилуксусной и сульфосалициловой кислот.

Изменение концентрации трилона Б в растворах до $0,3 \text{ M/л}$ не оказывает заметного влияния как на форму волны, так и на значение потенциала полуволны германия.

Следует отметить, что растворы только одного трилона Б, т. е. в присутствии двух электролитов, могут служить также хорошим фоном для снятия волн германия, что, очевидно, связано с буферными действиями самого трилона Б в растворе.

Исследование пропорциональности между высотой волны и концентрацией германия в некоторых индифферентных электролитах показало, что при $pH = 8$ в растворах буры, трилона Б, уксуснокислого натрия, муравьинокислого натрия, а также щавелевой кислоты в присутствии трилона Б сохраняется прямо пропорциональная зависимость в интервале концентраций германия от $0,2$ до 4 мМ/л .

Таким образом, для полярографирования четырехвалентного германия могут быть использованы многие буферные растворы как с добавкой трилона Б, так и в отсутствие его.

Основным условием, обеспечивающим получение хорошо выражен-

ных волн германия, является сохранение pH полярографируемого раствора близким к восьми.

Более подробное исследование уксуснокислой среды для полярографирования германия показало, что потенциал полуволны германия с увеличением концентрации ацетата натрия смещается в положительную сторону.

Это явление, видимо, связано с понижением абсолютной величины ϕ' потенциала по мере повышения концентрации индифферентного электролита и ослаблением сил отталкивания между отрицательно заряженной поверхностью и зарядом иона германия [10]. Значение константы диффузионного тока в этих опытах оставалось практически постоянным и составляло $7,7 \pm 0,2$.

Форма волны германия лучше выражена при концентрации $\text{CH}_3\text{COONa} > 0,2 \text{ M}$, которая рекомендуется нами для аналитического применения.

Изучение волны Ge^{IV} в растворе $0,4 \text{ M CH}_3\text{COONa}$ при различном значении pH раствора показало, что волна доступна измерению в пределах pH от 6,2 до 10,4. При pH ниже 6,2 волна германия маскируется разрядом водородных ионов, а при pH 10,4 она вообще не появляется.

Потенциал полуволны германия остается постоянным и равным $-1,420 \pm 0,003 \text{ в}$ до $pH = 8,5$, а затем заметно смещается в область более отрицательных потенциалов.

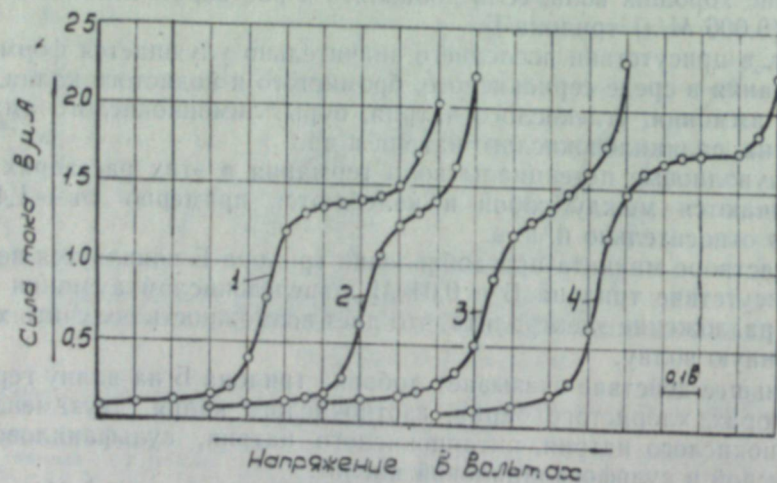


Рис. 2. Форма волны Ge^{IV} в $0,4 \text{ M CH}_3\text{COONa}$ в зависимости от величины pH :
1 — $pH = 6,1$; 2 — $7,0$; 3 — $8,0$; 4 — $9,0$.

Значение константы диффузионного тока также остается постоянным и равным в среднем $8,1 \pm 0,3$ до $pH = 8,5$, свыше которого наблюдается ее уменьшение. В области $pH = 7,0-8,5$ волна имеет наиболее четкую форму (рис. 2).

Из полученных данных следует, что для практического использования пригодна область pH от 7,0 до 8,5.

Далее нами была испытана возможность полярографирования германия с добавкой сульфита натрия для подавления волны кислорода. Опыты показали, что волна кислорода полностью подавляется уже при концентрации сульфита натрия $0,04 \text{ M}$. При увеличении концентрации сульфита натрия обнаружено возрастание величины диффузионного тока германия и смещение потенциала полуволны в положительную сторону.

Однако при добавлении желатины в количестве $0,002\%$ и выше возрастание диффузионного тока с увеличением содержания сульфита натрия не наблюдается.

Вероятно, отмечаемое возрастание диффузионного тока связано с появлением максимума второго рода [11], который подавляется желатиной, а смещение потенциала полуволны германия объясняется, по-видимому, теми же причинами, что и в случае увеличения концентрации ацетата натрия.

Хорошо выраженные и устойчивые волны германий дает в ацетатном электролите в присутствии сульфита натрия и небольшого количества желатины.

При содержании желатины выше $0,005\%$ значение константы диффузионного тока уменьшается, волна сдвигается в отрицательную сторону, приближаясь к потенциалу разложения основного электролита. Поэтому рекомендуется концентрация желатины в пределах $0,002-0,005\%$.

Исследование зависимости предельного тока от концентрации германия в растворе проводилось в среде уксуснокислого натрия в присутствии и отсутствии желатины и сульфита натрия. Во всех растворах зависимость предельного тока от концентрации германия выражается кривой с точкой перегиба около $0,4 \text{ мМ/л}$ (рис. 3), которая приближенно может быть заменена двумя прямыми.

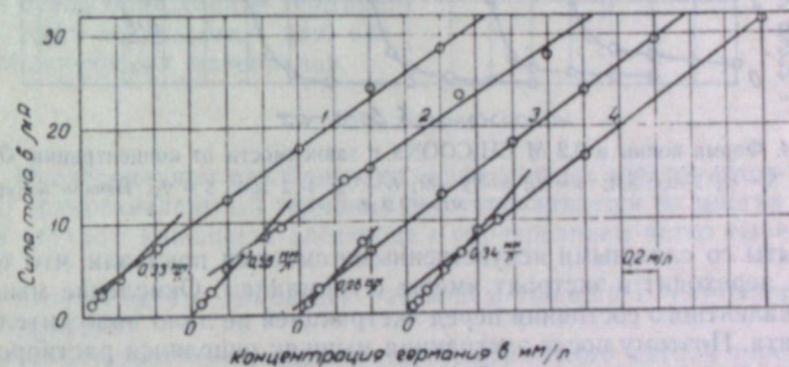


Рис. 3. Зависимость предельного тока от содержания Ge^{IV} в растворах:
1 — $0,2 \text{ M CH}_3\text{COONa}$; 2 — $0,2 \text{ M CH}_3\text{COONa} + 0,05 \text{ M Na}_2\text{SO}_3$; 3 — $0,2 \text{ M CH}_3\text{COONa} + 0,002\%$ желатины;
4 — $0,2 \text{ M CH}_3\text{COONa} + 0,002\%$ желатины + $0,005 \text{ M Na}_2\text{SO}_3$.

Такая сложная зависимость предельного тока от концентрации германия может быть обусловлена смещением равновесия между H_2GeO_3 и $\text{H}_2\text{Ge}_5\text{O}_{11}$ [12] при увеличении содержания германия в растворе в сторону пентагерманатов.

Кроме того, следует отметить, что при содержании германия выше $0,4 \text{ мМ/л}$ искажается форма волны, а при концентрации более 1 мМ/л намечается раздвоение волны (рис. 4).

Из этих данных следует, что в практике следует избегать больших ($> 0,4 \text{ мМ/л}$) концентраций германия в растворе.

Таким образом, можно рекомендовать следующие условия полярографирования германия в уксуснокислой среде: $pH = 7-9$, концентрация $\text{CH}_3\text{COONa} > 0,2 \text{ N}$, содержание германия в растворе не более $0,4 \text{ мМ/л}$ ($1,5 \text{ мг}$ в 50 мл). Можно применять сульфит натрия для подавления волны кислорода, но при этом обязательна добавка желатины в концентрации $0,001-0,002\%$.

В этих условиях было изучено влияние сопутствующих элементов, чтобы установить методику анализа.

Как показали опыты, очень большое число элементов восстанавливается в уксуснокислой среде и мешает определению германия.

Кроме того, ряд ионов — железа, кальция, олова, цинка, свинца — гидролизуются в условиях, рекомендуемых для полярографирования германия, что вызывает уменьшение волны германия. Присутствие в растворе трилона Б связывает часть ионов в комплексы, не восстанавливающиеся на ртутном капельном электроде, но ионы таких элементов, как теллур, селен, мышьяк, хром, восстанавливаются и мешают определению германия. Практически требуется отделение германия от большинства сопутствующих элементов, что лучше всего достигается экстракцией германия четыреххлористым углеродом из 9 N HCl [13].

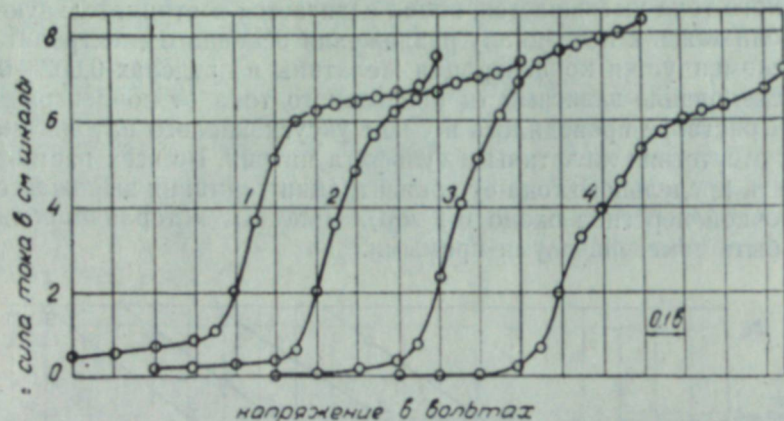


Рис. 4. Форма волны в 0,2 M CH_3COONa в зависимости от концентрации Ge^{IV} : 1—0,1 мМ; $S = 1/2$; 2—0,4 мМ; $S = 1/2$; 3—1,2 мМ; $S = 1/10$; 4—2 мМ; $S = 1/20$. Начало полярограмм от $-1,0$ в.

Опыты со сложными искусственными смесями показали, что только мышьяк переходит в экстракт вместе с германием. Окисление мышьяка до пятивалентного состояния перед экстракцией не дало положительного результата. Поэтому после экстракции мышьяк окислялся раствором йода, и тем устранялись его действия, мешающие полярографированию германия.

Применение других окислителей ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KMnO_4 , VO^{+2} , BrO_3^-) оказалось невозможным, так как они восстанавливаются на ртутном капельном электроде и мешают определению германия.

Установление требуемого pH среды после экстракции германия лучше производить растворами уксуснокислого натрия и буры. Рекомендуемые условия полярографирования германия были испытаны на материалах заводов цветной металлургии.

Навеска пробы (0,2—1,0 г, в зависимости от содержания германия) разлагается смесью кислот $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{H}_3\text{PO}_4$ [11] или сплавлением с Na_2O_2 [14]. В последнем случае необходимо до экстракции добавлять гидроксилламин (солянокислый или сернокислый) в раствор для разрушения перекиси водорода. Затем фосфорнокислый раствор после кислотного разложения или сернокислый после выщелачивания сплава переносится в делительную воронку. Объем раствора должен составлять 15—30 мл. Добавляется концентрированная соляная кислота до установления ее концентрации близкой 9 N. Далее проводится экстрагирование германия четыреххлористым углеродом в два приема в течение 2 мин. каждый раз (вначале 40 и затем 20 мл). Промывание слоя четыреххлористого углерода осуществляется встряхиванием с 10 мл 10 N HCl.

Германий из экстракта четыреххлористого углерода извлекается 10 мл воды двукратно по 1 минуте.

Водные вытяжки собираются в мерную колбу на 50 мл, добавляется 3 капли 0,1 N раствора йода (для окисления мышьяка), 3 капли индикатора ЗИВ-1 или фенолфталеина и 10 мл раствора, содержащего 0,1 N буру и 0,5 M CH_3COONa . Если раствор получится с $\text{pH} < 7$, то добавляется несколько капель 1 N NaOH, до $\text{pH} = 7-9$, объем доводится до 50 мл. Раствор переносится в электролизер полярографа, в течение 10 мин. пропускается водород, и волна германия снимается при потенциалах от $-1,0$ до $-1,7$ в.

Результаты полярографического анализа различных продуктов цветной металлургии приведены в табл. 1 и сопоставлены с данными колориметрического анализа.

Как видно из табл. 1, результаты полярографического и колориметрического определений близки между собой.

Таким образом, полярографический метод определения германия может быть использован для анализа практических материалов.

Сравнительные результаты определения германия колориметрическим и полярографическим методами, %.

Таблица 1

Колориметрия	Полярография	Относительное расхождение
0,0185	0,0180	-2,7
0,0190	0,0195	+2,50
0,0196	0,0196	0,0
0,034	0,034	0,0
0,0875	0,0876	+0,12
0,204	0,203	-0,49
0,265	0,260	-1,92
0,366	0,347	-5,2

Выводы

1. Исследованием различных индифферентных электролитов показано, что четырехвалентный германий восстанавливается из многих растворов на ртутном капельном электроде с образованием четко выраженной волны.
2. Отмечено, что добавка к растворам трилона Б улучшает форму волны германия.
3. Показана применимость полярографического метода определения германия на фоне уксуснокислого натрия и буры при анализе практических проб.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5/IX 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Назаренко, Н. В. Лебедева, Р. В. Новицкая, Метод определения германия в рудах, углях и промышленных отходах. Зав. лаборатория, 24, 1, 1958.
2. И. П. Алимари, Б. И. Иванов-Эмин, О восстановлении соединений германия на каплюющем ртутном катоде. Сообщение 6, ЖПХ 17, № 4—5, 1944.
3. Т. В. Арефьева, А. А. Позднякова и Р. Г. Пац, Определение индия, таллия и германия полярографическим методом. Сб. «Обогащение и металлургия цветных металлов». Металлургиздат, 1953.
4. D. Gurta, C. C. N. Nair, Polarographic study of germanium, J. Sci. ind. res. 1013, 322 (1951).
5. P. Valenta, P. Zuman, Polarografia germania. Chem. Listy 46, 478 (1952).
6. G. Sauvenier, G. Duyckaerts, Etude du comportement polarographique de Ge^{VI} Anal. Chim. Acta 13, 396 (1955).
7. G. Sauvenier, G. Duyckaerts, Dosage polarographique du germanium dans des minerais et concentrés germanifères Anal. Chim. Acta 16, 592 (1957).
8. S. K. Dahr, Polarography of tetravalent germanium. Anal. Chim. Acta 15, 91 (1956).

9. Z. Sůlcek, J. Gotteried, Rukhle metody v analyse KOVU a nerostnych surovin I. Polarograficke stanoveni germania Chem. Listy 11, 2010 (1957).
10. А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Иофа. Б. И. Кабанов, Кинетика электродных процессов. Изд. Московского ин-та, 1952.
11. Г. А. Крюкова, Полярографические максимумы первого и второго рода. ЖФХ 21, 365 (1947).
12. G. Carpinì, A. Tschakirian, Sur le comportement électrochimique des solutions aqueuses d'oxyde germanique GeO_2 , C. R. 226, 725 (1948).
13. W. Fischer, W. Naare, Bestimmung von Arsen Germanium nach ihrer Abtrennung durch verteilen. Angew. Chem. 66, 165 (1954).
14. Т. В. Арефьева, Л. Б. Гинзбург, М. И. Троицкая, С. Ю. Файнберг, Новые методы анализа руд и продуктов цветной металлургии. Сб. «Современные методы анализа в металлургии». Металлургиздат, 1955.

С. С. БАЦАНОВ, В. И. ДУРАКОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОННОСТИ СВЯЗЕЙ ИЗ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ДАННЫХ

(Предварительное сообщение)

Определение полярностей химических связей является одной из главных проблем современной теоретической химии. Наиболее употребительные методики изучения характера связей, основанные на измерении дипольных или квадрупольных моментов, могут считаться лишь полуколичественными, так как ни одна из них не учитывает гибридизацию электронных оболочек. Первая игнорирует также поляризацию ионов. Трудность разделения указанных факторов лежит в самой природе вещей, и единственным выходом из положения является увеличение числа независимых методов определения полярностей атомов и усреднение результатов, полученных разными путями.

Весьма заманчивой представляется перспектива использования поляризационных данных для нахождения эффективных зарядов атомов, поскольку величины атомных и электронных поляризаций непосредственным образом зависят от ионности химической связи. Первая попытка применения поляризаций для определения природы связей принадлежит, по-видимому, Херцу [1], который предложил использовать отношение $k = \frac{P_{\text{общ}}}{R_D}$ для характеристики молекул органических веществ.

Этот коэффициент оказывается близким к единице для углеводородов, имеет величину 1,6—3,5 для галогеналкилов, 2,5—3,5 для эфиров, спиртов, кислот, кетонов, альдегидов и нитросоединений. Причина такого изменения k вполне понятна: в ковалентных соединениях P_a близка к нулю и $P_{\text{общ}} \approx P_e \approx R_D$, по мере же увеличения полярности атомов P_a растет и $P_{\text{общ}}$ становится значительно больше R_D .

В 1936 г. Вотсон и Рамасвэми [2] ввели более точную функцию. Они сравнивали отношение $k' = \frac{P_a}{P_e}$ для газообразных гидридов, окислов и фторидов и констатировали его увеличение от 0,7 (для H_2) до 65,0 (для SiF_4), т. е. коэффициент увеличивается вместе с ростом полярности связи.

Пять лет спустя Линке [3] использовал отношение $\frac{P_a}{P_e}$ для характеристики полярностей связей в ряде газообразных галогенидов элементов 2, 3, 5 и 6 групп периодической системы. Он же указал, что это отношение зависит не только от ионности связи, но и от специфики инфракрасного спектра конкретного вещества. Поэтому он предлагает сравнивать k' лишь для аналогичных соединений.

Наконец, с 1948 г. М. М. Якшин [4, 5], а затем Г. Б. Бокий [6] начали применять коэффициенты k и k' для характеристики полярностей связей в комплексных соединениях платины.

Несмотря на большую историю этого вопроса, физический смысл от-

ношения $\frac{P_a}{P_e}$ до сих пор не вскрыт, что, в свою очередь, не позволяет установить пределы применимости и возможности этой функции.

Известно, что атомная поляризация зависит не только от величины зарядов на атомах, но и от их массы и энергии межатомной связи. Очевидно, что при одинаковых зарядах смещение атомов в результате действия поля будет тем меньше, чем больше масса их ядер и чем прочнее связаны атомы друг с другом. Электронная же поляризация, в общем, уменьшается по мере роста прочности химических связей и поэтому деление P_a на P_e в какой-то степени нивелирует влияние различия в энергиях связи. В случае аналогичных веществ эта нивелировка будет более точной, что позволяет сопоставлять k' для родственных соединений.

Можно проверить, насколько строго выполняется это условие для случая щелочных галогенидов. Известно, что рефракция есть функция объема молекулы, т. е. r^3 , а энергия кристаллической решетки — функция обратной величины размера молекулы, т. е. $\frac{1}{r}$. Поэтому произведе-

ние $\sqrt[3]{R \cdot E_{\text{крст}}}$ должно оставаться постоянным. В табл. 1 приведены значения R_x (1-е строчки) из нашей работы [7], энергий решеток (2-е строчки) из физико-химических таблиц Ландольта-Бернштейна и произведения $\sqrt[3]{R \cdot E_{\text{крст}}}$ (3-е строчки).

Таблица 1

Взаимосвязь электронных поляризаций и энергий кристаллических решеток

Анионы \ Катионы	F	Cl	Br	J
Li	2,31 246,5 326	7,15 201,8 389	9,89 191,2 410	15,05 177,2 437
Na	2,97 217,2 312	8,29 185,1 375	11,19 176,8 395	16,21 165,7 419
K	5,01 193,3 331	10,54 169,1 371	13,49 162,7 387	18,84 163,5 408
Rb	6,96 184,6 352	12,21 163,5 376	15,22 157,4 390	20,72 149,3 410

Из табл. 1 видно, что произведения $\sqrt[3]{R \cdot E_{\text{кр}}}$ остаются приблизительно постоянными и равными примерно $381 \pm$ среднее отклонение 28, т. е. 7%. Это постоянство и обеспечивает правомерность применения отношения $\frac{P_a}{P_e}$ для качественного определения полярностей связей в родственных соединениях. Однако в этом отношении еще никак не учтено влияние различных масс атомов, а эмпирический характер указанной функции не дает даже возможности введения сколько-нибудь обоснованного учета этого обстоятельства.

Таблица 2

Коэффициенты ионности щелочных галогенидов				
Анионы \ Катионы	F	Cl	Br	J
Li	2,084	1,243	1,034	0,817
Na	1,907	1,017	0,845	0,703
K	1,744	1,000	0,812	0,628
Rb	1,496	1,001	0,826	0,638

В табл. 2 приводятся значения коэффициентов k' для ряда щелочных галогенидов, обладающих одинаковым структурным типом, именно типом NaCl. Атомные поляризации рассчитаны, по данным Хаусзюля [8], при использовании табулированных выше значений электронных поляризаций.

Из табл. 2 видно, что отношения $\frac{P_a}{P_e}$ закономерно изменяются в ряду $F \rightarrow Cl \rightarrow Br \rightarrow J$ одного и того же металла, но совершенно неправильно при переходе от одного катиона к другому. Следовательно, даже в таких однотипных соединениях, как щелочные галогениды, коэффициенты ионности не могут дать общего представления о полярности связей.

Таким образом, неудача в использовании поляризационных данных для определения ионности связей заключается в эмпирическом характере соответствующего коэффициента. Тот же вопрос может быть удовлетворительно решен, если исходить из теоретически обоснованной зависимости поляризации вещества от характера связей в нем.

Известно, что атомная поляризация может быть определена из инфракрасных спектров по уравнениям типа

$$P_a = \frac{N_e^2 f_i}{3 \pi m v_i^2}$$

где e — эффективный заряд,
 m — приведенная масса,
 f_i — сила осциллятора,
 v_i — частота валентного колебания.

Определив из измерений диэлектрических постоянных, показателей преломлений и плотностей атомную поляризацию, можно из исследований инфракрасных спектров найти v_i и f_i и рассчитать величину эффективного заряда. Однако для случая кристаллических щелочных галогенидов данные по частотам представлены неполно, а значения сил осцилляторов вообще отсутствуют. Эти обстоятельства не позволяют провести строгий теоретический расчет эффективных зарядов, но, пользуясь связью частот колебаний и атомных поляризаций с энергиями кристаллических решеток, можно осуществить приближенное вычисление.

Атомная поляризация, так же, как и рефракция, является функцией r^3 , тогда как энергия решетки — функция $\frac{1}{r}$. Отсюда произведение $\sqrt[3]{P_a \cdot E_{\text{кр}}}$ должно сохраняться приблизительно постоянным. В табл. 3 приведены соответствующие значения.

Из табл. 3 видно, что произведение $\sqrt[3]{P_a \cdot E_{\text{крст}}}$ колеблется вокруг значения 384 ± 19 , т. е. постоянно в пределах 5%. Частоты валентных колебаний изменяются симбатно с энергиями ре-

Таблица 3

Взаимосвязь атомных поляризаций и энергий кристаллических решеток

Анионы \ Катионы	F	Cl	Br	J
Li	416	418	415	409
Na	387	377	374	373
K	398	371	361	350
Rb	403	377	366	355

шеток, что позволяет вычислять частоты по известным энергиями кристаллических решеток. Составив пропорции типа $\frac{E_1 - E_2}{\nu_1 - \nu_2} : \frac{E_3 - E_4}{\nu_3 - \nu_4} = \frac{E_2 - E_4}{\nu_2 - \nu_4} : \frac{E_1 - E_3}{\nu_1 - \nu_3}$, где E_1 и ν_1 ; E_2 и ν_2 ; E_3 и ν_3 ; E_4 и ν_4 соответственно энергии и частоты щелочных галогенидов — соседей данного соединения в рядах Li — Na — K — Rb и F — Cl — Br — J. В табл. 4 приведены значения частот (из таблиц Ландольта-Бернштейна) и энергий кристаллических решеток — 1 и 2-е строчки соответственно, причем вычисленные значения отмечены звездочкой.

Таблица 4

Частоты и энергии щелочных галогенидов

Анионы \ Катионы	F	Cl	Br	J
Li	307 246,5	197,1* 201,8	161* 191,2	138* 177,2
Na	246 217,2	164 185,1	134 176,8	116* 165,7
K	209,1* 193,3	141,5 169,1	113 162,7	98 153,5
Rb	174,2* 184,6	118 163,5	88 157,4	77 149,3

Сравнение основных результатов, вытекающих из табл. 3 и 4, позволяет оценить значения сил осцилляторов. В самом деле, поляризация гармонического осциллятора есть прямая функция fi и обратная ν_1^2 .

Поскольку ν приблизительно пропорционально E (табл. 4), то можно записать, что $P_a = a \frac{fi}{E^2}$. Вместе с тем, как было показано, $\sqrt{P \cdot E} = \text{const}$. Отсюда сразу следует, что $fi = b \frac{1}{E}$. Теперь мы имеем все возможности произвести (в первом приближении) расчет эффективных зарядов по формуле $P_a = q \frac{e^2}{m \nu^2 E}$. Результаты таких расчетов приведе-

ны в табл. 5, причем величина эффективного заряда для фтористого калия была взята равной 1, чтобы определить величину коэффициента пропорциональности q .

Таблица 5

Эффективные заряды в щелочных галогенидах

Анионы \ Катионы	F	Cl	Br	J
Li	0,78	0,65	0,58	0,54
Na	0,91	0,80	0,75	0,72
K	1,00	0,84	0,79	0,74
Rb	0,98	0,86	0,82	0,79

Эти данные показывают, что эффективные заряды на атомах щелочных галогенидов изменяются совершенно закономерно как в рядах металлов, так и неметаллов, что указывает на принципиальную правильность произведенного расчета.

Основной вывод, который можно сделать из проделанной работы, заключается в том, что использование отношения атомной к электронной поляризации не имеет больших перспектив в изучении характера химических связей, тогда как совместное решение уравнений атомной поляризации из измерений диэлектрических постоянных и инфракрасных спектров уже в простейшем варианте позволяет получить качественно правильную картину изменения ионности связей в щелочных галогенидах. Уточнение указанной зависимости, главным образом по линии экспериментального определения сил осцилляторов, может привести к созданию нового количественного метода определения полярностей связей в химических соединениях.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20/V 1958

ЛИТЕРАТУРА

- W. Hertz, Dielektrizitätskonstante und Brechungsquotient, Z. anorg. Chem., 161, 217, 1927.
- H. Watson, K. Ramaswamy, The refractive index, dispersion and polarisation of gases, Proc. Roy. Soc., A156, 144, 1936.
- R. Linke, Über die Brechungsexponenten von PF_5 und OsO_4 , die Dielektrizitätskonstanten von OsO_4 , SF_6 , SeF_6 und TeF_6 , Z. Phys. Chem. B48, 193, 1941.
- М. М. Якшин, Об атомной поляризации и связевой рефракции комплексных соединений платины, Изв. сект. плат., 21, 146, 1948.
- М. М. Якшин, В. М. Езучевская, Об атомной поляризации цис-, трансизомерных диаминовых соединений платины, ЖНХ, 2, 555, 1957.
- Г. Б. Боклей, Об электронной и атомной поляризации комплексных соединений платины, Вестник МГУ, № 11, 1948.
- С. С. Баданов, Новый метод вычисления молекулярных рефракций, ЖНХ, 3, 241, 1958.
- S. Hausshül, Die dielektrische Verhalten der Alkalihalogenide von Steinsalztypus, Z. Naturforsch., 12a, 445, 1957.

Е. П. БАБИН, В. Г. ПЛЮСНИН, М. И. НАСАКИНА

**АЛКИЛИРОВАНИЕ МОНОИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА ПРОПИЛЕНОМ
В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ**

Ранее [1] указывалось, что при алкилировании моноизопропилбензола пропиленом при 60° наблюдается образование наряду с ди-, три- и тетраизопропилбензолами также и бензола. Максимальное его количество (13,3%) образуется при молярном соотношении пропилен — бензол примерно 1,08. При молярном соотношении около 2,5 бензол практически не образуется.

Следовательно, помимо реакции алкилирования моноизопропилбензола при 60° в присутствии хлористого алюминия при низких молярных соотношениях, протекает реакция дезалкилирования, причем образующийся бензол полностью не алкилируется подаваемым в реакционную среду пропиленом.

Представляло интерес выяснить, будет ли проходить подобная реакция при низкой температуре, а именно 20°, в условиях, при которых резко снижаются каталитические свойства хлористого алюминия [2, 3].

С этой целью нами проведено алкилирование моноизопропилбензольной фракции, кипящей в интервале температур 148—152° (d_4^{20} 0,8624 n_D^{20} 1,4910) 96—98% пропиленом в присутствии 0,03 моля хлористого алюминия на моль моноалкилбензола.

Экспериментальная часть

Алкилирование проводилось в трехгорлой колбе, снабженной обратным холодильником, барботером для подачи пропилена и шнековой мешалкой. Скорость вращения мешалки 2—2,5 тыс. оборотов в мин. Скорость подачи пропилена составляет 160—170 л/час на 1 кг моноизопропилбензола.

Продукты алкилирования, совместно со слоем комплекса хлористого алюминия с алкилбензолами, подвергались промывке ледяной водой и сушке над хлористым алюминием. Высушенные алкаты разгонялись на ректификационной колонне с погоноразделительной способностью 30 т. т. Промежуточные фракции, составляющие не более 1—2%, делились между соседними алкилбензолами.

Состав полученных катализаторов приведен в табл. 1. Там же указано количество пропилена, рассчитанного по молярному соотношению [4] и по балансу [5].

В табл. 2 приводятся составы продуктов алкилирования за вычетом полимеров пропилена и исправленные (истинные) молярные соотношения n , равные

$$n = 0,91 n. \quad (1)$$

Таблица 1

Состав катализаторов, полученных при 20°

n'	n	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	у по n'	у по балансу
0,196	1,196	1,5	73,8	24,3	—	—	6,42	5,84
0,408	1,408	0,8	48,6	33,2	5,3	—	12,49	11,36
0,599	1,599	0,3	44,0	39,5	13,4	—	17,34	15,78
0,939	1,939	—	26,8	40,4	28,0	—	24,73	22,50
1,020	2,020	—	23,6	39,4	33,2	—	26,31	23,94
1,502	2,502	0,9	6,9	31,0	57,2	—	34,46	31,36
1,815	2,815	0,2	2,0	15,2	77,1	8,2	38,85	33,35
2,081	3,081	—	—	1,1	81,4	17,4	42,14	38,35
2,416	3,416	0,7	0,9	0,1	53,0	45,3	45,85	41,70
2,445	3,445	0,2	0,9	0,2	56,0	42,7	46,11	41,96

где: n' — молярное отношение пропилен — моноизопропилбензол;
 n — молярное отношение пропилен — бензол;
 p_0 — количество бензола в вес. %;
 p_1 — количество соответствующего алкилбензола в вес. %.

Таблица 2

Опытные данные при n'

n	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4
0,176	1,5	74,1	24,4	—	—
0,371	0,8	49,6	33,9	5,4	—
0,454	0,3	45,3	40,6	13,8	—
0,854	—	28,1	42,4	29,4	—
0,928	—	24,8	41,4	33,8	—
1,367	0,9	7,2	32,3	59,6	—
1,652	0,2	2,2	16,4	71,9	3,2
1,894	—	0,1	5,8	84,6	4,6
2,081	—	—	1,4	83,8	9,9
2,198	0,7	0,9	0,1	72,4	24,8
2,225	0,2	0,9	0,2	70,1	22,8

Обсуждение результатов

Используя уравнения кинетики обратимо-последовательной реакции [1] и данные табл. 2, мы установили соотношения между константами скорости прямой и обратной реакциями образования алкилбензолов и бензола.

Опытные данные наиболее близко сходятся с теоретическими при соотношении констант $\beta_1 : k_1 : k_2 : k_3 : k_4$ как 0,038 : 1 : 0,025 : 0,0195 : 0,0007 при $g_1 = 0,02406$ и $g_2 = 1,0389$.

Молярный состав системы при этих соотношениях констант скорости представляется уравнениями:

$$\begin{aligned} c_0 &= 3,8 (0,985 e^{-0,02406kt} - 0,985 e^{-1,0389kt}), \\ c_1 &= 96,163 e^{-0,02406kt} - 96,163 e^{-1,0389kt}, \\ c_2 &= 2,5 (0,0376 e^{-1,0389kt} + 210,92 e^{-0,0195kt} - 210,88 e^{-0,02406kt}), \\ c_3 &= 0,04875 (2191,7 e^{-0,0007kt} - 11219 e^{-0,0195kt} + 9027,3 e^{-0,02406kt} - \\ &\quad - 0,0376 e^{-1,0389kt}). \end{aligned} \quad (2)$$

$$n_1 = 100 - \frac{c_1}{c_0} \sum c_i$$

Зависимость n_1 от kt выражается уравнением:

$$n_1 = 4 + 2,883 e^{-1,0389kt} + 3,259 e^{-0,02406kt} - 5,077 e^{-0,0195kt} - 10,684 e^{-0,0007kt} \quad (3)$$

На рис. 1 и 2 приведены теоретические кривые молярного состава системы в зависимости от молярного соотношения пропилен — бензол и весового состава, рассчитанных по уравнению [4] также от молярного соотношения. На рис. 2 нанесены экспериментальные точки. Их сходимость с теоретическими кривыми хорошая, что указывает на правильно выбранные соотношения констант скоростей.

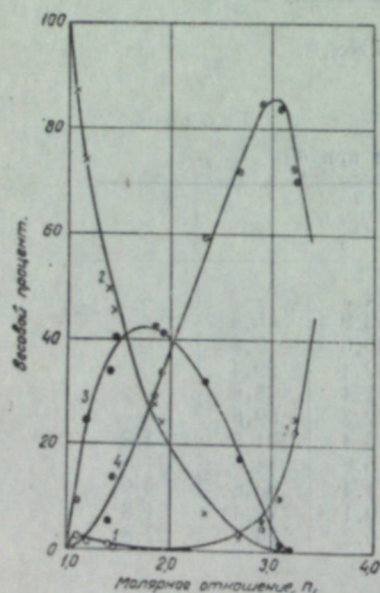


Рис. 1. Молярный состав системы пропилен — моноизопропилбензол.

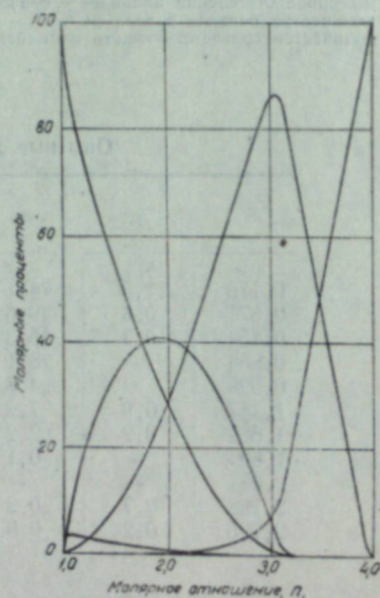


Рис. 2. Весовой состав системы пропилен — моноизопропилбензол.

Опытные данные:
1 — количество бензола; 2 — моноизопропилбензола; 3 — диизопропилбензола; 4 — триизопропилбензола; 5 — тетраизопропилбензола.

Сравнивая соотношения констант, найденных для системы пропилен — бензол, полученный при 20° [4] и для системы пропилен — моноизопропилбензол, опубликованной в настоящем сообщении, можно прийти к выводу, что при значениях n около 3 и выше наблюдается близость молярных значений алкилбензолов (табл. 3).

Близость молярных значений при значениях n около 3 указывает, что в случае исчезновения из системы бензола состав системы может быть рассчитан либо по уравнениям состава [4], либо по уравнениям (2). Следовательно, соотношение констант $k_1 : k_2 : k_3 : k_4$, равное $1 : 1,27 : 0,75 : 0,024$ [4], тождественно соотношению констант $\beta_1 : k_1 : k_2 : k_3 : k_4$, равное $0,038 : 1 : 0,025 : 0,0195 : 0,0007$.

Таблица 3

Молярный состав систем

n	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	Рассчитанные по уравнениям
2,795	1,11	2,89	15,41	76,59	4,00	[4]
2,850	0,10	2,60	14,02	78,76	4,52	(2)
2,982	0,25	0,69	6,62	85,43	7,01	[4]
2,993	0,03	0,78	6,40	85,38	7,41	(2)
3,089	0,03	0,12	1,79	87,03	11,03	[4]
3,072	0,01	0,23	2,72	86,59	10,45	(2)
3,146	—	0,02	0,45	84,39	15,14	[4]
3,126	—	0,07	1,15	84,86	13,92	(2)

Выводы

1. Показано, что при алкилировании моноизопропилбензола пропиленом наблюдается образование незначительного количества (до 1,5%) бензола при низких значениях молярного соотношения. Параллельно протекает реакция полимеризации пропилена.

2. Установлены соотношения констант скоростей обратимо-последовательной реакции алкилирования моноизопропилбензола пропиленом при 20° в присутствии хлористого алюминия.

Уральский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

- В. Г. Плюснин, Е. П. Бабин, Н. М. Родигин, М. И. Насакина, Отчет по теме: «Закономерности реакции алкилирования», 1947. Архив библиотеки УФАИ СССР.
- Н. Н. Лебедев, Хлористый алюминий в органической химии. Успехи химии № 12, 1952.
- Д. Найтингэл. Процесс алкилирования и действие галондного алюминия на алкилбензолы. Успехи химии, № 2, 1941.
- Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Насакина, Влияние температуры проведения процесса на соотношение между константами скорости образования алкилбензолов при алкилировании бензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия. Изв. СО АН СССР, № 11, 1958.
- В. Г. Плюснин, А. П. Лысенко, Е. П. Бабин, Закономерности замещения атомов водорода в бензольном ядре алкильными группами. Сообщение II. ЖФХ, № 10, 1957.

А. Г. ВАСИЛЕВСКАЯ

ДВОЙНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ИЗ СУЛЬФАТОВ КАЛЬЦИЯ И НАТРИЯ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ПРИРОДНОГО ТЕНАРДИТА

В период с 1951 по 1954 г. было проведено комплексное исследование оз. Б. Ажбулат в связи с подготовкой его к промышленному освоению как сульфатного месторождения.

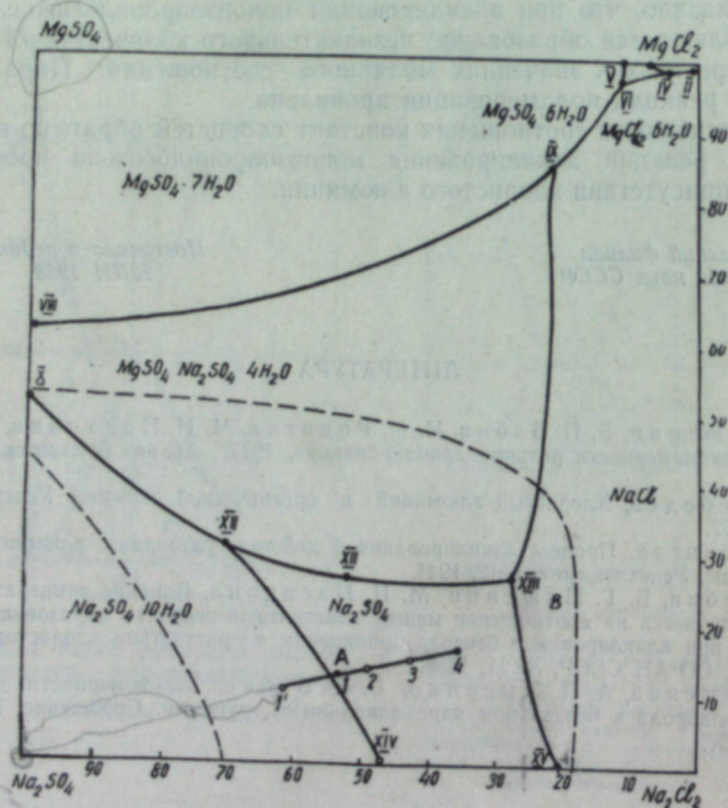


Рис. 1. Диаграмма взаимной пары $MgSO_4 + 2NaCl \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$, при 25°.

Одним из разделов данной работы явилось изучение процесса тенардитизации мирабилита в естественных условиях под слоем рапы оз. Б. Ажбулат (рис. 1, фигуративная точка А), проведенное в лаборатории солей Химико-металлургического института ЗСФАН СССР [1]. Одновременно изучался процесс тенардитизации мирабилита, под слоем рапы оз. Кучук (рис. 1, фигуративная точка В) с целью обоснования бассейнового метода обезвоживания мирабилита (в дополнение к заводскому) и, тем самым, расширения промышленных возможностей этого озера [2].

При этом было установлено, что из природных сульфато-хлоридных рассолов тенардит формируется тремя путями:

- 1) инконгруэнтным плавлением мирабилита;
- 2) кристаллизацией из рапы непосредственно в виде тенардита;
- 3) кристаллизацией из рапы через двойные соединения из сульфатов кальция и натрия [3].

В настоящей статье излагаются данные, полученные в результате изучения соединений, являющихся промежуточными при формировании тенардита по третьему из указанных путей.

Эти соединения выпадают из рапы в виде микроигольчатых кристаллов перед началом процесса тенардитизации мирабилита и в начальный период его и разлагаются с выделением тенардита.*

Химическим анализом отжатых под вакуумом микроигольчатых кристаллов, при учете поправки на адсорбированный маточник, рассчитанный по NaCl или $MgSO_4$, установлено, что в состав этих кристаллов входят сульфат кальция, сульфат натрия и вода в различных мольных соотношениях, но с той характерной особенностью, что число молекул Na_2SO_4 в них значительно преобладает над числом молекул $CaSO_4$ (табл. 1).

Таблица 1

Мольный состав микроигольчатых фаз, отобранных в природных и в лабораторных условиях из озерных рассолов (июль 1951 г.).

Место отбора проб	Состав	Состав рассола. Индексы Иенке.	
		SO_4^*	Mg^{**}
Оз. Б. Ажбулат, бассейн № 2	$2CaSO_4 : 3Na_2SO_4 : xH_2O$	45,50	7,70**
Там же, поверхностная пленка	$CaSO_4 : 12Na_2SO_4 : xH_2O$	46,23	8,10**
Там же, глубинная проба	$CaSO_4 : 4Na_2SO_4 : xH_2O$	46,26	8,10**
Оз. Б. Ажбулат, бассейн № 1	$CaSO_4 : 3Na_2SO_4 : xH_2O$	49,26	7,67**
Оз. Покровское	$CaSO_4 : 5Na_2SO_4 : xH_2O$	43,60	15,10
Оз. Б. Ажбулат, из рапы, упаренной на водяной бане в лабораторных условиях	$CaSO_4 : 3Na_2SO_4 : xH_2O$	53,90	13,44
	$CaSO_4 : 10Na_2SO_4 : xH_2O$	49,04	16,85
	$CaSO_4 : 20Na_2SO_4 : xH_2O$	60,01	14,35
	$CaSO_4 : 23Na_2SO_4 : xH_2O$	60,01	14,35

* В период проведения опытов рапа оз. Б. Ажбулат была ненасыщенной. В лаборатории рапа донасыщалась упариванием, на бассейнах — растворением в ней NaCl и мирабилита (по Mg^{**} рапа в бассейнах недонасыщалась).

В литературе нет данных о формировании тенардита через микроигольчатые двойные соединения из сульфатов кальция и натрия. Об образовании же самих микроигольчатых двойных соединений из сульфатов кальция и натрия имеются литературные данные.

В опытах получения тенардита из рапы оз. Б. Турали на западном побережье Каспийского моря В. П. Ильинский и Г. С. Клебанов [4] наблюдали в начальный момент кристаллизации тенардита из рапы образование микроигольчатых кристаллов, которые, по данным авторов, являются «двойной сернокислой солью кальция и натрия». О составе этой соли и о ее свойствах в работе [4] никаких указаний нет.

М. Г. Валяшко и Г. К. Пельш [5] при изучении метаморфизации насыщенных сульфатных растворов системы $MgSO_4 + 2NaCl \rightleftharpoons Na_2SO_4 +$

* В настоящий период (начиная с 1955 г.) в оз. Б. Ажбулат идет процесс формирования пласта тенардита. Большой удельный вес в этом процессе имеет образование тенардита через микроигольчатые соединения; в летнее время 1956—1957 гг. они наблюдались в виде огромных скоплений по всей площади озера.

+ $MgCl_2$ при 25° растворами бикарбоната кальция обнаружили, что в области рассолов поля тенардита и прилегающих к нему участков полей мирабилита, астраханита и галита (на рис. 1 эта область оконтурена пунктирной линией) образуется микроигольчатая фаза состава $CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$, которую авторы назвали «двуводным глауберитом».

Фриттше [см. 6] получил микроигольчатые двойные соли из сульфатов кальция и натрия в процессе приготовления соляной кислоты из серной кислоты и поваренной соли, загрязненной гипсом, а также при приготовлении глауберита из мирабилита, воды и осажденного гипса. В обоих случаях при температуре около 80° были получены игольчатые кристаллы, переходящие (при кипячении с маточником) в глауберит. По определению автора, кристаллы эти имели состав $CaSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$.

Вант-Гофф [6] получил микроигольчатые кристаллы двойной соли из сульфатов кальция и натрия в качестве промежуточной фазы при приготовлении глауберита из сухого хлористого кальция, мирабилита и воды при температуре кипения. Внешнее сходство полученных кристаллов с сингенитом ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$) привело автора к предположению, что последние имеют аналогичный сингениту состав, т. е. $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$, поэтому автор назвал это соединение натрий-сингенитом. По данным Вант-Гоффа, натрий-сингенит неустойчив. Даже при температуре своего образования ($30,2^\circ$) он постепенно переходит в глауберит.

Камерон, Белл и Робинзон [7] получили микроигольчатые соединения из сульфатов кальция и натрия в процессе изучения (при 25°) систем $NaCl - Na_2SO_4 - CaSO_4 - H_2O$ и $NaCl - Na_2SO_4 - CaSO_4 - CO_2 - H_2O$. Состав этих соединений, ввиду трудности отделения их от маточника, был определен косвенным путем (методом триангулярных диаграмм Шрейнемакера применительно к 4-компонентным системам) [8] и отвечал формуле $2CaSO_4 \cdot 3Na_2SO_4$.

Д'Анс [9] получил микроигольчатую двойную соль из сульфатов кальция и натрия при температуре 40° из растворов сульфатов и хлоридов натрия. Он достаточно полно отделил ее от маточника (сначала насосом, а затем гидравлическим прессом) и прямым анализом установил, что состав соли отвечает формуле $CaSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$. Д'Анс назвал эту соль «лабильной», считая, что она при любых условиях неустойчива по отношению к глаубериту, в который она превращается весьма медленно.

Гилл и Виллс [10], изучая изотермы тройной системы $CaSO_4 - Na_2SO_4 - H_2O$ при температурах $25, 35, 50$ и 75° , установили существование в ней двух двойных солей, кристаллизующихся в микроигольчатой форме — «лабильной соли» $CaSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$ (ранее открытой Фриттше, Барре, Д'Ансом и Шрейнером) и так называемого натрий-пентакальций-сульфата $Na_2SO_4 \cdot 5CaSO_4 \cdot 3H_2O$.

«Лабильная соль», по данным авторов, существует во всем интервале температур ($25-75^\circ$)^{*} и очень неустойчива. Состав ее определялся методом триангулярных диаграмм Шрейнемакера и один образец был проанализирован прямым путем после отмычки водноспиртовой смесью.

Натрий-пентакальций-сульфат существует в пределах температур от 35 до 75° . При температуре выше 55 и до 75° последний более устойчив по сравнению с «лабильной солью». В этой же системе ($CaSO_4 - Na_2SO_4 - H_2O$) М. Кыдынов и И. Г. Дружинин [11] также обнаружили,

^{*} При 25° «лабильная соль» получена авторами [10] в области пересыщенных растворов.

как указывают авторы, существование «лабильной соли» ($CaSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$) при $0^\circ, 40, 60$ и 80° и натрий-пентакальций-сульфата ($Na_2SO_4 \cdot 5CaSO_4 \cdot 3H_2O$) при $20, 40, 60$ и 80° .

Я. Д. Фридман и А. А. Зиновьев [12—14] указывают, что при разложении глауберита ($CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$) малыми порциями воды и при получении глауберита в условиях испарения растворов системы $Ca \cdot Na \cdot || SO_4, Cl' + H_2O$ в присутствии гипса в качестве промежуточных фаз образуются натрий-сингенит $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$ и соль состава $Na_2SO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 3H_2O$, кристаллизующиеся в микроигольчатой форме.

Таким образом, микроигольчатые двойные соли из сульфатов кальция и натрия были получены различными авторами в различных условиях и имели различный состав. Изучение этих соединений сводилось, в основном, к определению их состава (из-за трудности освобождения от маточника почти во всех случаях состав определялся косвенными методами). Формирование микроигольчатых двойных соединений из сульфатов кальция и натрия большинство авторов связывает с формированием глауберита и ни один не связывает с формированием тенардита, хотя, казалось бы, совершенно логично считать, что при разложении таких солей, как «лабильная» $CaSO_4 \cdot 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$, наряду с глауберитом, должен образоваться и тенардит в одинаковом с глауберитом молярном количестве.

Нами исследования микроигольчатых двойных соединений из сульфатов кальция и натрия были предприняты с целью выявить их роль в формировании природного тенардита, изучить природу этих соединений их состав и продукты распада.

Синтез микроигольчатых двойных соединений из сульфатов кальция и натрия в тройной системе $CaSO_4 - Na_2SO_4 - H_2O$ и изучение природы этих соединений

Первоначально мыслилось выделять микроигольчатые фазы при изотермическом испарении растворов системы $CaSO_4 - Na_2SO_4 - H_2O$, но получить их в чистом виде в этих условиях не удалось: микроигольчатые кристаллы выпадали в весьма незначительном количестве в виде примеси к мирабилиту и гипсу или тенардиту и глаубериту (в зависимости от выбранной температуры).

В дальнейшем синтез проводился путем нагревания смеси осажденного гипса, безводного $Na_2SO_4 \cdot H_2O$ и воды. Соли брались в виде готовых смесей с различными молярными отношениями $\frac{CaSO_4}{Na_2SO_4} = 1/1; 1/2; 1/3 \dots 1/50; 1/100; 2/1$ и т. д. Вода добавлялась постепенно небольшими фиксированными порциями. Нагрев производился (со скоростью $0,2^\circ/\text{мин.}$) до 50° на водяной бане при перемешивании смеси и сопровождался просмотром (через каждые 3 мин.) капли смеси под микроскопом и ежеминутной записью температур реагирующей смеси и воды в водяной бане.

При этом было установлено следующее:

1. При температурах, превышающих 32° , смесь набухает с образованием молочно-белой консистенции массы, состоящей из микроигольчатых кристаллов с примесью гипса или сульфата натрия (если один из компонентов не смог войти в реакцию полностью) или того и другого (если смесь не успела прореагировать).

2. Вода расходуется на набухание смеси только до определенного предела, по достижении которого вновь прибавляемая порция ее уже не входит в реакцию, образуя слой жидкой фазы над микроигольчатой

массой. При любом молярном соотношении между гипсом и сульфатом натрия количество воды, расходуемой на предельное набухание смеси, соответствовало примерно 20 молям ее на каждый моль прореагировавшего сульфата натрия.

3. На кривых нагревания, построенных по данным записи температур в координатах t° и τ (мин.), проявились многочисленные остановки длительностью от 2 до 4 мин. и небольшие экзоэффекты.

Остановки при температурах: $37,5 \pm 0,5^\circ$; $41,3 \pm 0,5^\circ$; $43,5 \pm 0,5^\circ$; $45,5 \pm 0,5^\circ$ повторялись на каждой кривой, свидетельствуя об образовании при этих температурах химических соединений или ограниченных твердых растворов.

4. На смеси $\frac{\text{CaSO}_4}{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{100}$ прослежено (по расходу воды на предельное набухание смеси), что при $37,5^\circ$ образуется микрогольчатая фаза состава $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$, а при $41,3^\circ$ — $\text{CaSO}_4 : 15\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$.

Для проверки правильности данного заключения были приготовлены смеси, соответствующие указанным составам, и проведено их нагревание как при температуре $37,5^\circ$, так и при $41,3^\circ$.

Полученные результаты (табл. 2) подтвердили, что при $37,5^\circ$ образуется микрогольчатая фаза состава $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$, а при $41,3^\circ$ — $\text{CaSO}_4 : 15\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$; смесь $\text{CaSO}_4 + 25\text{Na}_2\text{SO}_4 + 500\text{H}_2\text{O}$ полностью прореагировала при $37,5^\circ$; при $41,3^\circ$ часть сульфата натрия из этой смеси осталась непрореагировавшей. Смесь же $\text{CaSO}_4 + 15\text{Na}_2\text{SO}_4 + 300\text{H}_2\text{O}$ полностью прореагировала при $41,3^\circ$, а при $37,5^\circ$ часть гипса из этой смеси не вошла в реакцию.

Таблица 2

Состав твердых фаз, синтезированных в тройной системе

Состав исходной смеси в молях	Температура, $^\circ\text{C}$	Состав твердой фазы после нагревания (данные микроскопических наблюдений)
$\text{CaSO}_4 + 25\text{Na}_2\text{SO}_4 + 500\text{H}_2\text{O}$	$37,5^\circ$	Микрогольч. кристаллы
	$41,3^\circ$	Микрогольч. кристаллы + сульфат натрия
$\text{CaSO}_4 + 15\text{Na}_2\text{SO}_4 + 300\text{H}_2\text{O}$	$37,5^\circ$	Микрогольч. кристаллы + гипс
	$41,3^\circ$	Микрогольч. кристаллы

Таким образом, было подтверждено, что температурным остановкам на кривых нагревания смеси соответствует образование микрогольчатых фаз различного, но вполне определенного состава.

Кривые нагревания смеси гипса, сульфата натрия и воды были получены также и на пирометре Курнакова марки ФПК-55 с термопарами хромель-алюмелевыми, комбинированными; горячие спаи помещались непосредственно в реагирующую смесь (и эталон), нагрев производился со скоростью $0,2^\circ/\text{мин.}$ на водяной бане в пробирках диаметром 36 мм, при механическом перемешивании поступательно движущимися (120 движений в минуту) мешалками. Последние не задевали терморпар, но создавали легкую вибрацию, отчего кривые нагревания (особенно дифференциальная) записывались в виде мелковолнистых линий, не мешающих, однако, проявлению эффектов.

В качестве эталона первоначально был взят насыщенный раствор NaCl. Но при этом на кривых нагревания появлялся большой эндотермический эффект плавления мирабилита, который на дифференциаль-

ной кривой занимал область температур от 32 до 57° и, таким образом, перекрывал все возможные в этой области эффекты. В дальнейшем в качестве эталона мы стали принимать смесь сульфата натрия и воды (в том же количестве, что и в образце); при использовании ее эффект плавления мирабилита в образце и эталоне взаимно компенсировался, и на кривых нагревания проявлялись лишь эффекты, связанные с взаимодействием компонентов смеси.

Было получено несколько термограмм. На последних также проявилось несколько термических эффектов — эндозаффект при $29,5^\circ$, соответствующий, видимо, образованию глауберита из компонентов*, и ряд экзотермических эффектов — при $32, 37, 38, 40$ и 43° , т. е. примерно при тех же температурах, что и на визуальных кривых нагревания.

Таким образом, и автоматически записанные кривые нагревания свидетельствуют о том, что между сульфатом кальция и сульфатом натрия в присутствии воды образуются микрогольчатые фазы, являющиеся либо химическими соединениями, либо ограниченными твердыми растворами.

Для изучения природы микрогольчатых фаз был проведен рентгеноструктурный анализ их** и были изучены изотермы некоторых свойств растворов системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Рентгеноструктурный анализ проводился научным сотрудником лаборатории абсолютного вояраста ЗСФАН СССР Д. К. Архипенко на аппарате марки УРС-70к-1 в камерах Дебая ВРС-ЗЛГУ ($d = 143,25$ мм) и в малых камерах ($d = 66$ мм) на медном отфильтрованном излучении ($\lambda = 1,537$ кх) с вращением образца. В качестве эталона для внесения поправок использовался NaCl. Были сняты рентгенограммы нескольких образцов микрогольчатых фаз наиболее сложного состава $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$, а также гипса (использовавшегося в наших опытах в качестве исходного материала), глауберита (из месторождения Желды-су, Тянь-Шань), тенардита, полученного в опытных бассейнах на оз. Б. Ажбулат [1], безводного $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{XCH}$ и смеси гипса, сульфата натрия и воды в пропорциях $\text{CaSO}_4 + 25\text{Na}_2\text{SO}_4 + 300\text{H}_2\text{O}$.

Микрогольчатые фазы во избежание разложения не отделялись от маточника. Рентгеносъемка их производилась при комнатной температуре и при 35° (в термостатированной камере).

В обоих случаях рентгенограммы свежеприготовленных препаратов имели весьма нечеткие очертания, перекрываемые сильным фоном, что не позволило сделать заключение об их кристаллической структуре.

По-видимому, сразу после приготовления микрогольчатые фазы еще не полностью закристаллизовались и во время экспозиции находились в стадии кристаллизации.

Те же препараты при повторном рентгеноструктурном анализе (через 5—6 дней после приготовления препарата) давали уже четкие рентгенограммы, на которых имелись линии, характерные для тенардита.

Данные рентгеноструктурного анализа (табл. 3) показывают, что на рентгенограммах повторно снятых микрогольчатых фаз состава $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ ни линий гипса, ни линий глауберита, ни линий мирабилита нет. Имеются линии, характерные для тенардита, а также появляются слабые линии, которые можно приписать присутствию

* Точка образования глауберита из компонентов была определена Вант-Гоффом [6] dilatометрически как среднее из температур расширения ($+30^\circ$) и сжатия ($+28^\circ$), т. е. 29° , и Гиллом и Виллом [10] методом графической экстраполяции ($27,5^\circ$). Термографически эта точка впервые получена нами.

** При применении анализом, связанных с отнятием воды (кристаллооптический и газоволюметрический [20]) микрогольчатые фазы разлагались до состава, близкого $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ с показателем преломления $n = 1510-1513$.

Результаты рентгеновского анализа
 Режим съемки: $I = 14 \text{ ма}$; $v = 32 \text{ кв}$; излучение Cu ; $\lambda = 1,537 \text{ \AA}$; образец $d = 0,5 \text{ мм}$

Тенардит (камера $d = 66 \text{ мм}$, экспозиция 302 таб)			Глауберит (камера $d = 65 \text{ мм}$, экспозиция 308 таб)			Гипс (камера $d = 66 \text{ мм}$, экспозиция 224 таб)			Б-в $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (камера ВРС, $d = 143,25 \text{ мм}$; экспозиция 308 таб)			Микрогольчатая фаза $\text{CaSO}_4 \cdot 25\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (камера ВРС, $d = 143,25 \text{ мм}$, экспозиция 280 таб)*			Смесь $\text{CaSO}_4 + 25\text{Na}_2\text{SO}_4 + 300\text{H}_2\text{O}$ (камера $d = 66 \text{ мм}$, экспозиция 294 таб)		
№ п.п.	I	d/n	№ п.п.	I	d/n	№ п.п.	I	d/n	№ п.п.	I	d/n	№ п.п.	I	d/n	№ п.п.	I	d/n
1	8	4,68	1	8	3,90	1	8	4,74	1	10дв	4,74	1	10дв	4,74	1	4ш	7,31
2	3	3,84	2	8	3,50	2	8	4,63	2	1'	4,63	2	8	4,64	2	8ш	4,67-4,48
3	3	3,23	3	10	3,14	3	3	3,88	3	2	3,88	3	4	3,86	3	8ш	4,23
4	10	3,06	4	8	2,81	4	4	4,25	4	3	3,81	4	8дв	3,22	4	3ш	3,79
5	10	2,79	5	8	2,66	5	4	3,77	5	3	3,23	5	8	3,18	5	10	3,25
6	10	2,67	6	4	2,45	6	2	3,39	6	3'	3,17	6	8	3,13	6	10	3,05
7	9	2,29	7	10	2,02	7	3	3,21	7	4	3,13	7	8	3,08	7	10ш	2,84-2,73
8	3	2,22	8	4	1,91	8	10	3,07	8	4'	3,08	8	10дв	2,81	8	10ш	2,65
9	4	2,03	9	10	1,79	9	6	2,90	9	5	2,82	9	10дв	2,78	9	5	2,32
10	ош	1,89	10	8	1,63	10	6	2,69	10	5'	2,79	10	8	2,68	10	2	2,20
11	2	1,82	11	10	1,46	11	2	2,49	11	6	2,68	11	8	2,65	11	5	2,07
12	2	1,68	12	6	1,35	12	2	2,23	12	5	2,65	12	8	2,33	12	8	1,87
13	10	1,68	13	3	1,31	13	6	2,10	13	6	2,32	13	4	1,93	13	5	1,79
14	8	1,62	14	6	1,19	14	сл	1,927	14	7'	2,32	14	1	1,86	14	6	1,67
15	7	1,57	15	4	1,16	15	6	1,83	15	8	2,19	15	8	1,84	15	2	1,60
16	7	1,51	16	6	1,14	16	4	1,83	16	3	1,91	16	2	1,80	16	2	1,54
17	8	1,46	17	6	1,05	17	4	1,79	17	4	1,88	17	3р	1,68	17	3	1,49
18	6	1,41	18	6	1,02	18	3	1,64	18	10	1,85	18	6	1,66	18	4р	1,43
19	4	1,34	19	6	0,940	19	2	1,39	19	5	1,81	19	3	1,61	19	2р	1,37
20	8	1,30	20	6	0,903	20	2	1,34	20	13	1,67	20	6	1,54	20	2р	1,29
21	6	1,28	21	2	0,860	21	2р	1,26	21	14	1,66	21	4	1,49	21	2р	1,28
22	4	1,26	22	3	0,839	22	3	1,21	22	15	1,60	22	4	1,42	22	3р	1,14
23	3	1,24	23	1	0,812	23	1	1,17	23	16	1,55	23	6	1,38	23	4	1,06
24	3	1,22	24	3	0,792	24	2	1,16	24	17	1,50	24	4	1,31	24	4р	1,04
25	2	1,17	25	2	0,760	25	2	1,10	25	18	1,42	25	4	1,28	25	3р	1,06
26	8	1,14	26	3	0,739	26	3	1,00	26	19	1,42	26	4	1,27	26	3р	1,04
27	2	1,11	27	2	0,712	27	2	0,989	27	20	1,38	27	4	1,25	27	4р	1,04
28	8	1,09	28	3	0,692	28	3	0,912	28	21	1,31	28	1	1,21	28	4р	1,04
29	8	1,07	29	13	0,680	29	13	0,850	29	22	1,27	29	2	1,13	29	4р	1,04
30	6	1,05	30	6	0,660	30	6	0,830	30	23	1,25	30	3	1,13	30	4р	1,04
31	4	1,03	31	6	0,640	31	6	0,810	31	24	1,21	31	3	1,13	31	4р	1,04
32	6	0,988	32	6	0,620	32	6	0,790	32	24	1,21	32	3	1,13	32	4р	1,04

* Результаты рентгеновского анализа микрогольчатой фазы при съемке в малой камере те же, что и при съемке в камере ВРС $d = 143,25 \text{ мм}$.

свободного кальция. Однако ввиду отсутствия полного набора межплоскостных расстояний, характерных для кальция, заключение о наличии линий свободного кальция нельзя считать окончательным.

На рентгенограммах смеси гипса, сульфата натрия и воды имеются и линии тенардита, и линии гипса.

Отсутствие линий гипса и глауберита на рентгенограммах микрогольчатой фазы состава $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ показывает, что последняя является не твердым раствором на основе тенардита и гипса (или глауберита), а, возможно, химическим соединением, сходным по своей структуре с тенардитом. Возможно также, что это твердый раствор на основе тенардита и двойного сульфата более простого состава, например, «лабильной соли» — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Измерение изотерм свойств растворов системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ производилось в термостатной комнате при 33° , т. е. выше точки перехода мирабилита в тенардит.

Измерялись удельный вес (пикнометром с капилляром), показатель преломления (рефрактометром марки РЛУ) и вязкость (вискозиметром Оствальда) растворов гипса в воде (0,002; 0,004; 0,006; 0,008; 0,010; 0,012; 0,014; 0,016; 0,018 и 0,020%) и в растворах Na_2SO_4 различной концентрации (20, 22, 24, 26, 28 и 30%).

В качестве исходных материалов, как и при синтезе микрогольчатых фаз, использовались осажденный гипс и безводный Na_2SO_4 .

При графическом изображении полученных данных на изотермах вязкости, обладающей высокой чувствительностью и хорошо отражающей изменения в молекулярном строении жидкостей, обозначались максимумы и минимумы (свидетельствующие об образовании определенных химических соединений) тем более резкие, чем выше концентрация Na_2SO_4 .

На изотермах малочувствительных параметров удельного веса и показателя преломления экстремальные точки не прослеживаются.

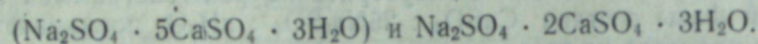
Ввиду отсутствия теории вязкости для растворов более чем одной соли в воде расшифровку экстремальных точек мы сделали предположительно. Максимумы изотерм вязкости соответствуют, видимо, образованию двойной гидратированной соли из сульфатов кальция и натрия. Связывание воды молекулами такой соли приводит не только к укрупнению частиц растворенных солей, но и к уменьшению содержания «несвязанной воды» в растворе, т. е. к концентрированию раствора, что ведет к увеличению вязкости.

Минимумы изотерм вязкости соответствуют, вероятно, образованию безводной двойной соли из сульфатов кальция и натрия. При этом укрупнение частиц не может быть значительным. Зато количество их должно сократиться, по крайней мере, вдвое, что ведет к уменьшению концентрации раствора и, следовательно, к уменьшению вязкости.

Таким образом, и кривые нагревания смеси гипс + сульфат натрия + вода, и характер рентгенограмм микрогольчатых фаз и изотерм вязкости растворов системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ свидетельствуют о том, что при взаимодействии сульфата кальция с сульфатом натрия в присутствии воды возникает ряд индивидуальных двойных соединений из сульфатов кальция и натрия.

Однако полученных данных недостаточно для категорического утверждения, что и такие сложные микрогольчатые фазы, как $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ являются индивидуальными соединениями. Возможно, что это твердые растворы на основе тенардита и индивидуальных двойных соединений более простого состава (например, «лабильной соли» — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Кроме того, согласно литературным данным [12—14], в этой системе существует и другой ряд двойных соединений из сульфатов кальция и натрия, расположенный по другую сторону от глауберита. Соединения этого ряда содержат на каждую молекулу сульфата натрия одну молекулу (или больше) сульфата кальция. Таковы натрий-пентакальций-сульфат



Состав микроигольчатых двойных соединений из сульфатов кальция и натрия в системе $\text{Mg}^{++}\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{--}, \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ в присутствии кальция и продукты распада этих соединений при испарении рассолов

Нами исследовался состав двойных соединений из сульфатов кальция и натрия, формирующихся в растворах системы $\text{Mg}^{++}\text{Na}^+\text{Ca}^{++} \parallel \text{SO}_4^{--}\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ в различных условиях:

а) в условиях встряхивания растворов (точки 1', 2, 3 и 4 на рис. 1) при 25° (на шюттель-аппарате) с избытком гипса и безводного Na_2SO_4 при отсутствии испарения и

б) в условиях изотермического испарения при температурах 25, 30, 35 и 50° в присутствии различных количеств Ca^{++} , введенного в растворы в виде гипса. При 25° в качестве исходных были взяты растворы состава точек 1, 2, 3 и 4 (рис. 1) в присутствии 0,005, 0,02 и 0,05% Ca^{++} ; при 30° — те же растворы в присутствии 0,02% Ca^{++} ; при 35 и 50° — раствор состава точки 1 в присутствии 0,02% Ca^{++} .

Состав выделявшихся микроигольчатых фаз определялся прямым анализом с введением поправки на маточник по NaCl и MgSO_4 . Отбор микроигольчатых фаз на анализ производился сразу после их выпадения (пока микроигольчатые кристаллы не загрязнились кристаллами других солей): отделение от маточника производилось под вакуумом, одновременно отбирался на анализ и маточник.

Путем микроскопических наблюдений с применением кристаллооптического и химического анализа кристаллизующихся солей и термографического анализа сухих остатков, образующихся в результате полного испарения рассолов, изучены порядок кристаллизации солей и продукты распада двойных микроигольчатых соединений из сульфатов кальция и натрия, полученных в тех же условиях, при которых исследовался состав этих соединений.

Данные изучения состава двойных соединений из сульфатов кальция и натрия в зависимости от условий их формирования представлены в табл. 4—7. Эти данные показывают, что состав микроигольчатых фаз, формирующихся в условиях испарения содержащих ион кальция рассолов системы $\text{Mg}^{++}\text{Na}^+ \parallel \text{SO}_4^{--}, \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ зависит:

а) от состава рассолов, из которых формируются микроигольчатые фазы. Данные табл. 5 и 6 показывают, что из рассолов, богатых сульфатом натрия (точка 1) при содержании 0,02% Ca^{++} , формируются микроигольчатые фазы, богатые сульфатом натрия — $\text{CaSO}_4 : 22\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ при 25° и $\text{CaSO}_4 : 18\text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}$ при 30°. Из рассолов, менее богатых сульфатом натрия (точки 2, 3, 4), формируются микроигольчатые фазы, тем более обедненные сульфатом натрия, чем беднее им рассол;

б) от количества кальция в системе. Из рассолов с одинаковым составом в отношении легкорастворимых компонентов (точка 2, табл. 5), но содержащих разные количества кальция выделяются

Таблица 4

Составы твердых фаз и равновесных растворов в условиях встряхивания с избытком гипса и безводного Na_2SO_4 (при отсутствии испарения) при 25°

№ точки и исход. р-ра	№ проб	К-во Ca^{++} в системе, %	Состав равновесных растворов, вес. %						Индексы		
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Σ	Моляр. до-ля на 100 г р-ра	SO ₄ ⁻ Mg ⁺⁺	
1	25	избыток	0,0250	0,4413	8,1121	16,6500	5,2381	25,46	2122	62,15	9,30
	24	.	0,0023	0,8500	9,2877	12,8250	7,3472	30,32	1632	56,31	14,74
	31	.	0,0068	0,8679	9,2341	12,1043	7,8391	30,05	1642	53,27	15,01
	33	.	0,0090	0,9019	9,2703	11,1986	8,6710	30,05	1227	48,81	15,52

Таблица 4 составлена по данным анализов, произведенных через 3 месяца после загрузки сосудов. Через 8 месяцев после загрузки сосудов состав жидкой фазы изменился очень мало, состав же твердых фаз совсем не изменился. Это показывает, что при постоянной температуре и отсутствии испарения микроигольчатые фазы устойчивы. При отборе микроигольчатых фаз, образовавшихся в условиях встряхивания, содержащее колбы взмучивалось, и после оседания частиц Na_2SO_4 жидкая фаза вместе с легкой взвесью игольчатых кристаллов переносилась на фильтр.

Таблица 5

Состав микроигольчатых фаз, полученных в условиях испарения при 25°

№ точки исп. р-ра	№ проб	К-во Ca^{++} в системе, %	Состав растворов к моменту отбора проб, вес. %						Индексы		
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Σ	Моляр. до-ля на 100 г р-ра	SO ₄ ⁻ Mg ⁺⁺	
1	4	0,02	0,0116	0,5448	9,8467	13,0606	7,1793	30,61	1627	57,42	9,45
	6	0,02	0,0095	0,9519	5,2381	12,4336	8,0760	30,85	1579	52,20	16,08
	2	0,05	0,0098	0,9353	8,9001	12,3715	7,3338	29,55	1927	55,46	16,35
	3	0,02	0,0082	1,0148	9,4046	11,1609	9,2344	30,82	1559	47,15	16,93
4	10	0,02	0,0101	1,1057	9,2532	9,7247	10,3297	30,42	1562	41,00	18,42

Таблица 6

Состав микроигольчатых фаз, полученных в условиях испарения при 30°

№ точки исх. раст- вора	К-во Ca ⁺⁺ в системе, %	Состав микроигольчатой фазы	Состав раствора к моменту отбора проб, вес, %						Индексы	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ [*]	Cl ⁻	Сумма	SO ₄ [*]	Mg ⁺⁺
1	0,02	CaSO ₄ : 18Na ₂ SO ₄ : 60H ₂ O	0,0070	0,9672	10,1275	12,4391	9,2701	32,81	49,76	15,30
2	0,02	CaSO ₄ : 15Na ₂ SO ₄ : 11H ₂ O	0,0124	1,1751	9,2052	11,8812	9,0278	31,25	49,30	19,20
3	0,02	CaSO ₄ : 3Na ₂ SO ₄ : 86H ₂ O	0,0061	1,1628	9,8554	10,8083	11,3583	32,19	41,27	17,59
4	0,02	CaSO ₄ : 3Na ₂ SO ₄ : 71H ₂ O	0,0106	1,6489	9,2360	9,5657	12,0094	32,47	37,03	25,22

Таблица 7

Состав микроигольчатых фаз, полученных при испарении рассола состава точки 1 (рис. 1) при 25, 30, 35 и 50°

Температура, °C	К-во Ca ⁺⁺ в системе, %	Состав микроигольчатой фазы	Состав растворов к моменту отбора проб, вес, %						Сумма	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ [*]	Cl ⁻	SO ₄ [*]	Cl ⁻	
25	0,02	CaSO ₄ : 22Na ₂ SO ₄ : xH ₂ O	0,0116	0,5448	9,8467	0,5448	13,060 ⁵	7,1493	31,6130	
30	0,02	CaSO ₄ : 18Na ₂ SO ₄ : 60H ₂ O	0,0070	0,9682	10,1275	0,9682	12,4391	9,2701	32,8119	
35	0,02	CaSO ₄ : 17,5Na ₂ SO ₄ : 3H ₂ O	0,0157	0,5753	10,4088	0,5753	14,1104	7,3363	32,4465	
50	0,02	CaSO ₄ : Na ₂ SO ₄ : 10H ₂ O	0,0241	0,5035	9,9315	0,5035	13,4492	6,8947	30,8030	

микроигольчатые фазы различного состава: богатые сульфатом натрия ($2CaSO_4 : 3Na_2SO_4 : xH_2O$), если содержание Ca^{++} в растворе не превышает 0,02%, и значительно обедненные сульфатом натрия ($2CaSO_4 : 3Na_2SO_4 : xH_2O$), если количество иона кальция в системе высокое (0,05%). В последнем случае гипс, введенный из расчета на это количество Ca^{++} , растворился неполностью, но превратился в микроигольчатые кристаллы;

в) от температуры — повышение температуры испарения рассола ведет к снижению содержания сульфата натрия в микроигольчатых фазах, выпадающих при испарении (см. табл. 7).

При отсутствии испарения, в условиях встряхивания рассолов с избытком гипса и безводного сульфата натрия, также прослежена зависимость состава двойных соединений из сульфатов кальция и натрия от состава рассолов: в поле мирабилита (см. табл. 4, точка 1') образовалось наиболее простое соединение — глауберит; в поле тенардита (точки 2, 3 и 4) — микроигольчатые фазы, богатые сульфатом натрия. Отсутствие же зависимости состава микроигольчатых фаз от положения фигуративной точки в самом поле тенардита могло быть обусловлено внесением в эти точки неодинаковых количеств гипса и безводного Na_2SO_4 .

Для температуры 25° прослежена зависимость состава микроигольчатых фаз от содержания воды в системе: микроигольчатые фазы, наиболее богатые сульфатом натрия (20 и более молей Na_2SO_4 на 1 моль $CaSO_4$), формируются из рассолов, содержащих 1620—1640 молей воды на 100 молей солей, т. е. из рассолов, слабо разбавленных, по сравнению с рассолами, насыщенными по тенардиту* в системе $MgSO_4 + 2NaCl \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ (при 25°). Удаление из этой области рассолов как в сторону разбавления, так и в сторону концентрирования ведет к упрощению состава микроигольчатых фаз за счет снижения в них сульфата натрия.

Последний отщепляется и переходит в раствор (в случае разбавления рассолов) или выпадает в твердую фазу в виде тенардита (в случае концентрирования рассолов).

Так как разложение микроигольчатой фазы при концентрировании рассолов начинается, когда последние по содержанию воды становятся насыщенными в отношении тенардита, то, возможно, что выделяющиеся в процессе разложения микроигольчатых фаз кристаллики тенардита служат центрами кристаллизации для сульфата натрия, выпадающего из рапы. В пользу этого заключения говорит тот факт, что в донном тенардите примеси сульфата кальция всегда значительно меньше, чем содержания этого компонента в микроигольчатой фазе.

Проведенными опытами (для температур 25 и 30°) установлено также следующее:

1) гипс не является равновесной твердой фазой по отношению к какому-либо из взятых нами растворов: в поле мирабилита (рис. 1, точка 1') он превращается в глауберит; в поле тенардита (точки 1, 2, 3 и 4) — в микроигольчатые двойные соединения из сульфатов кальция и натрия более или менее сложного состава;

2) процесс превращения микроигольчатых кристаллов в тенардит обратим: при введении в растворы поля тенардита (рис. 1 точки 1, 2, 3 и 4) твердого гипса последний превращается в микроигольчатые соединения из сульфатов кальция и натрия, и обратно — при прибавлении рас-

* По литературным данным [15], насыщенные по тенардиту рассолы в той области, где нами были получены микроигольчатые фазы, содержат 1520—1583 молей воды на 100 молей солей.

творца гипса к рассолу, содержащему в осадке тенардит, последний превращается в микроигольчатые соединения из сульфатов кальция и натрия.

Изучение порядка кристаллизации солей при испарении показало, что при 25° из растворов состава точки 1 (рис. 1) при любом содержании иона кальция первой выпадающей фазой является мирабилит, который при дальнейшем испарении постепенно переходит в тенардит. К началу обезвоживания донного мирабилита на поверхности растворов появляются микроигольчатые кристаллы в виде отдельных снопиков в пробах, содержащих 0,005% Ca^{++} , и в значительном по объему количестве в пробах, содержащих 0,02% Ca^{++} . В пробах, содержащих 0,05% Ca^{++} , микроигольчатая фаза появляется в виде объемистого рыхлого осадка на дне сосуда.

Затем (еще до окончания обезвоживания донного мирабилита) начинает кристаллизоваться тенардит.

Одновременно с кристаллизацией тенардита идет обезвоживание остатков донного мирабилита и разложение микроигольчатой фазы. К концу кристаллизации тенардита микроигольчатые кристаллы почти полностью исчезают и начинается кристаллизация поваренной соли — сначала совместно с тенардитом, а затем без него, но с небольшой примесью глауберита, который среди кристаллов NaCl обнаруживается лишь с помощью поляризационного микроскопа.

Из растворов состава точек 2, 3 и 4 при температуре 25° и точек 1, 2, 3 и 4 при температурах 30, 35 и 50° мирабилит не выпадает. В остальном кристаллизация солей проходит в таком же порядке, как и в точке 1 при 25°. Но при температурах 30, 35 и 50° период кристаллизации каждой соли сокращается, и тем значительней, чем выше температура испарения.

При 35° в период кристаллизации NaCl в донном осадке, кроме глауберита, были обнаружены осколки кристаллов с показателями преломления 1,460; 1,435. Такими показателями преломления обладает минерал ваттевилит — $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [16].

Микроскопическим и кристаллооптическим исследованием твердых фаз, выпадавших в процессе испарения рассолов при всех температурах, не зарегистрировано ни одного случая обнаружения хотя бы единичных кристаллов гипса. Это показывает, что гипс не выделяется в твердую фазу ни из растворов, ни при разложении микроигольчатых фаз.

Из растворов ион кальция выпадает в виде двойных соединений из сульфатов кальция и натрия. При этом, как показали и микроскопические и термографические исследования, основное количество иона кальция выпадает в период от начала кристаллизации микроигольчатых фаз до начала кристаллизации NaCl . В этот же период идет и разложение микроигольчатых фаз на тенардит и двойную соль из сульфатов кальция и натрия более простого состава вплоть до глауберита.

Выводы

1. Изучены микроигольчатые фазы, являющиеся промежуточными при формировании природного тенардита.
2. Установлено, что указанные фазы, как правило, гидратированы и обладают переменным, зависящим от условий формирования составом (от $\text{CaSO}_4 : \text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ до $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$); весьма неустойчивы при испарении рассолов, из которых они формируются, но устойчивы при отсутствии испарения в изотермических условиях.
3. Изучение природы микроигольчатых фаз оказалось весьма слож-

ным из-за неустойчивости последних. Однако характер термограмм смеси гипса, сульфата натрия и воды, а также характер изотерм вязкости растворов системы $\text{CaSO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ позволяют сделать заключение, что по крайней мере некоторые из этих фаз являются индивидуальными химическими соединениями. Наиболее сложные из полученных нами микроигольчатых фаз такие, как $\text{CaSO}_4 : 25\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaSO}_4 : 15\text{Na}_2\text{SO}_4 : x\text{H}_2\text{O}$, являются, по-видимому, твердыми растворами на основе тенардита и двойного сульфата более простого состава (например «лабильной соли» $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

4. Наиболее богатые сульфатом натрия микроигольчатые фазы (от 20 и выше молекул Na_2SO_4 на 1 молекулу CaSO_4) формируются из рассолов, близких по составу к рассолам граничной линии тенардит — мирабилит в системе $\text{MgSO}_4 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$, если к последним обеспечен подток воды, содержащей ион кальция.

При испарении таких рассолов микроигольчатые фазы разлагаются с выделением тенардита и двойной соли из сульфатов кальция и натрия более простого состава, вплоть до глауберита. Выделяющиеся при этом кристаллы тенардита служат центрами кристаллизации для сульфата натрия, выпадающего из рапы. Из рассолов, приблизившихся (в ходе испарения и кристаллизации солей) к полю галита, формируются наиболее простые соединения из сульфатов кальция и натрия, в том числе глауберит*.

Гипс является неравновесной твердой фазой по отношению к рассолам состава поля тенардита и поэтому не выделяется в твердую фазу ни из рассолов, ни при разложении микроигольчатых фаз.

5. Таким образом, роль двойных соединений из сульфатов кальция и натрия в формировании природного тенардита определяется следующим образом: из рассолов, близких по составу к граничной линии тенардит — мирабилит в системе $\text{MgSO}_4 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ (25°), при подтоке к ним содержащих Ca^{++} вод, кристаллизуются богатые сульфатом натрия микроигольчатые фазы. При испарении таких рассолов микроигольчатые фазы разлагаются с выделением тенардита и двойной соли из сульфатов кальция и натрия более простого состава, вплоть до глауберита. Выделяющиеся при этом кристаллы тенардита служат центрами кристаллизации для сульфата натрия, выпадающего из рапы.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
9/IV 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Висягин, А. Г. Василевская, Опыты по получению тенардита на базе рапы оз. Б. Ажбулат. Тр. ХМИ ЗСФАН, вып. 12, 1958.
2. Ю. П. Никольская, А. Г. Василевская, К вопросу получения тенардита на базе рапы оз. Кучук. Тр. ХМИ ЗСФАН, вып. 12, 1958.
3. Н. И. Висягин, А. Г. Василевская, Новые данные о формировании тенардита. ДАН СССР, LXXXVI, № 3, 1952.
4. В. П. Ильинский, Г. С. Клебанов, Теоретические схемы использования богатых сульфатами морских и озерных рассолов и их промышленное испытание. Изд. АН СССР, Тр. Соляной лаборатории, вып. 4, 1934.
5. М. Г. Вальяшко, Г. К. Пельш, Метаморфизация насыщенных сульфатных растворов бикарбонатом кальция. Тр. ВНИИГ, вып. XXIII, 1952.

* Возможность формирования глауберита как первичного продукта впервые установлена В. Н. Щербиной [17]. До него считалось, что глауберит может формироваться только в качестве вторичного продукта. Позже данные В. Н. Щербины были подтверждены И. Н. Лепешковым, Н. В. Бодаевой [18] и В. А. Вахрамеевой [19].

6. Я. Г. Вант-Гофф, Океанические соляные отложения. Русский перевод ОНТИ, Л., 1936.
7. F. K. Cameron, J. M. Bell, W. O. Robinson, The Solubility of Certain Salts Present in Alkali Soils. *J. Phys. Chem.*, № 11, 1907.
8. J. M. Bell, The Composition of Solid Phases in Four-Component Systems. *J. Phys. Chem.*, № 11, 1907.
9. D'Ansa, Schreiner, Untersuchungen über Calcium-Alkalisulphate. *Z. anorg. Chem.*, № 62, 1909.
10. A. E. Hill and J. H. Wills, Tertiary System Calcium Sulphate, Sodium Sulphate and Water. *J. Amer. Chem. Soc.*, № 7, 1938.
11. М. Кыдынов, И. Г. Дружинин, Растворимость системы из сульфатов кальция и натрия при 0, 20, 40, 60 и 80°С. Изв. АН Киргиз. ССР, вып. IV, Фрунзе, 1957.
12. Я. Д. Фридман, А. А. Зиновьев, Переработка глауберитсодержащих соляных пород. Тр. ХИН. Киргиз. ФАН СССР, вып. 4, 1951.
13. Я. Д. Фридман, А. А. Зиновьев, Р. З. Богдановская, О двойных сульфатах кальция и натрия. Тр. ХИН. Киргиз. ФАН СССР, вып. 5, 1953.
14. Я. Д. Фридман, А. А. Зиновьев, М. Д. Лопина, Двойные сульфаты натрия и кальция и пути переработки их природных отложений. Изд. АН Киргиз. ССР, Фрунзе, 1956.
15. Справочник по растворимости солевых систем под редакцией А. Б. Здановского, т. II, Госхимиздат, 1954.
16. Спутник геохимика и минералога. Изд. АН СССР, М.—Л., 1937.
17. В. Н. Щербина, Глауберит, глауберитовые породы и их кора выветривания. Изд. Киргиз. АН ССР. Фрунзе, 1952.
18. И. Н. Лепешков, Н. В. Бодалева, О порядке кристаллизации солей при испарении воды Аральского моря. ДАН СССР. Т. 83, № 4, 1952.
19. В. А. Вахрамеева, О генезисе глауберита соляных отложений залива Кара-Богаз-Гол. ДАН СССР, новая серия. Т. XIX, № 2, 1954.
20. Л. Г. Берг, Скоростной количественный фазовый анализ. Изд. АН СССР, М., 1952.

С. Н. СЕЛЯКОВ, И. Г. ЗАЛЬЦМАН*

ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ПОГРЕБЕННЫЕ ПОЧВЫ ПРИОБСКОГО ПЛАТО

Приобское (Предалтайское) плато расположено у подножья Алтая на юго-восточной окраине Кулунды. Абсолютные высоты его достигают 200—310 м. Наиболее повышена юго-западная часть плато. Приобское плато пересечено многочисленными древними речными долинами (лощинами стока) с-в.—ю-з. направления — Барнаульской, Космалинской и др. Оно приурочено к приподнятому ю-в. крылу Обь-Иртышской синеклизы. Начало образования плато относится к средне-верхнеолигоцен-ному времени, к континентальному этапу третичного осадконакопления в Западно-Сибирской низменности. Плато было сформировано в основном в средне-верхнечетвертичное время.

Четвертичные отложения Приобского плато имеют следующую характеристику (снизу вверх):

1. Нерасчлененные отложения нижнего и среднего отделов (Q_{1-2}). Озерные и делювиальные бурые, красно-бурые карбонатные с фауной моллюсков, плотные, иногда слоистые глины и суглинки. На границе Приобского плато и Кулундинской аллювиальной равнины они замещаются песками кулундинской свиты.

2. Средний отдел (Q_2): а) красnodубровская свита. Лессовидные карбонатные желто-бурые, палевые суглинки, реже желто-серые мелкозернистые пески, желто-бурые, желто-серые песчаные глины (мощность 150—170 м); б) космалинская свита. Мелкозернистые, полимиктовые, серые и желто-серые пески древних речных долин (мощность 15—45 м).

3. Верхний отдел (Q_3): а) покровные лессовидные суглинки и супеси (мощность 5—15 м); б) пески, супеси и суглинки первой (мощность 6—10 м) и второй (мощность 15—20 м) надпойменных террас.

4. Современный отдел (Q_4): песчано-глинистые пойменные и озерно-болотные отложения (мощность 5—6 м).

Четвертичные отложения включают в себя погребенные почвы. П. А. Православлев [1] наблюдал 5—6 погребенных почв в четвертичных породах Приобского плато в окрестностях с. Телецкое. Между прочим, лессовидные четвертичные суглинки Кузнецкой котловины имеют также несколько погребенных почв [2]. Украинские четвертичные лессы подразделены погребенными почвами на шесть-восемь ярусов. В четвертичных суглинках и глинах Присыртовой равнины (Заволжье) установлен ряд погребенных черноземов. Европейские и Североамериканские четвертичные лессовые отложения имеют одну или несколько погребенных почв [3]. Четвертичные почвы отнесены исследователями [1—3] к черноземам и, частично, подзолистым почвам. Погребенные четвертичные почвы Приобского плато в современной литературе четко не охарактеризованы. Поэтому мы даем описание четвертичных погребенных почв по кернам буровых скважин, пробуренных Западно-Сибирским геологическим управле-

* И. Г. Зальцману принадлежит определение возраста и общая характеристика пород.

нием в 1949—1952 гг., и некоторых третичных погребенных почв для сравнения их с четвертичными (рис. 1). Ниже описаны погребенные почвы скважин № 17, 19, 23, 39, 12, 11, 25, 16, 13.

Скважина № 17. Юго-западная окраина Приобского плато. Северный склон Космалино-Верхнекулундинского водораздельного массива (абс. в. 200 м); с. Ярославцев лог.

Скважина вскрыла покровные лессовидные суглинки (0—18 м), среднечетвертичные (краснодубровская свита) ленточные шоколадные и желто-бурые глины, а также однородные желто-бурые глины (18—56 м), нижне-среднечетвертичные коричнево-бурые, желто-бурые, красно-бурые глины и суглинки (56—96 м). Оглеенность пород проявляется слабо на глубине 71—88,8 м и наиболее четко с глубины 88,8 м. Погребенные почвы установлены в среднечетвертичных отложениях (37,1; 41,6; 54,4 м) и на переходе нижнечетвертичных пород к неогеновым (92 м).

Даем их описание:

- Почва № 1 (Q_2). Черноземно-луговая почва.
Гор. А. 37,1—38,0 м. Темно-серая глина.
Гор. А. 38,0—39,0 м. То же, с наличием признаков тонкой слоистости.
Гор. АВ. 39,0—40,4 м. Пестрая глина (темно-серые карманы на общем желто-буром фоне).
Гор. выщелачивания 40,4—40,9 м. Желто-бурая с красноватым оттенком однородная без новообразований глина.
Ниже (40,9—41,6 м) располагается пестрая глина (желто-бурая и темно-серая окраска).
- Почва № 2 (Q_2). Черноземно-луговая почва.
Гор. А. 41,6—42,1 м. Темно-серый суглинок.
Гор. А. 42,1—43,4 м. Темно-серая с красноватым оттенком глина с редкими прожилками карбонатов кальция.
Гор. АВ. 43,4—45,0 м. Пестрая (темно-серая, пятна и потеки на желто-буром фоне) с красноватым оттенком глина.
Гор. выщелачивания. 45,0—53,8 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина с карманами гумуса.
Карбонатный гор. 53,8—54,4 м. Желто-бурая глина с большим количеством конкреции карбонатов кальция.
- Почва № 3 (Q_2-Q_3). Луговая или черноземно-луговая почва.
Гор. А. 54,4—56,4 м. Коричневая с желто-бурым оттенком глина с большим количеством прожилков $CaCO_3$.
Гор. АВС. 56,4—60,0 м. Желто-бурая с красновато-коричневым оттенком глина с прожилками и конкрециями $CaCO_3$.
Гор. В. 60,0—60,7 м. Желто-бурая глина без новообразований. Ниже лежит желто-бурая глина с местным появлением коричневого тона (на глубине 60,7—61,2 м; 64—71 м) и пестрая (голубые, палевые, желто-бурые пятна) глина с пятнами $CaCO_3$ (71,0—79,0 м). Под ними располагаются палевые опесчаненные слоистые

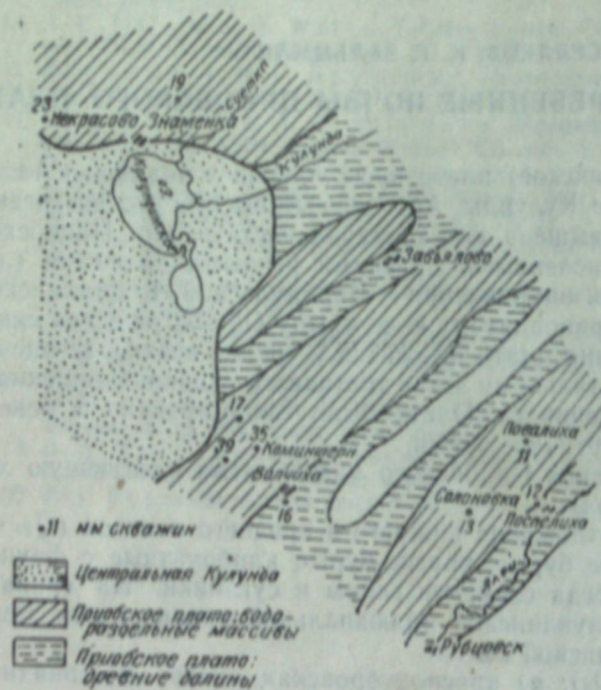


Рис. 1. Схема расположения скважин на местности.

глины (79,0—88,8 м), переходящие в сизые плотные глины (88,8—92,0 м).

Почва № 4 (N). Луговая или черноземно-луговая почва.
Гор. А. 92,0—93,0 м. Серые с коричневым оттенком глины.
Гор. АВ. 93,0—102,0 м. Палевые бледно-пестрые глины.
Гор. С. 102,0—108,5 м. То же, с прожилками и конкрециями $CaCO_3$.
Ниже (108,5—109,5 м) лежат сизые глины с ржавыми пятнами и крупными конкрециями $CaCO_3$.

Погребенные почвы имеют четко выраженные темно-серые, коричневые гумусовые горизонты (0,5—2 м), ясно выраженные переходные горизонты (гор. АВ) с гумусовыми потеками и карманами (почвы № 1 и 2), четко оформленные горизонты выщелачивания (почвы № 1 и 2) и карбонатные горизонты (почва № 2). Оригинально-вторичное окисление гор. А, гор. АВ почвы № 3 и нижней части гор. А почвы 2.

Скважина № 19. Северо-западная окраина Приобского плато (абс. в. 148 м). Водораздельный массив между р. Бурла и оз. Кулундинское. Село Пановка.

В скважине вскрыты верхнечетвертичные покровные супеси и суглинки (0—6 м), среднечетвертичные лессовидные суглинки глины (6—38 м), глины и пески нижнего и среднего нерасчлененных отделов четвертичной системы (38—58 м). Слабое оглеение пород проявляется на глубине 30—45 м, а глубже породы сильно оглеены. В среднечетвертичных породах встречены ленточные шоколадные и желто-бурые глины (на глубине 13—13,5 м). Погребенные почвы установлены в среднечетвертичных (на глубине 17,2; 21,5; 24; 25,3 м), нижне-среднечетвертичных (на глубине 43,9, 46; 47 м) и неогеновых (58,4 м) отложениях.

Приводим их описание:

- Почва № 1 (Q_2). Степная почва (чернозем).
Гор. А. 17,2—18,2 м. Коричневая плотная глина.
Гор. АВ. 18,2—19,5 м. Коричневатость слабеет, и появляются клинья желто-бурого цвета.
Гор. АВ. 19,5—21,5 м. Желто-бурая глина с концами гумусовых затеков, карманов.
- Почва № 2 (Q_2). Степная почва (чернозем).
Гор. А. 21,5—22,5 м. Коричневатая плотная глина.
Гор. АВ. 22,5—22,9 м. Пестрая — желто-бурые пятна на коричневом фоне — глина.
Гор. АВ. 22,9—23,3 м. Желто-бурая глина с коричневатыми пятнами.
Порода 23,3—24,0 м. Желто-бурая глина.
Почва № 3 (Q_2). Степная почва (чернозем).
Гор. А. 24,0—24,5 м. Коричневая глина.
Гор. В. 24,5—25,3 м. Желто-бурый с красноватым оттенком тяжелый суглинок.
Почва № 4 (Q_2). Степная почва (лугово-черноземная).
Гор. А. 25,3—26,3 м. Коричневая глина.
Гор. АВ. 26,3—27 м. Коричневая глина с желто-бурыми пятнами.
Гор. АВ. 27,0—27,5 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина с коричневыми языками.
Гор. В. 27,5—28,7 м. Желто-бурая с красноватым оттенком рыхловатая глина.
Гор. В. 28,7—31,6 м. То же, но более плотная.
Ниже (31,6—32,0 м) расположен желто-бурый суглинок с большими сизыми пятнами, в середине которых находятся конкреции $CaCO_3$.
Породы: палевые, пестрые (голубоватые, ржавые) глины (32—38,0 м); глины с пресноводными ракушками (38—40 м) и пестрые глины (40,0—43,9 м).
- Почва № 5 (Q_2-1). Луговая или лугово-болотная почва.
Гор. А. 43,9—45,5 м. Темноватая супесь (легкий суглинок).
Гор. оглеения 45,5—46,0 м. Голубовато-сизая глина.
- Почва № 6 (Q_2-1). Луговая почва.
Гор. А. 46,0—46,7 м. Темноватый легкий суглинок (супесь).
Гор. АВ. 46,7—47,0 м. Желто-бурая супесь.
- Почва № 7 (Q_2-1). Луговая почва.
Гор. А. 47,0—47,8 м. Темноватая супесь.
Гор. АВ. 47,8—55,8 м. Желтые пески (супесь).
55,8—58,4 м. Пестрые суглинки с прожилками $CaCO_3$.
- Почва № 8 (N). Лугово-болотная или болотная почва.
Гор. А. 58,4—59,3 м. Темновато-сизая глина.

Гор. С. 59,3—61,2 м. Сизоватая глина с большим количеством конкреций CaCO_3 .
Гор. оглеения 61,2—63,3 м. Пестрая (голубые, ржавые пятна) опесчаненная глина, переходящая в песок.
На глубине 63,3—65,0 м зеленая глина.

Погребенные почвы № 1—4 имеют общие черты. Гумусовый коричневый горизонт их имеет значительную мощность (0,5—1,0 м). Гор. АВ характерен наличием гумусовых затеков и карманов или четким понижением гумусовой окраски. Карбонатный горизонт выражен только в почве № 4; в нем есть конкреции CaCO_3 и сизые пятна. Почвы № 1—4 сконцентрированы на глубине 17—38 м и располагаются непосредственно друг над другом.

Почвы № 5—8 лежат на глубине 44—63 м, выше сильно оглеенных глин. Они имеют сравнительно легкий механический состав. Гор. А окрашен в темноватые цвета. Гор АВ не выражен. Четко оформлен горизонт оглеения в почвах № 5 и 8. Карбонатный горизонт имеется в почвах № 7 и 8.

Скважина № 23. Северо-западная окраина Приобского плато. Западный конец водораздельного грибовидного массива. Северо-западнее оз. Кулундинское и западнее скважины № 19. Заложена у с. Некрасовка (абс. в. 132 м).

В скважине вскрыты покровные желто-бурые суглинки (0—6 м), среднечетвертичные бурые, желто-бурые, коричнево-бурые суглинки (6—17 м), нерасчлененные ниже-среднечетвертичные зеленовато-серые, желто-бурые мелкозернистые пески (17—34 м). Оглеение пород проявляется на глубине 34 м и более. В среднечетвертичных отложениях встречаются ленточные шоколадные желто-бурые глины. Погребенные почвы установлены в среднечетвертичных отложениях (15,2 м). Для сравнения приводим описание погребенных почв неогенового возраста (32,2 и 53,4 м).

Почва № 1 (Q_2). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 15,2—15,7 м. Коричневый с темным оттенком суглинок.

Гор. АВ. 15,7—16,7 м. Желто-бурый с красноватым оттенком суглинок с гумусовыми потеками и карманами.

Гор. С. 16,7—17,7 м. Желто-бурый суглинок с пятнами карбоната кальция.

Порода 17,7—33,2 м. Желто-бурый песок (супесь).

Ниже (33,2—38,5 м) лежит сизо-голубая глина с конкрециями CaCO_3 .

Почва № 2. (Q_1-N). Болотная почва.

Гор. А. 38,5—41,8 м. Серый и коричневый песок (супесь).

Горизонт оглеения 41,8—53,4 м. Зеленовато-голубоватая с ржавыми потеками глина.

Почва № 3 (N). Гор. А. 53,4—58,0 м. Серый с голубовато-зеленым оттенком песок.

Гор. оглеения 58,0—58,5 м. Сизая глина.

Подстилающая порода — слоистая супесь, переходящая в песок.

Скважина № 39. Юго-западная окраина Приобского плато. Западный конец водораздельного массива, между Космалинской и Верхне-Кулундинской лощинами стока. У с. Подберезки (абс. в. 200 м) западнее скважины № 17.

В скважине № 39 вскрыты верхнечетвертичные покровные палево-желтые суглинки (0—3 м), среднечетвертичные желто-бурые и коричневые суглинки и глины (3—72 м), нерасчлененные средне-нижнечетвертичные глины и суглинки, серые и зеленовато-серые пески и супеси (72—98 м). Признаки оглеения установлены на глубине 83,5—88,9 м и 93,6—98,5 м. Погребенные почвы встречаются среди среднечетвертичных (3,5; 9; 13; 28; 45,5 и 63 м), нижнечетвертичных (75 м) пород. Приводим их описание.

Почва № 1 (Q_3-Q_2). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 3,5—3,84 м. Коричневая глина.

Гор. В. 3,84—5,0 м. Желто-бурая с красноватым оттенком плотная глина.

Гор. В. 5,0—5,7 м. Светло-желто-бурая глина. Ниже располагаются ленточные шоко-

ладные и желто-бурые глины (5,7—6,2 м), а также однородный желто-бурый суглинок с прожилками CaCO_3 (6,2—9 м).

Почва № 2 (Q_2). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 9,0—9,5 м. Коричневатый суглинок.

Гор. АВ. 9,5—10,0 м. Коричневатый суглинок с прожилками карбонатов.

Гор. ВС. 10,0—12,0 м. Желто-бурый суглинок с языками коричневого цвета и прожилками CaCO_3 .

Гор. СК. 12,0—13,0 м. Желто-бурый суглинок с прожилками карбонатов.

Почва № 3 (Q_2). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 13,0—13,5 м. Коричневый суглинок.

Гор. АВ. 13,5—15,4 м. Коричневый суглинок с большим количеством CaCO_3 .

Гор. ВС. 15,4—25,0 м. Желто-бурый суглинок с прожилками карбонатов.

Гипсовый гор. 25,0—26,0 м. Желто-бурый суглинок с остатками новообразований гипса. Ниже располагаются желто-бурая с коричневым оттенком глина (26—27 м), переходящая в слоистые отложения (27,0—28,0 м).

Почва № 4 (Q_2). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 28,0—30,5 м. Коричневая глина с прожилками CaCO_3 .

Гор. АВ. 30,5—33,0 м. Коричневая глина.

Гор. В. 33,0—35,0 м. Желто-бурый суглинок с коричневыми языками.

Гор. В. 35,0—43,5 м. Желто-бурый с красным оттенком суглинок.

Гор. С. 43,5—45,5 м. Желто-бурый суглинок с прожилками карбонатов.

Почва № 5 (Q_2). Степная почва.

Гор. А. 45,5—46,5 м. Темноватый суглинок с прожилками CaCO_3 с желто-бурыми полосками.

Гор. АВ. 46,5—50,0 м. Желто-бурый суглинок с коричневым оттенком, с пятнами CaCO_3 .

Порода 50,0—53,0 м. То же, без карбонатных новообразований.

Почва № 6 (Q_2). Степная глина (чернозем).

Гор. А. 53,0—53,8 м. Коричневая глина.

Гор. АВ. 53,8—55,0 м. Желто-буро-коричневая глина с прожилками карбонатов.

Гор. ВС. 55,0—59,0 м. Желто-бурая глина с пятнами карбонатов. Ниже (59,0—63,0 м) лежат желто-бурые карбонатные глины.

Почва № 7 (Q_2). Луговая или лугово-черноземная почва.

Гор. А. 63,0—65,0 м. Коричневая глина с точками CaCO_3 .

Гор. С. 65,0—75,0 м. Пестрая палево-карбонатная глина.

Почва № 8 (Q_1). Луговая почва.

Гор. А. 75,0—80,0 м. Серо-коричневый опесчаненный суглинок.

Гор. АВ. 80,0—83,0 м. Серая супесь. Ниже (83,5—88,5 м) лежит сизоватый опесчаненный суглинок.

Погребенные почвы имеют гумусовый горизонт коричневого, темноватого (почвы № 1—5) или серо-коричневого цвета (почва № 8). Мощность его растет в направлении от почвы № 1 к почве № 8.

Гор. АВ выражен четко: он имеет гумусовые языки или коричневый желто-буро-коричневый или серый (почва № 8) цвет. Карбонатный горизонт с прожилками или пятнами карбоната установлен у почв № 2—6. Гипсовый горизонт с разрушающимися новообразованиями гипса есть только у почвы № 3. Почвы № 4, 5 и 7, окарибонаты по всему профилю.

Скважина № 12. Южная окраина Приобского плато. Древняя долина р. Алей, ст. Пospelиха.

В скважине вскрыты верхне-среднечетвертичные желто-бурые лессовидные суглинки (0—24 м), нижнечетвертичные коричнево-серые глины и серые супеси (24—51 м).

Среди нижнечетвертичных отложений имеется слой галечника (28—36,9 м). Оглеение проявляется на глубине 51—117 м. Прожилки и конкреции CaCO_3 встречаются спорадически. Погребенные почвы установлены среди нижнечетвертичных (37 и 45 м) неогеновых (51, 57, 87 м) отложений.

Почва № 1 (Q_1). Лугово-черноземная или луговая почва

Гор. А. 37,3—38,0 м. Темновато-серая глина.

Гор. АВ. 38,0—40,8 м. Желто-бурый суглинок с затеками гумуса и редкими карбонатными пятнами в середине конкреции.

Гор. С. 40,8—46,0 м. Желто-бурая глина с прожилками CaCO_3 . Следует отметить, что выше почвы № 1 лежат желто-бурые суглинки (36,9—37,3 м) и галечники (28—36,9 м).

Почва № 2 (Q₁). Лугово-черноземная или луговая почва.

Гор. А. 45,0—48,0 м. Темновато-серая глина.

Гор. А. 48,0—48,5 м. Темная глина с большим количеством карбонатных прожилков.

Гор. АВ 48,5—49,0 м. Серая глина с темными гумусовыми затеками.

Гор. С. 49,0—51,0 м. Желто-бурая и палевая глина с крупными пятнами и конкрециями CaCO₃.

Почва № 3 (N). Лугово-болотная почва.

Гор. А. 51,0—53,7 м. Темно-серая с коричневым оттенком глина.

Горизонт оглеения 53,7—57,0 м. Сизая и голубая глина. 70,7—71,5 м. Голубоватая с ржавыми палевыми пятнами глина.

Сквжина № 11. Южная часть Приобского плато. Барнаульско-Алейский водораздельный массив, с. Лобаниха.

Скважина вскрыла верхнечетвертичные покровные супеси и пески (0—16 м), среднечетвертичные серые, темно-серые пылеватые суглинки и глины (16—105 м), нерасчлененные средне-нижнечетвертичные желто-коричневые, зеленовато-серые глины (105—135 м). Оглеение проявляется на глубине 105—161 м. Одной из характерных черт отложений скважины № 11 является наличие серых (11—50; 51—58; 80—89 м) и темноватых (58—80 м) глин с локальным распространением остатков корневых систем растительности без ясного оформления почв. Наиболее четко выраженные погребенные почвы установлены в среднечетвертичных породах (89 и 97 м).

Приводим их описание:

Почва № 1 (Q₂). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 89,0—89,1 м. Темная глина.

Гор. АВС. 89,1—8 м. Серая глина с большим количеством прожилков CaCO₃.

Гор. ВС. 89,8—94,0 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина.

Порода 94,0—97,0 м. Серая глина.

Почва № 2 (Q₂). Степная почва (чернозем или лугово-черноземная почва).

Гор. А. 97,0—97,5 м. Темная глина. Гор. А. 89,0—89,1 м. Темная глина.

Гор. АВ. 97,5—99,0 м. Серая глина с темными пятнами сверху.

Гор. В. 99,0—105,5 м. Желто-бурая с красным оттенком глина.

Подстилающие породы 105,0—105,5 м. Желто-бурая с красным оттенком глина. 105,5—106,0 м. Палевые пестрые и голубые (106—107 м) глины.

Для этих почв характерна маломощность и темная окраска гумусовых горизонтов, серый тон гор. АВ, наличие горизонтов выщелачивания (почва № 1) и подстилающих оглеенных пород (почва № 2). Образование прожилков CaCO₃ в гор. АВ, по-видимому, имеет вторичный характер.

Скважина № 25. Наиболее высокая юго-западная часть Приобского плато. Космалинско-Верхне-Кулундинский водораздельный массив. Пос. Коминтерн (абс. в. 307 м).

В скважине вскрыты верхнечетвертичные покровные желто-бурые пылеватые суглинки (0—19 м), среднечетвертичные бурые, желто-бурые, серые, коричнево-бурые пылеватые глины (19—163 м), нижнечетвертичные красновато-коричневые, коричневые глины (163—172 м). Оглеение проявляется в слабой форме в верхнечетвертичных отложениях. Своеобразной чертой отложений скважины № 25 служит смена среднечетвертичных коричневых (36—60; 65—73; 74—79; 117—125; 131—139 м) и желто-бурых глин. Погребенные почвы установлены в пределах верхнечетвертичных (15 м), среднечетвертичных (28,5; 145; 147; 156) и нижнечетвертичных (170 м) отложений.

Почва № 1 (Q₃). Лугово-болотная почва.

Гор. А. 15,0—18,0 м. Серая с палево-ржавыми пятнами, остатками корневой системы травянистой растительности, пылевидная глина.

Гор. оглеения 18,0—23,0 м. Голубоватая пылеватая глина.

Подстилающая порода: желто-бурый суглинок.

Почва № 2 (Q₂). Лугово-болотная почва.

Гор. А. 28,5—29,0 м. Темновато-серая с палевыми пятнами глина, с остатками корневых систем (вертикально направл. корни).

Гор. оглеения 29,0—29,5 м. Сизовато-сероватая пыlistая глина. Порода 29,5—36,0 м. Пылеватые однородные глины (суглинки). Ниже лежат сероватые (36,0—60 м), буро-коричневые (65,0—73,0; 74,0—79,0; 139,0—145 м) глины, перемежающиеся с желто-бурыми глинами и суглинками. Среди них (97—98; 117,0—118,0 м) располагаются желто-бурые с коричневым оттенком прослойки, которые, может быть, следует отнести к неясно выраженным гумусовым горизонтам погребенных почв.

Почва № 3 (Q₂). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 145,0—146,0 м. Коричневая глина с прожилками CaCO₃.

Гор. АВ. 146,0—147,0 м. Светло-коричневая глина с прожилками CaCO₃, переходящая в желто-бурую глину.

Почва № 4 (Q₂). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 147,0—148,0 м. Коричневая глина с прожилками CaCO₃.

Гор. АВ. 148,0—149,0 м. Красновато-коричневато-палевая глина без CaCO₃.

Гор. С. 149,0—156,0 м. То же, с большим количеством прожилков CaCO₃.

Почва № 5 (Q₂). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 156,0—156,5 м. Темно-коричневая глина.

Гор. АВ. 156,5—157,0 м. Уменьшается темно-коричневая окраска и усиливается серая желто-бурая окраска.

Гор. АВ. 157,0—157,5 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина с коричневыми затеками.

Гор. выщелачивания 157,0—160,7 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина без CaCO₃.

Порода 160 м, 7—170,0 м. Желто-бурая глина.

Почва № 6 (Q₁). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 170,8—171,2 м. Коричневато-темно-бурая глина.

Гор. АВС. 171,2—171,8 м. Желто-буро-коричневая глина с прожилками CaCO₃.

Скважина № 16. Юго-западная окраина Приобского плато. Космалинская древняя лощина стока, с. Волчиха (абс. в. 200 м).

В скважине вскрыты среднечетвертичные желто-серые пески (0—35 м), ниже-среднечетвертичные красно-бурые глины и пески (35—97 м). Оглеение проявляется на глубине 69 м и ярко оформлено глубже 133 м. Прожилки CaCO₃ зафиксированы на глубине 49—63 м, а конкреции CaCO₃ — глубже 67 м. Погребенные почвы установлены в пределах нижнечетвертичных (47 : 53; 55,5 : 62; 67; 69 м).

Даем их описание:

Почва № 1 (Q₁). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 47,0—47,4 м. Коричневая глина.

Гор. ВС. 49,4—53,0 м. Желто-бурая с красным оттенком и большим количеством прожилков CaCO₃ глина.

Почва № 2 (Q₁). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 53,0—55,0 м. Коричневая глина с большим количеством прожилков CaCO₃.

Гор. В. 55,0—55,5 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина без карбонатных новообразований.

Почва № 3 (Q₁). Степная почва (чернозем).

Гор. А. 55,5—58,0 м. Коричневато-бурая глина с большим количеством прожилков CaCO₃.

Гор. В. 58,0—62,0 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина с большим количеством прожилков CaCO₃.

Почва № 4 (Q₁). Лугово-черноземная или луговая почва.

Гор. А. 62,0—63,0 м. Коричнево-бурая глина с большим количеством прожилков CaCO₃.

Гор. ВС. 63,0—67,0 м. Желто-бурая с красным оттенком глина с пятнами и конкрециями CaCO₃.

Почва № 5 (Q₁). Лугово-болотная почва.

Гор. А. 69,0—71,0 м. Коричнево-серая с сизоватым оттенком глина.

Горизонт оглеения 71,0—103,0 м. Палевая пестрая глина с конкрециями CaCO₃.

Почвы № 1—3 аналогичны друг другу. Присутствие карбонатных новообразований в почвах можно объяснить развитием вторичных процессов.

В почве № 5 проявляется оглеение.

Скважина № 13. Южная часть Приобского плато. Левобережье

р. Алей, с. Солоновка.

В скважине № 13 вскрыты верхнечетвертичные покровные желто-

бурые, палевые суглинки (0—10 м), средне-нижнечетвертичные (10—165 м). Характерной чертой пород является наличие признаков оглеения в интервале 11—199 м, присутствие прожилков CaCO_3 на глубине 0—156 м, конкреции CaCO_3 (156—199 м), друз кристаллов гипса на глубине 130—145; 154,5—163; 179,5—199 м. Средне- и нижнечетвертичные погребенные почвы установлены на глубинах 65,6; 72; 78,7; 96,5; 109; 121; 150,5; 155 м; и неогеновые — на глубинах 173,5 и 190 м.

Приводим описание погребенных почв.

Почва № 1 (Q_{1-2}). Луговая или лугово-болотная почва.

Гор. А. 65,6—65,9 м. Темная глина.

Гор. В. 65,9—66,2 м. Желто-бурый суглинок

Гор. оглеения и карбонатный, 66,2—67,2 м. Светло-сизоватая глина с прожилками CaCO_3 .

Ниже идет буро-желтоватая глина с прожилками CaCO_3 (67,2—72 м).

Почва № 2 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 72,0—75,0 м. Серовато-сизоватая глина.

73—73,5 м — светлее.

Гор. В. 73,5—78,0 м. Желто-бурая с красным оттенком глина.

78,0—78,7 м. То же, появляется и увеличивается сизоватость.

Почва № 3 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 78,7—79,5 м. Серовато-сизоватая глина.

Гор. В и оглеения 79,5—80 м. Палевая с ржавыми прожилками и сизоватым оттенком глина.

Гор. С. 80,0—87,8 м. Желто-бурая глина с прожилками CaCO_3 .

Почва № 4 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 87,8—89,0 м. Серовато-сизоватая глина с прожилками CaCO_3 .

Гор. В и гор. оглеения 89,0—96,5 м. Палевая глина с редкими голубоватыми пятнами.

Почва № 5 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 96,5—99,0 м. Серовато-сизоватая глина с ржавыми прожилками.

Гор. В. 99,0—102,0 м. Палевая глина.

Гор. С и гор. оглеения. 102,0—109,0 м. Сизоватая глина с прожилками CaCO_3 . Внизу появляются прожилки полуторных окислов.

Почва № 6 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 109,0—110,0 м. Темновато-сизая глина с большим количеством прожилков CaCO_3 .

Гор. В и гор. оглеения 110,0—117,0 м. Серовато-сизоватая глина без новообразований.

Гор. оглеения 117,0—119,0 м. Голубоватая глина. Ниже залегают пестрые (119,0—120,5 м), сизоватые (120,5—121,0 м), голубые (121—121,5 м) глины.

Почва № 7 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 121,0—130,0 м. Серовато-сизоватая глина.

Гор. оглеения и гор. гипсовый 130,0—145,0 м. Голубые и сизые глины с друзами гипса.

Гор. С. 145,0—150,5 м. Желто-бурая глина с пятнами и редкими конкрециями CaCO_3 .

Почва № 8 (Q_{1-2}). Болотная почва.

Гор. А. 150,5—151,5 м. Темноватая глина.

Гор. АВ. 151,5—153,0 м. Гумусовая окраска исчезает. Глина.

Гор. С. 153,0—154,5 м. Желто-бурая с сероватым оттенком глина с большим количеством пятен CaCO_3 .

Гор. гипсовый 154,5—155,0 м. То же, с друзами гипса.

Почва № 9 (Q_{1-2}). Лугово-черноземная или луговая почва.

Гор. А. 155,0—156,0 м. Темная с желто-бурыми пятнами глина с пятнами CaCO_3 .

Гор. гипсовый 156,0—163,0 м. Палевая глина с друзами гипса. Ниже лежат палевые и сизоватые (163,0—171,0 м), желто-бурые (171,0—173,5 м) глины.

Почва № 10 (N). Лугово-черноземовидная или луговая почва.

Гор. А. 173,5—174,0 м. Темноватая с красным оттенком глина.

Гор. АВ. 174,0—176,0 м. Темный цвет исчезает. Глина.

Гор. С. 176,0—179,5 м. Желто-бурая с красноватым оттенком глина с пятнами CaCO_3 .

Гор. гипсовый 179,5—186,0 м. Палевая глина с гипсом. Ниже лежат сизые глины с гипсом.

Оригинальной чертой рассматриваемых погребенных почв является оглеенность почв № 1—7 и наличие гипса в почвах № 7—10, отсутствие оглеенности в почве № 8 и проявление оглеенности только внизу профиля почв № 9—10.

Приведенные выше данные о погребенных почвах позволяют сделать

некоторые выводы о характере процессов почвообразования и породообразования в четвертичное время в пределах Приобского плато. Так, для западной окраины Приобского плато, окаймляющей озера Кулундинское и Кучукское, намечается следующая схема породообразования и почвообразования. В начале нижнечетвертичного времени были условия (озерно-болотные) для образования оглеенных глин. Последующие процессы осушения обусловили проявление делювиальных процессов, обеспечивших оформление слоев гумусированных нижнечетвертичных пород (в скважине № 17 на глубине 64,0—71,0; 61,2—64,0; 60,0—60,7 м), погребенных лугово-болотных и луговых почв (скважины № 17, 19, 23).

В конце нежнечетвертичного времени местами наблюдались болота и озера, в которых шло образование голубых, ржавых глин с пресноводными ракушками. В среднечетвертичное время появлялись возможности развития и погребения степных почв (черноземов, лугово-черноземных почв). При этом погребенные почвы, как правило, следовали друг за другом (скважины № 19, 17). Однако локально они отделены слоями слоистых или однородных желто-бурых глин и суглинков. Количество погребенных почв в разных участках колебалось от одного до шести в зависимости от конкретных условий развития отдельных участков. В конце среднечетвертичного времени условия развития ландшафта резко изменились [4]. Расширилась площадь, занятая озерами или может быть среднечетвертичным Кулундинским озером. В озерах шло образование ленточных шоколадных и желто-бурых глин (скважины № 17, 19, 23, 39). Между прочим, мощность ленточных глин в разных участках не одинакова. Последующее осушение местности обусловило появление верхнечетвертичных однородных или слоистых желто-бурых лессовидных суглинков глин (скважины № 17, 19, 23, 39). Местами были условия для образования и погребения степных почв (Q_3 — Q_2). В настоящее время на рассматриваемой территории развиваются черноземы (повышенные формы рельефа), лугово-черноземные, луговые почвы, солонцы, солончаки солоди. В пределах современных древних долин стока устанавливается своеобразная схема развития ландшафтов. В конце неогена шло образование оглеенных пород. В нижнечетвертичное время наблюдалось активное образование и погребение болотных, лугово-болотных, луговых, лугово-черноземных и, наконец, степных почв (скважина № 16) (рис. 2). Позже возникли условия для образования мощной толщи речных песков (Космалинская древняя лощина стока, скважина № 16) или галечников и слоистых сероватых пылевидных пород (древняя долина р. Алей, скважина № 12).

На территории современного Барнаульско-Алейского водораздельно-го массива в нижнечетвертичное время наблюдались условия, благоприятные для образования оглеенных пород. В среднечетвертичное время шло образование и погребение степных почв (черноземов, лугово-черноземных почв — скважина № 11) и позже — образование слоев серых, зёмных почв — скважина № 11) и позже — образование слоев серых, зёмных почв (4 слоя), имеющих признаки существования почв (ре-темноватых глин (4 слоя), имеющих признаки существования почв (ре-ликтовые остатки корневых систем травянистой растительности (скважина № 11)). В верхнечетвертичное время шло образование супесей и песков. Однако локально (скважина № 13) в нижне-среднечетвертичное время были условия для образования и погребения оглеенных пород многочисленных (до 9 почв) болотных и лугово-болотных почв. Следует указать, что эти почвы были в большей или меньшей степени засолены (наличие гипса), причем верхнечетвертичные отложения представлены желто-бурыми суглинками, не имеющими погребенных почв.

Самая высокая точка современного Приобского плато располагается на Космалинско-Кулундинском водораздельном массиве (см. рис. 1). Там

(скважина № 25) в конце нижнечетвертичного времени и в среднечетвертичное время были условия для развития и погребения степных почв (см. рис. 2). В конце среднечетвертичного времени наблюдались условия, обеспечивающие образование слоев серых, буро-коричневых пород (6 слоев в скважине № 25: 139—145; 117—118; 97—98; 74—79; 65—73; 36—60 м). Позже проявились процессы заболачивания с образованием лугово-болотных почв (конец среднечетвертичного периода). В верхнечетвертичное время также установлено наличие лугово-болотных почв, погребенных под толщей желто-бурых суглинков и глин.

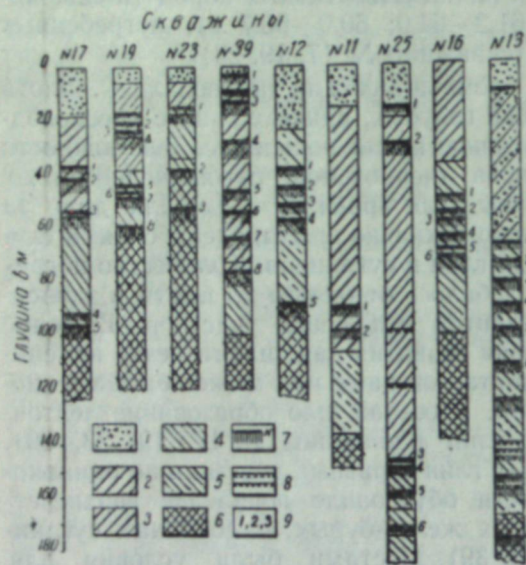


Рис. 2. Схема расположения погребенных почв в профиле скважин № 11, 12, 13, 16, 17, 19, 23, 25, 39:

1 — верхнечетвертичные отложения (Q_3); 2 — нерасчлененные верхне-среднечетвертичные отложения; 3 — среднечетвертичные отложения (Q_2); 4 — нерасчлененные средне-нижнечетвертичные отложения (Q_1); 5 — нижнечетвертичные отложения (Q_0); 6 — неогеновые отложения (N); 7 — погребенные почвы; 8 — гумусированные породы (погребенные почвы?); 9 — № погребенных почв.

имеющий неоднородную окраску: темные, коричневые или серые пятна, языки и потеки перемежаются с желто-бурыми пятнами и клиньями. Под гор. АВ лежит горизонт выщелачивания, отличающийся желто-бурой окраской с красноватым оттенком, отсутствием карбонатов и гумуса. Мощность его колеблется в пределах 0,5—3,5 м, а иногда понижается до 0,1—0,3 м. Горизонт выщелачивания резко переходит в карбонатный горизонт (гор. С), обогащенный $CaCO_3$ в форме пятен и прожилков. Мощность гор. С превышает 1—3 м. Ниже гор. С располагаются те или иные породы или же погребенные почвы.

Погребенные почвы первой группы могут быть сравнимы с современными лесостепными — степными почвами. Сходство этих почв заключается в сравнительно высокой гумусированности (3—6% гумуса), наличии относительно мощного гумусового горизонта, наличии переходного гор. АВ с гумусовыми языками и потеками, в присутствии карбонатного горизонта; наличии гипсового горизонта у некоторых почв; отсутствии признаков оподзоливания, осолодевания и оглеения.

Различие их проявляется в том, что многие погребенные почвы имеют большую мощность гор. А. гор. АВ и горизонта выщелачивания. Кроме того, гумусовый горизонт некоторых погребенных почв окра-

Таким образом, процессы порообразования и почвообразования в пределах рассматриваемой территории за четвертичный период имеют ряд общих и частных черт.

Во-первых, наблюдалась смена периодов образования пород без погребенных почв и периодов активного образования и погребения почвенного покрова; конкретное проявление этих периодов варьирует в широких размерах. Во-вторых, четвертичные погребенные почвы могут быть разделены на несколько групп.

Почвы первой группы имеют четко выраженный гумусовый горизонт (гор. А), окрашенный в однородные темные и коричневые тона. Ниже гор. А, как правило, располагается переходный горизонт (гор. АВ),

шен в коричневые и темно-серые тона. Повышенная мощность гумусового горизонта указывает на сочетание хорошо выраженных процессов гумусообразования и делювиального обогащения почвы гумусом в период наземного их существования. Надо полагать, что процесс накопления гумуса в рассматриваемых почвах проходил так же, как в современных западно-сибирских почвах. Участие делювиальных процессов в обогащении почв гумусом вполне закономерно. Высокая динамичность в развитии четвертичного ландшафта в пределах современного Приобского плато, связанная с вертикальными колебаниями земной коры в кайнозой, обусловила возможность накопления целой серии среднегумусированных выщелоченных погребенных почв. Карбонатность гор. А. некоторых почв данной группы связана с процессами вторичного порядка, развивающимися при погребении почв и последующем накоплении осадочных пород. Почвы первой группы могут быть отнесены к черноземным почвам лесостепных и степных ландшафтов.

Почвы второй группы относятся к болотным и лугово-болотным почвам. Они имеют темный, темновато-сизоватый, сероватый, серовато-сизоватый гумусовый горизонт, четкий горизонт оглеения, карбонатный горизонт с прожилками, редко конкрециями $CaCO_3$. Иногда в них встречаются гипсовый горизонт (скважина № 13) и реликтовые остатки корневых систем растительности (скважина № 25). Болотные почвы встречаются среди верхнечетвертичных пород (скважина № 25, почва № 1), среднечетвертичных (скважины № 19 и 13), нижнечетвертичных пород (скважины № 13, 16, 39, 19).

Почвы третьей группы являются переходными от черноземных почв к болотным.

Особую группу представляют собою гипсоносные (с друзами гипса), карбонатные (с конкрециями и пятнами $CaCO_3$), луговые и лугово-черноземные почвы. Они имеют темноватый или темный гумусовый горизонт мощностью в 0,5—1 м. Эти почвы встречаются в нижнечетвертичных отложениях левобережья р. Алей (скважина № 13, Сосновка).

Историческое развитие почвенного покрова Приобского плато за четвертичный период шло с тенденцией уменьшения удельного веса болотных почв и увеличения удельного веса степных почв. Однако на отдельных участках наблюдалось развитие и погребение только болотных почв (скважина № 13), при этом ниже зоны их образования и погребения идет зона третичных лугово-черноземных гипсоносных почв. Следует отметить гипсоносность более древних нижнечетвертичных болотных почв, лежащих выше этих гипсоносных третичных почв (скважина № 13).

В целом можно сказать, что для нижнечетвертичного времени наиболее характерными (из погребенных почв) являются болотные, лугово-болотные, луговые, черноземовидные почвы, а для среднечетвертичного времени — лугово-черноземные почвы, черноземы и, локально, болотные почвы. В конце среднечетвертичного времени наступил резкий перерыв в образовании и погребении почв благодаря широкому проявлению условий благоприятных для образования озерных ленточных глин, речных отложений.

В верхнечетвертичное время процессы погребения почв были сильно ограничены; установлены единичные болотные, степные почвы среди верхнечетвертичных отложений.

Очередными задачами исследования четвертичных почв Приобского плато являются: а) дальнейшая общая характеристика морфологии, местоположения, взаимосвязи с породами погребенных почв; б) проведение разносторонних анализов погребенных почв; в) установление показателей

для погребенных почв, необходимых при разработке стратиграфии четвертичных отложений и определении характера развития четвертичных ландшафтов Приобского плато.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Православлев, Приобье Кулундинской степи. Материалы по геологии Зап.-Сиб. края, вып. 6. Томск, 1938.
2. Л. С. Берг, Климат и жизнь, ОГИЗ, М., 1947.
3. Вопросы геологии четвертичного периода. ИЛ, М., 1954.
4. И. П. Герасимов, К. К. Марков, Ледниковый период на территории СССР. Тр. ин-та геогр. АН СССР, вып. 33. М.—Л., 1939.

В. П. ПАНФИЛОВ

О ВЛАЖНОСТИ ЗАВЯДАНИЯ РАСТЕНИЙ НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КУЛУНДЫ

Влажность завядания как нижняя граница доступной для растений влаги и как почвенно-гидрологическая константа изучалась многими исследователями [1—9]. Установлено, что влажность завядания находится в тесной зависимости от физического состояния почвы. Однако вопрос о зависимости влажности завядания от вида растений до сих пор остается спорным.

Методы определения влажности завядания растений разные. Все прямые и косвенные методы определения этой важной почвенно-гидрологической константы требуют дальнейшей разработки и проверки [3]. Для сравнительной оценки разных методов и получения точных данных о влажности завядания растений на легких каштановых почвах Центральной Кулунды (Ключевской район Алтайского края) эта константа определялась нами вегетационным методом (в модификации С. И. Долгова), методом А. А. Масловой, методом остаточной влажности и методом вычисления по максимальной гигроскопичности.

Анализ полученных данных (табл. 1) показывает, что влажность завядания, определенная вегетационным методом (методом проростков), очень близка к максимальной гигроскопичности. Для метрового слоя почвы влажность завядания в этом случае равна в среднем 2,95% от веса почвы, а максимальная гигроскопичность — 2,63%. Это объясняется тем, что в вегетационных сосудах корневая система растений, равномерно и густо переплетая и пронизывая всю массу почвы, сильно иссушает ее.

В полевых же условиях это не всегда наблюдается, что подтверждается данными по влажности завядания, полученными в поле по методу А. А. Масловой. Этот метод, как известно, состоит в том, что в поле на определенной площадке под растениями влажность завядания устанавливается по прекращению нарастания органической массы. На случай угрозы дождя площадка прикрывается переносной крышей. Наблюдения за нарастанием органической массы в нашем опыте были начаты 19 июня, когда яровая пшеница находилась в фазе кущения. В этот срок была определена влажность почвы. Прекращение роста растений и нарастания органической массы было отмечено в фазу колошения 22 июля. Полученные данные представлены в таблице 2.

При сопоставлении влажности завядания, определенной методом проростков и методом А. А. Масловой, обнаруживаем несоответствие, особенно во втором полуметре. Это объясняется тем, что корни пшеницы, как показало тщательное визуальное обследование по стенке разреза, заложенного на опытной площадке, в фазу колошения доходили, в основном, до глубины 60 см, а отдельные корневые волоски — до 70—80 см. Таким образом, пшеница завяла прежде, чем ее корни успели глубже распространиться и часть доступной влаги в почве осталась неиспользованной.

Таблица 1

Влажность завядания каштановой почвы при разных методах определения (в % от веса почвы)

Слой, см	Максимальная гигроскопичность (по Фраансеску)	Влажность завядания, определенная		Остаточная влажность (средняя, по данным за годы наблюдений)		
		методом проростков	методом Масловой	яровая пшеница	люцер-на	сахар-ная свекла
0-10	2,33	3,09	2,81	3,16	2,75	2,96
10-20	2,39	2,88	4,16	3,20	2,70	3,57
20-30	2,70	2,50	3,92	3,40	2,76	3,44
30-40	2,77	2,56	3,87	3,43	2,28	3,44
40-50	2,67	2,90	4,26	3,60	2,59	3,80
50-60	2,60	2,84	5,07	3,65	2,90	3,77
60-70	2,50	3,18	5,15	3,94	2,87	4,15
70-80	2,56	3,18	6,01	3,53	2,85	4,00
80-90	2,92	3,17	4,24	3,75	3,17	4,35
90-100	2,84	3,17	5,16	3,52	3,50	4,04
для слоя 0-100	2,63	2,95	4,45	3,51	2,84	3,75
в м ³ на га						
0-50	196	211	290	255	198	262
50-100	215	246	410	295	245	326
0-100	411	457	700	550	443	588
в % от полевой (наименьшей) влагоемкости*						
0-100	22	24	37	29	23	31

* Примечание: полевая (наименьшая) влагоемкость каштановой почвы для слоя 0-1000 см равная 1880 м³/га.

Однако в естественных условиях, при отсутствии изоляции от атмосферных осадков и прохождении растениями полного цикла развития, почва иссушается глубже и сильнее, на что указывают данные определения влажности завядания по остаточной влажности (табл. 1, 3). За остаточную влажность принята минимальная за период вегетации влажность почвы, которая обычно совпадала с конечными фазами развития растений.

Вместе с этим срок определения остаточной влажности необходимо приурочивать ко времени, когда отсутствуют атмосферные осадки.

Данные о влажности завядания, полученные методом остаточной влажности, несомненно свидетельствуют прежде всего о том, что разные растения обладают различным иссушающим действием на почву, т. е. дают различные величины влажности завядания. Так, для метрового слоя почвы влажность завядания, определенная этим методом, в среднем равна: люцерны — 2,84% от веса почвы, яровой пшеницы — 3,51%, сахарной свеклы — 3,75%. Эти данные лишней раз подтверждают вывод ряда исследователей, что влажность завядания зависит от вида возделываемых культур [5, 8].

Вместе с этим, анализируя полученные данные, нельзя не отметить, что в полевых условиях влажность почвы под люцерной падает до величин равных и даже более низких, нежели влажность завядания, определенная методом проростков. Под яровой пшеницей и сахарной свеклой остаточная влажность, особенно в верхнем полуметре, лишь

Таблица 2

Изменение влажности почвы при определении влажности завядания по методу Масловой в поле (в % от веса почвы).

Слой, см	Влажность почвы в начале опыта (19 июня 1957 г.)	Влажность почвы при прекращении парастания массы (влажность завядания)
10-20	6,62	4,16
20-30	5,75	3,92
30-40	6,70	3,87
40-50	8,53	4,26
50-60	9,71	5,07
60-70	10,90	5,15
70-80	8,87	6,01
80-90	5,06	4,24
90-100	4,28	5,16
Запасы общей влаги в м ³ на га		
0-50	495	290
50-100	617	410
0-100	1112	700

Таблица 3

Остаточная влажность каштановой почвы под разными с.-х. культурами (в % от веса почвы).

Слой, см	Яровая пшеница				Люцерна		Сахарная свекла		
	1954 г. 19/VII	1955 г. 25/VII	1956 г. 16/VII	1957 г. 18/VII	1954 г. 23/VII	1955 г. 5/VIII	1955 г. 3/IX	1956 г. 24/VII	1957 г. 14/IX
0-10	3,20	3,26	2,79	3,40	3,16	2,34	3,16	2,74	3,02
10-20	3,39	3,00	3,20	3,21	2,79	2,62	3,40	3,37	3,96
20-30	3,33	3,16	3,52	3,70	2,90	2,61	3,06	3,23	4,02
30-40	3,51	3,39	3,41	3,39	2,06	2,49	3,34	3,08	3,91
40-50	3,13	3,32	3,62	4,24	2,41	2,77	3,70	3,69	4,02
50-60	2,78	2,86	3,91	5,06	3,01	2,80	3,28	4,14	3,93
60-70	3,69	3,33	3,95	4,68	2,81	2,94	3,99	4,18	4,29
70-80	3,31	2,78	3,82	4,19	2,86	2,83	3,72	4,40	3,87
80-90	4,01	3,21	3,89	3,78	3,41	2,92	3,96	5,33	3,59
90-100	3,49	2,85	4,21	3,56	4,09	2,90	3,90	5,21	2,99

немного превышает влажность завядания, определенную методом проростков. Что касается второго полуметра, то в нем остаточная влажность, особенно под сахарной свеклой, заметно выше, чем влажность завядания. Это также служит подтверждением того, что определение влажности завядания растений вегетационным методом целесообразно применять для горизонтов максимального развития корневой системы растений, выращенных в условиях густого стояния [10].

Определение влажности завядания вегетационным методом или по остаточной влажности в поле не всегда возможно осуществить. Этим объясняются попытки ряда исследователей вычислять влажность завядания по максимальной гигроскопичности. В настоящее время установлено, что при вычислении влажности завядания по максимальной гигроскопичности для разных почв следует пользоваться особыми переводными коэффициентами. Для суждения о точности указанного метода и установления переводного коэффициента от максимальной гигроскопичности к влажности завядания для каштановой почвы нами проведено сравнение этих величин (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что на каштановых почвах отношение влажности завядания, определенной методом проростков и методом остаточной влажности к максимальной гигроскопичности по профи-

Таблица 4
Отношение величин влажности завядания к максимальной гигроскопичности почвы

Слой, см	Влажность завядания (метод проростков)	Отношение остаточной влажности к максимальной гигроскопичности		
		яровая пшеница	люцерна	сахарная свекла
0-10	1,33	1,36	1,18	1,27
10-20	1,20	1,34	1,13	1,50
20-30	0,93	1,26	1,02	1,27
30-40	0,93	1,24	0,82	1,25
40-50	1,08	1,35	0,97	1,43
50-60	1,09	1,40	1,11	1,45
60-70	1,27	1,58	1,15	1,66
70-80	1,24	1,38	1,11	1,56
80-90	1,08	1,29	1,08	1,49
90-100	1,12	1,24	1,23	1,42
среднеарифметический коэффициент				
0-20	1,26	1,35	1,10	1,39
0-50	1,10	1,31	1,02	1,35
0-100	1,12	1,34	1,09	1,43

лю почвы, колеблется в небольших пределах, что позволяет пользоваться среднеарифметическим коэффициентом для расчетов влажности завядания. Однако этот коэффициент не одинаков для разных методов и видов растений. Так, установленный отношением остаточной влажности к максимальной гигроскопичности он равен (для слоя 0—100 см) для люцерны — 1,09, для яровой пшеницы — 1,34, для сахарной свеклы — 1,43. Переводный коэффициент 1,34, установленный для яровой пшеницы, совпадает с таковым, принятым как стандарт в гидрометслужбе [2]. Среднеарифметический коэффициент перевода, установленный отношением влажности завядания, определенной методом проростков к максимальной гигроскопичности, равен 1,12.

Для определения влажности завядания растений на легких по механическому составу каштановых почвах в полевых условиях можно пользоваться методом остаточной влажности. Кроме того, для вычисления влажности завядания по максимальной гигроскопичности можно пользоваться полученными переводными коэффициентами.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Андрианов, Коэффициент завядания растений и другие количества влаги, удерживаемые почвой. Научно-агр. журн. № 7—8, 1928.
2. С. А. Вериге, Динамика запасов почвенной влаги на территории Союза ССР. Тр. по с.-х. метеорологии, вып. 26, 1948.
3. С. И. Долгов, Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. Изд. АН СССР, 1948.
4. Н. К. Карасев, Коэффициенты завядания, полученные лабораторным путем, и истинная влажность завядания растений. Метеорология и гидрология, № 11, 1940.
5. Е. И. Кочерина, К вопросу о влажности завядания растений. Почвоведение, № 1, 1948.
6. Н. В. Лобанов, Критическая для высших растений влажность. Научно-агр. журн., № 10, 1926.
7. А. В. Процеров, Н. К. Карасев, Об исчислении коэффициентов завядания по почвенным константам. Метеорология и гидрология, № 12, 1939.
8. Д. В. Федоровский, Определение в почве воды, недоступной для корней растений. Почвоведение, № 4, 1939.
9. В. А. Францессон, О максимальной гигроскопичности и связанной воде в черноземных почвах. Тр. юбилейной сессии, посвященной памяти В. В. Докучаева, М.—Л., 1949.
10. А. М. Алатырев, Влагооборот культурных растений. Л., 1954.

В. К. БРЫЛЕВ

УВЛАЖНЕНИЕ ПОЧВЫ ТАЛЫМИ ВОДАМИ В ПРИОБСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Вред стока талых вод огромен. Талые и ливневые воды ежегодно уносят с 1 га пашни до 10—20 тонн почвы, в которых содержится столько зольных элементов, что их хватило бы для получения высокого урожая. Растущие овраги выводят из «строга» огромные площади с плодородными почвами. Известно, что в условиях континентального климата твердый сток составляет 60—90% от годового.

Кроме того, сток талых вод увеличивает дефицит воды в почве (в весенний период в особенности), уменьшает количество воды, участвующей в материковом влагообороте, способствует более частому проявлению засух.

Мы далеки от мысли утверждать, что все указанные выше явления обуславливаются только стоком талых вод, но желаем подчеркнуть, что ему принадлежит существенная роль. Для убедительности укажем, что только с пашен равнинной части Алтайского края ежегодно, по ориентировочным подсчетам, стекает от 2,0 до 4,0 млрд. м³ воды.

Все это подтверждает необходимость изыскания новых, более эффективных мер и способов, позволяющих ограничить отрицательное влияние этого природного явления на плодородие почв и урожай.

Директивы XX съезда КПСС и принятые в последнее время Постановления ЦК КПСС и правительства в области сельского хозяйства настоятельно требуют разрешения данного вопроса в ближайшее время.

Сток талых вод, как отрицательное природное явление, давно привлекал внимание исследователей. Изысканию способов и приемов его регулирования посредством усиления впитывания талых вод в почву посвящено много трудов [1—8].

На важное значение снежного покрова как дополнительного источника воды с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур указывали В. В. Докучаев, П. А. Костычев, Н. Н. Касаткин и другие ученые [9—10].

Приступая в 1954 г. к полевым наблюдениям и опытам, мы поставили цель — дополнить теоретическое обоснование способа, предложенного Н. А. Качинским [2] по использованию талых вод. Кроме того, учитывая почвенно-климатические особенности Приобской лесостепи, мы решили разработать новый вариант способа и проверить экспериментально его эффективность в полевых условиях.

Водная эрозия, сток талых вод, снеготаяние и оттаивание почвы, температурные условия весны — это цепь природных явлений, находящихся в причинно-следственной связи и взаимозависимости.

Весной под влиянием увеличивающейся солнечной радиации в атмосфере в полуденное время появляются относительно устойчивые ну-

левые или низкие положительные температуры. Начинается период снеготаяния. Этот процесс происходит одновременно на огромных пространствах и протекает в две стадии.

В первую стадию (прогрева) происходит повышение средней температуры снежной толщи от отрицательных температур до нуля. Значительное количество тепла атмосферы расходуется в этот период на прогревание снега. Вода находится, в основном, в твердой фазе (в виде снега).

Вторая стадия (собственно снеготаяния) продолжается до полного схода снега. Тепло атмосферы расходуется главным образом на превращение снега в талую воду. Температура снежного покрова относительно устойчива, равна нулю или близка к нему. Количество снега во времени постоянно уменьшается.

С наступлением этой стадии (в первые ее дни), как правило, на поверхности почвы образуется ледяная корка. Затем под снегом накапливаются талые воды и происходит их сток.

Кроме температурных условий атмосферы, на характер снеготаяния влияют рельеф, растительность, свойства снежного покрова и т. д. Период снеготаяния постоянно сопровождается периодическими кратковременными похолоданиями, ночными и утренними заморозками. В климатических условиях степи и лесостепи Западной Сибири весной на поверхности мерзлой почвы образуется ледяная корка, придавая ей абсолютную водонепроницаемость. Главной причиной, обуславливающей сток талых вод, является мерзлое состояние влажной почвы в момент его формирования.

Оттаивание почвы происходит, в основном, после схода снега. Снежный покров в период снеготаяния в значительной степени задерживает ее оттаивание, так как он поглощает большую часть тепла, поступающего из атмосферы [2, 11]. Кроме того, крайне медленное оттаивание почвы объясняется глубоким ее промерзанием. Мерзлый слой почвы в 1,5—2,0 м обладает большим запасом «холода» и для оттаивания его необходимо значительное количество тепла.

Образование ледяной корки и формирование стока происходит следующим образом. В период снеготаяния талые воды, образовавшиеся на поверхности снежного покрова, опускаются вниз, достигая поверхности мерзлой почвы. Создается огромная площадь их соприкосновения (контакт) и происходит теплообмен. Мерзлая почва отдает часть холода талым водам, которые, превращаясь в лед, выделяют тепло в окружающую среду. В дальнейшем поступающие в почву талые воды накапливаются под снегом, частично передвигаются и сосредотачиваются в замкнутых понижениях. Причем накопление это происходит до определенного уровня, выше которого начинается общий сток талых вод.

Формирование и начало стока происходит при наличии достаточной мощности снежного покрова. Он, как теплое покрывало, оберегает накапливающиеся талые воды от замерзания при наступлении кратковременных похолоданий, утренних и ночных заморозков. Если бы снежный покров не обладал высокими теплоизоляционными свойствами, то образующиеся под ним талые воды к утру замерзли бы, а сток был бы сильно затруднен.

На основании изложенного выше способ борьбы со стоком талых вод и эрозией, в условиях континентального климата, должен удовлетворять следующим основным методологическим требованиям.

1. Воздействие его должно распространяться одновременно на обширные площади, так как процесс формирования стока талых вод по своему существу является площадным, а не линейным.

2. Он должен обеспечивать оттаивание поверхностного слоя почвы до времени начала формирования стока талых вод и на такую глубину, которая обеспечивала бы наиболее полное их поглощение.

3. На процесс таяния снега он должен оказывать замедляющее действие.

4. Устранять возможность образования ледяной корки на поверхности почвы и ослаблять защитные свойства снежного покрова, способствующие формированию и проявлению стока талых вод.

5. Обеспечивать равномерное впитывание и распределение талых вод в почве на всей площади до посева культур.

6. Должен быть прост по выполнению, экономичен и эффективен.

Сущность нового варианта способа, отвечающего указанным требованиям, заключается в следующем: в момент наступления в атмосфере относительно устойчивых нулевых или низких положительных максимальных температур на опытном участке обрабатывался снежный покров (мощность его 40—50 см). Создавались снежные валы шириной в основании 2,0 м и полосы с открытой поверхностью почвы в 4,0 м.

Наше воздействие распространилось на всю площадь опытного участка. Изменяя активную поверхность участка, мы резко усилили приток тепла в почву на открытых ее полосах. Площадь поверхности снега при этих условиях обработки уменьшилась. Как показали опыты, почва на открытых полосах к моменту начала стока талых вод успевает оттаивать на такую глубину, которая обеспечивает наиболее полное их поглощение (20—30 см).

На открытых полосах почвы ледяная корка при этом не образуется, а снежный покров, потерявший сплошность, не защищает талые воды от замерзания при наступлении кратковременных похолоданий и утренних заморозков. Суточный ход температуры снежных валов и почва с открытой поверхностью приобретает резко выраженный циклический характер, в котором происходит совпадение во времени процесса образования талых вод с процессом оттаивания почвы, что весьма важно.

Талые воды, вытекающие из снежных валов, впитываются в оттаивающий слой почвы, прилегающей к ним, и ускоряют процесс ее оттаивания. Образование талых вод прогрессивно усиливается во времени. Вместе с этим прогрессивно нарастает и мощность талого слоя почвы. Проведенные опыты подтвердили, что к началу посевных работ впитанные воды распределяются по площади относительно равномерно.

Обработка снежного покрова снегопахами проста и экономична. Известно, что на площади в 1 га она обходится не более 5—7 руб. [12].

Идея и первая попытка в осуществлении подобного способа принадлежит Н. А. Качинскому [2]. Он подверг наиболее полному и разностороннему исследованию процессы замерзания, оттаивания почв и условий впитывания талых вод. Сделанные им выводы признаны большинством ученых. Несмотря на их давность, они не потеряли своего актуального значения и в настоящее время. В 1925 и 1926 гг. Н. А. Качинский [2] провел опыты по искусственному оттаиванию почв с целью усиления впитывания талых вод и получил положительные результаты. Не имея возможности подробно остановиться на них, отметим, что наш вариант отличается от способа Н. А. Качинского временем проведения обработки снежного покрова и условиями осуществления ее.

Обработка снежного покрова проводилась Н. А. Качинским 1 апреля 1925 г. и 2 апреля 1926 г. Среднесуточная температура в эти дни соответственно была +1,8° и +1,3°. В 1925 г. мощность снежного покрова начала прогрессивно убывать с 14 марта, а в 1926 г. — с 26 марта. По

нашему мнению, обработка проведена Н. А. Качинским с большим опозданием.

Обработка снежного покрова проводилась через 1 м, т. е. создавались полосы с открытой поверхностью почвы и снежные валы шириною в 1 м. Средняя мощность снежного покрова в 1926 г. была 50,4 см.

В результате такой обработки активная поверхность участка в перерасчете на 1 га (по ориентировочным подсчетам), изменялась следующим образом. До обработки она состояла из поверхности снега площадью в 10000 м². После нее поверхность снега (снежных валов) была 15000 м², поверхность почвы — 15000 м², общая площадь поверхности — 20000 м².

При нашей обработке снега (ширина открытых полос 4 м, снежных валов 2 м) активная поверхность 1 га изменилась по-другому: поверхность снега — 8400 м², поверхность почвы — 6600 м², общая площадь поверхности — 15000 м².

На основании общих теоретических положений о роли активной поверхности в теплообороте [13] можно сделать следующее заключение: при втором варианте обработки снега количество тепла атмосферы поступит в почву больше, а в снег меньше, чем при первом варианте, что имеет большое значение. Кроме этого, механизация обработки снежного покрова в первом случае будет затруднена, во втором — нет, так как в первом случае высота снежного вала будет значительно больше, чем его ширина.

Экспериментальная часть

Наблюдения за процессом снеготаяния, образованием ледяной корки, формированием и стоком талых вод проводились визуальные. Средняя мощность снежного покрова, его плотность устанавливается известными методами. Глубина оттаивания почвы определялась металлическим щупом (29—30 повторностей). Влажность почвы определялась 3-кратной повторностью, высушиванием в сушильном шкафу. Образцы брались почвенным буром через 10 см. Для облегчения работы бура, режущей части его ложки была придана пиловидная поверхность. Верхний слой почвы 0—20, 0—30 см в первый срок взятия образцов проходилась копкой шурфа (ломом). Определялись: механический состав, удельный и объемный вес почв. Расчеты по запасам воды в почве производились по известным формулам [14].

Опыты были проведены на территории Барнаульской плодоягодной станции, расположенной на юго-западной окраине Барнаула. Термометрические наблюдения взяты на Барнаульской агрометеостанции.

Весна 1956 г. Почва окультуренная, темно-серая, оподзоленная, супесчаная, бесструктурная, подстилаемая на глубине 100—110 см пылеватым суглинком. 9 марта начался период снеготаяния. Среднесуточная температура 1,1°, максимальная +5,0°, минимальная —4,8°. 11—12 марта ограничены участки опытный и контрольный размером 20 × 20 м каждый. Определены запасы воды в снеге, которые составили на опытном участке 120,0 мм, на контрольном — 119,3 мм. За время опыта их выпало 7,3 мм. 13 марта обработан снежный покров, после чего поверхность снега на опытном участке (снежных валов) была 328 м², поверхность почвы — 240 м². Активная поверхность на контроле (поверхность снега) — 400 м². Если сделать перерасчет на 1 га, то активная поверхность составит на опытном участке (поверхность снежных валов) 8400 м², поверхность почвы — 6600 м². На контроле поверхность снега — 10000 м² (данные ориентировочные).

Поверхность почвы на 50—60% была покрыта осенней ледяной коркой. Мощность ее 1—3 см.

14 марта взяты образцы для определения исходной влажности. На контроле с 9 по 28 марта шло, в основном, прогревание снега (I стадия периода снеготаяния). 28 марта талые воды достигли поверхности мерзлой почвы (началась I стадия его). Поверхностная ледяная корка увеличилась по площади до 90—95% (из 44 уколов щупом только 2 не обнаружили ее). В дальнейшем шло накопление талых вод под снегом, а 31 марта сток проявился в полной мере и закончился он к 5 апреля. Снег окончательно сошел 6—7 апреля. На опытном участке 28 марта по краям у оснований снежных валов местами появилась наледь в виде небольшого напльва.

Полученные данные наблюдений за глубиной оттаивания почвы с открытой поверхностью на опытном и контрольном участках (в см) сведены в табл. 1.

Таблица 1

Даты	Опытный			Контрольный		
	минимум	максимум	средний	минимум	максимум	средний
14 III	—	—	—	—	—	—
20/III	—	2,0	—	—	—	—
27/III	—	4,0	—	—	—	—
28/III	2,0	7,8	5,1	—	—	—
30/III	3,9	17,0	10,6	—	—	—
31/III	10,0	31,0	23,3	—	—	—
2/IV	25,3	66,0	42,0	—	—	—
5/IV	н. о.	н. о.	н. о.	—	8,0	—
7/IV	48,9	70,9	63,0	25,0	40,0	31,0
15/IV	87,5	105,3	98,0	42,5	71,8	58,2

Отметим, что к моменту начала стока талых вод (31 марта) почва на открытых полосах оттаяла в среднем на 23,3 см.

«Дно» талого слоя неровное, представляло чередование многочисленных микроуглублений с микробугорками (из 29 определений 10 было в пределах 10—15 см, из 7 определений — 15—20 см и 12 определений — 20—30 см). На контроле почва стала оттаивать в основном после стока талых вод и схода снега (5 апреля).

К 15 апреля почва на опытном участке оттаяла до 98 см, и только под полосами, где были снежные валы, сохранились полуталые слои в среднем на глубине от 30 до 80 см. На контроле почва оттаяла только до 58,2 см.

Резкая разница во времени начала оттаивания почвы, а также и глубины в основном и определила образование талых вод. На контрольном участке они в основном стекли, а на опытном — впитались в почву. Кроме того, эта разница в оттаивании почвы на опытном и контрольном участках подтверждает огромную роль активной поверхности в теплообороте атмосфера — почва.

В табл. 2 приводятся полученные данные об изменении влажности почвы на опытном и контрольном участках в слое/м.

Влажность на 14/III отражает исходную влажность почвы на опытном и контрольном участках. Ее идентичность мы объясняем: легким механическим составом почвы (0—40 см — супесь, 40—100 см — песок), близостью скважин (в 20 м), ровностью поверхности участка и количеством выпавших осадков в период, предшествующий замерзанию (в

Таблица 2

Участок	Влажность, объемный %:						Влажность, м ³ /га средняя в пересчете на га
	14/III	7/IV	15/IV	30/IV	под снежными валами 16/IV	средняя на 15/IV	
Опытный	103,49	125,3	210,14	162,76	134,53	184,43	1844,3
Контрольный	103,34	—	115,73	140,70	—	115,73	1157,3
Разность	0,15	—	94,41	22,06	—	68,7	687,0

октябре 1955 г. выпало всего 7,3 мм). В верхнем (0—20 см) слое сконцентрировалось максимальное количество воды (20—32%) в результате перераспределения воды по профилю почвы в течение зимнего периода.

К 15 апреля количество воды в почве на открытых полосах опытного участка увеличилось на 106,65%, а на контрольном — на 12,39%. Учитывая, что под снежными валами влажность была гораздо меньше (134,53%), мы произвели соответствующий перерасчет и нашли среднюю влажность почвы опытного участка, которая составила 184,43%.

Таким образом на опытном участке впиталось в почву воды больше по сравнению с контролем на 68,7%. В переводе на 1 га это составило 687 м³. Наблюдения за ходом изменения влажности по профилю почвы и глубиной оттаивания ее подтверждают отчетливую их связь. Нижняя граница проникновения талых вод, в среднем, совпадает с глубиной оттаивания почвы.

К 30 апреля количество воды на опытном участке убыло (184,43—162,76) на 21,67%, а на контрольном — прибыло (140,70—115,73) на 24,97%. Такое перераспределение воды мы объясняем тем, что в почве значительное ее количество находилось в гравитационном состоянии. До 15 апреля опытный участок с глубины 45 см (минимальная глубина оттаивания почвы на контроле составляла 45,2 см), представлял собой замкнутый водоупорами объем, как бы наполненный большим количеством воды. Снизу он ограничивался мерзлым суглинком, с боков — мерзлыми песчаными слоями. К 30 апреля боковые водоупоры растаяли и вода под влиянием гидростатического давления и уклона данного водоупора стала перераспределяться (начался отток, который не закончился к 30 апреля).

Делать какие-либо выводы о балансе перераспределения воды мы считаем весьма трудным, так как прилегающая территория характеризуется наличием замкнутых и открытых микропонижений, в которых скапливались талые воды. Рельеф данного водоупора также неизвестен. А это факторы, безусловно, влияющие на указанный процесс.

Полученные данные позволили произвести расчет по эффективности впитывания талых вод в м³/га. На опытном участке из общего запаса воды в снеге и атмосферных осадках, выпавших за время опыта, — 1273 м³/га впиталось в почву 809,4 м³/га, или 63,6%. Потери (испарение, возможно частичный сток и др.) составили 463,6 м³/га, или 36,4%.

На контрольном участке из общего запаса воды в 1193,0 м³/га впиталось в почву только 123,9 м³/га, или 10,4%, а потери составили 1069,1 м³/га, или 89,6%. Разница весьма ощутительная и достойная внимания.

Весна 1957 г. Почва — выщелоченный среднемощный среднегумусный суглинистый чернозем. Период снеготаяния начался 18 марта. Среднесуточная температура — 6,3°, максимальная +1,3°, минималь-

ная — 13,8°. 19—20 марта ограничены участки размером 20 м × 22 м = 440 м² каждый. Общий запас воды в снеге и выпавших за время опыта атмосферных осадках составил на опытном участке 1295 м³/га на контрольном — 1220 м³/га.

21 марта проведена обработка снежного покрова на опытном участке так же, как и в 1956 г., после чего активная поверхность его состояла: поверхность снега (снежных валов) 367 м², поверхность почвы 280 м². На контрольном участке она представляла поверхность снега площадью в 440 м². Ледяной корки на поверхности почвы не было.

22—23 марта определялась влажность почвы на опытном и контрольном участках в полутораметровом слое (исходная влажность). С 18 по 31 марта шло, в основном, прогревание снежного покрова (I стадия периода снеготаяния). С 1 по 10 апреля шло накопление талых вод под снегом и формирование их стока. С 2 по 7 апреля образовалась ледяная корка на поверхности почвы, покрыв участок (контроль) примерно на 60—70%. С 10 апреля начался сток талых вод и закончился, в основном, к 14 апреля. Снежный покров сошел 19 апреля.

Таким образом, с 1 по 19 апреля протекала вторая стадия периода снеготаяния.

Средние данные наблюдений за глубиной оттаивания почвы (в см) представлены в табл. 3 (на опытном участке до 25/IV показана глубина оттаивания на открытых полосах, 25/IV — на всем участке).

Разница в оттаивании почв весьма ощутительна. К началу стока талых вод (10/IV) на открытых полосах опытного участка почва оттаяла на 32,9 см, на контрольном — на 1,0—5,0 см.

Таблица 3

Участок	Дата					
	22/III	1/IV	10/IV	12/IV	20/IV	25/IV
Опытный	—	23,0	32,9	47,7	66,2	120,0
Контрольный	—	—	1—5,0	26,4	46,2	80,0

Таблица 4

Участок	Дата		Влажность, м ³ /га
	Влажность, объемный %		
	22—23/III	25/IV	
Опытный	360,91	467,12	4671,2
Контрольный	325,49	389,77	3897,7
Разность	35,42	77,35	773,5

25/IV глубина оттаивания на опытном участке была относительно ровной на всей площади. Взяты образцы для определения конечной влажности.

В табл. 4 приводим полученные данные об изменении влажности почвы на опытном и контрольном участках.

По сравнению с 1956 г. наблюдалась относительно большая разница в запасах воды на контрольном и опытном участках (35,42%), неравномерное распределение его по профилю и относительно меньшая концентрация в поверхностном слое (0—30 см). Причиной этого являются механический состав почвы и значительное количество осадков (41,6 мм), которые выпали перед замерзанием участка увеличился с 22/III

Общий запас воды в почве на опытном участке увеличился с 22/III по 25/IV на 106,21%, на контрольном — на 64,28%. Таким образом на опытном участке по сравнению с контрольным произошло увеличение воды в почве на 41,93%, что в пересчете на 1 га составило 419,3 м³.

Полученные данные по динамике влажности почвы позволили подсчитать эффективность впитывания талых вод в м³/га. На опытном участке общий запас воды в снеге и атмосферных осадках составлял

1295 м³/га, из которых в почву впиталось 1062,1 м³/га, или 82%. Общие потери — 232,9 м³/га, или 18%. На контрольном участке из 1220 м³/га впиталось в почву 642,8 м³/га, или 52,7%. Общие потери на нем составили 577,2 м³/га, или 47,3%.

Сопоставляя данные по впитыванию талых вод в почву на опытных участках, мы видим, что в 1957 г. потерь было больше (1062 м³/га), чем в 1956 г. (809,4 м³/га). Но эффективность способа проявилась в 1956 г. выше, чем в 1957 г.

Под эффективностью способа мы понимаем отношение количества впитанной воды на опытном участке к ее количеству на контрольном.

В 1956 г. это отношение было $809 : 123,9 = 6,5$; в 1957 г. $1063,1 : 642,8 = 1,6$.

Резко отличные результаты, полученные весной в 1956 г. и 1957 г., в основном обусловлены различными водно-физическими свойствами почв в связи с их разным механическим составом и своеобразием температурных условий холодного периода (период с отрицательными среднесуточными температурами), и особенно периода снеготаяния.

В табл. 5 приводим некоторые данные о температурных условиях холодного периода (составлены по данным Барнаульской агрометеостанции).

Таблица 5

Показатели	Годы		Разность
	1955—1956	1956—1957	
Сумма отрицательных среднесуточных температур	-2139,4°	-1982,4°	-157,0°
Количество дней с отрицательной среднесуточной температурой	158	148	10
Среднесуточная температура за холодный период	-14,5°	-12,5°	-2,0°

Указанные выше данные подтверждают, что температурные условия холодного периода 1955—1956 гг. были суровее, чем в 1956—1957 гг. В связи с этим при прочих равных условиях количество холода проникло в почву в первом случае больше, чем во втором.

Некоторые данные о температурных условиях периодов снеготаяния 1956 г. и 1957 г. приведены в табл. 6.

Оценивая приведенные показатели, необходимо отметить, что период снеготаяния 1956 г. по сравнению с 1957 г. характеризуется в два раза большей суммой отрицательных среднесуточных температур, а среднесуточная температура его в три раза ниже.

Такое различие температурных условий объясняется тем, что в 1956 г. начавшийся 9 марта период снеготаяния был прерван с 13 по 25 марта наступившим похолоданием. Среднесуточные температуры понизились до 10—20° холода. С 25 марта началось резкое потепление, к 1 апреля среднесуточная температура повысилась до 0,2°. Таким образом, температурные условия периода снеготаяния 1956 г. были крайне неблагоприятными для проявления процесса впитывания талых вод и, наоборот, весьма благоприятными для проявления их стока.

Период снеготаяния 1957 г. по своим температурным условиям был противоположным. Начался он поздно (с 18 марта) и среднесуточ-

Таблица 6

Показатели	Годы		Разность
	1956 г.	1957 г.	
Сумма отрицательных температур за период	-212,1°	-101,9°	-110,2°
Количество дней с отрицательной среднесуточной температурой	24	23	1
Среднесуточная температура за холодные дни периода	-8,8°	-4,4°	-4,4°
Среднесуточная температура за период	-6,6°	-2,2°	-4,4°
Продолжительность периода снеготаяния	31	33	2

ные температуры относительно плавно повышались до 5 апреля. 6—7 апреля наступило кратковременное похолодание, после чего продолжалось дальнейшее потепление. Характер температурных условий периода снеготаяния 1957 г., наоборот, благоприятствовал проявлению процесса впитывания талых вод.

Таким образом, по независящим от нас причинам способ был проверен в резко отличных температурных условиях холодного периода и периода снеготаяния и дал положительные результаты.

Предлагаемый нами новый вариант способа это первая попытка в решении актуального вопроса дальнейшего повышения урожая сельскохозяйственных культур в условиях континентального климата с глубоким промерзанием почв. Его разработка и полевые исследования проводились за счет личного времени и средств автора и, естественно, имеют ряд недостатков. Необходимо дальнейшее продолжение этих исследований с использованием совершенного оборудования и различных методик.

Несмотря на это, полученная прибавка воды в почве на 400—700 м³/га по сравнению с контрольным позволяет в данном виде рекомендовать его для проверки и внедрения в производство.

Выводы:

1. Основной причиной стока талых вод в условиях континентального климата является мерзлое состояние почвы в момент формирования и проявления стока.
2. Процесс снеготаяния и формирования стока происходит одновременно на обширной территории и по существу является площадным процессом.
3. Снежный покров в период снеготаяния задерживает оттаивание почвы и способствует формированию стока.
4. Количество тепла, поступающего из атмосферы в почву в период снеготаяния, в значительной степени определяется ее активной поверхностью.
5. Рассматриваемый способ в основном устраняет причины стока талых вод. В условиях континентального климата и глубокого промерзания почв (1,5—3,0 м) он должен быть обязательным элементом снегонакопительных мероприятий.
6. При общих запасах воды в снеге от 1200 до 1300 м³/га предла-

гаемый вариант способа Н. А. Качинского позволяет увеличить влажность почвы по сравнению с контролем на 400—700 м³/га, он прост по выполнению и экономичен.

7. Способ в своей основе может быть использован не только в Алтайском крае, но и на большей части Западной Сибири с учетом местных почвенно-климатических условий.

Алтайское краевое управление
сельского хозяйства

Поступила в редакцию
30/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Костычев, О борьбе с засухами в черноземной области посредством обработки полей и накопления на них снега. Избр. тр. Изд. АН СССР, 1951.
2. Н. А. Качинский, Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. Тр. МГУ, М., 1927.
3. М. М. Крылов, Накопление холода в почве для уменьшения засушливости. Тр. науч.-исслед. ин-та гидротехники и мелиорации, вып. 1, 1940.
4. П. С. Волков, Шелвание как метод увлажнения почвы поверхностными водами. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 11, 1954.
5. Г. Д. Рихтер, Роль снежного покрова в физико-географическом процессе. Тр. ин-та географии, Т. XV. Изд. АН СССР, 1948.
6. Г. Д. Рихтер, Роль снежного покрова в земледелии. Сб. ин-та географии. Изд. АН СССР, 1953.
7. В. А. Шаумян, Орошение поверхностным стоком путем применения искусственных ложбин с почвенными дренами. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 4, 1953.
8. П. Мажаров, Новые приемы задержания снега и талых вод. Газета «Сельское хозяйство», 10 января, 1958 г.
9. В. В. Докучаев, Наши степи прежде и теперь. Изб. соч., т. II. Гос. изд. с.-х. лит., М., 1949.
10. И. И. Касаткин, Увлажнительные работы и их значение в сельскохозяйственном и климатическом отношении. НКЗ Гос. ин-т с.-х. мелиорации, М., 1925.
11. М. И. Сумгин, Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. НКЗ Дальневосточная геофизическая обсерватория. Владивосток, 1927.
12. Блокнот агитатора № 9, май, 1956. Отд. пропаганды и агитации Алт. крайкома КПСС.
13. П. И. Колосков, К вопросу о тепловой мелиорации в областях вечной мерзлоты и глубокого зимнего промерзания почвы. Сб. № 80. Изд. АН СССР, 1930.
14. Руководство по почвенно-мелиоративным исследованиям в степных и лесостепных районах Европейской части СССР. Часть II. Под редакцией В. А. Ковда. Изд. Мин. с.-х. СССР, М., 1953.

Н. М. САВЕЛЬЕВ

О БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ПОВЫШЕНИЯ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЮЦЕРНЫ*

В директивах XX съезда КПСС дана развернутая программа работ по укреплению кормовой базы общественного животноводства нашей страны. Касаясь вопросов улучшения производства грубых кормов, директивы обращают, в частности, особое внимание на расширение посевов и повышение урожайности клевера в районах нечерноземной полосы и люцерны в районах, где она дает хорошие урожаи.

В большинстве лесостепных и частично степных районов Западной Сибири люцерна при соответственной агротехнике дает достаточно высокие и устойчивые урожаи кормовой массы. По продуктивности сена ее посевы в 3—5 раз превосходят естественные луга.

Следует также учесть, что по кормовым достоинствам люцерновое сено в 2—3 раза превосходит обычное луговое. Кроме того, как предшественник зерновых, технических и других культур, люцерна при нормальных ее урожаях является одной из лучших в севооборотах.

Таким образом, большая значимость культуры люцерны во многих природных зонах Западной Сибири неоспорима.

Вместе с тем люцерносеяние в колхозах и совхозах Западной Сибири развито далеко недостаточно. Одной из основных причин этого является низкая семенная продуктивность люцерны: средние урожаи ее семян колеблются в пределах 30—50 кг/га.

Подавляющее большинство исследователей склонно считать, что низкая семенная производительность люцерны объясняется плохой раскрываемостью, а следовательно, и низкой степенью оплодотворяемости цветов. Чтобы устранить этот недостаток, рекомендуется привлекать на цветущие семенники люцерны диких насекомых-опылителей (пчел, шмелей), домашних пчел, искусственное доопыление с помощью волокуш и т. п.

Не отрицая некоторой полезности этих мероприятий при условии умелого, правильного их применения, необходимо отметить, что они не обеспечивают достаточного уровня и устойчивости урожая семян.

Утверждение некоторых авторов, что раскрываемость и оплодотворяемость цветов люцерны, а следовательно, и урожайность якобы зависят от интенсивности солнечного освещения, также не подтверждается.

Внимательные наблюдения за состоянием люцерны в различных условиях произрастания и при разных способах возделывания привели нас к убеждению, что ослабленная семенная производительность лю-

* Работы по данному вопросу проводились в Биологическом институте ЗСФАН СССР под руководством автора при участии Г. Н. Горбалева, Л. Ф. Шкатовой, И. Л. Клеветской, Л. Г. Марковой, К. П. Волгиной, В. И. Лазарева, В. К. Немлиенко и Б. В. Чуракова. В производственных испытаниях различных вариантов нового метода пересадочной культуры люцерны принимали участие агрономы Ф. А. Пилуков, Н. Ф. Ваниюков, Н. Г. Антипенко, Н. А. Галузин, С. Ф. Соловьев, К. Н. Кузьмин, С. П. Туркин, А. В. Пилипчук и др.

черны объясняется, главным образом, недостаточным и неполноценным корневым питанием.

В процессе филогенетического развития у люцерны, как влаголюбивого растения, закрепилось свойство заглублять корневую систему до 3—4 м, (а иногда и более) и извлекать воду вместе с элементами минерального питания, преимущественно из подпахотных слоев грунта. А так как в глубинных горизонтах почвы содержится незначительное количество основных элементов питания в подвижной форме и в особенности некоторых микроэлементов, которые занимают большую роль в жизнедеятельности бобовых, то люцерна не в состоянии в достаточной степени снабжать себя минеральным питанием. Кроме того, глубоко залегающие корни люцерны отличаются весьма низкой активностью. Следовательно, и по этой причине люцерна не может нормально питаться.

Советские ученые [1—2 и др.] показали, что поглотительная способность корней тесно связана с их дыханием. Чем сильнее дышит корень, тем энергичнее он поглощает минеральные вещества почвы. В глубинных горизонтах почвы, из-за ограниченного доступа туда кислорода воздуха, дыхание корней люцерны, а следовательно, и усвоение ими питательных веществ оказываются ослабленными. Из-за недостатка кислорода (например, в глинистых подпахотных слоях) всасывание питательных веществ может совсем прекратиться. В данных условиях корни иногда даже выделяют ранее усвоенные минеральные вещества.

Ослабленную деятельность глубоко идущих корней люцерны обуславливают также пониженные температуры почвы в районах люцерносеяния. В степи и лесостепи Западной Сибири, как известно, почва промерзает до 1,5—2 м глубины и оттаивает лишь к середине июня. В последующий летний период на глубине, например, 160 см и больше средние температуры почвы достигают лишь 4—12° тепла. Поэтому естественно, что и по данной причине люцерна не может получать достаточное питание из глубинных горизонтов почвы.

Наконец, в подпахотных слоях почвы резко подавлена микробиологическая деятельность. Микробы же играют чрезвычайно важную роль в корневом питании высших растений. Н. А. Красильников [3], А. А. Исаков [4] и другие исследователи установили, что в составе продуктов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов к растениям поступают не только элементы минеральной пищи, но и другие весьма важные вещества: стимуляторы роста, витамины и т. д. К глубоко расположенным корням люцерны приток и этих продуктов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов незначителен.

Следует также отметить, что функции корневой системы значительно сложнее, многообразнее, чем это представлялось несколько лет назад. Применением радиоактивного (меченого) углерода в сочетании с методом хроматографии советским ученым [5, 6] удалось установить новое свойство корневой системы — поглощать углекислоту и ее соли из почвенного раствора и транспортировать в надземные органы (листья). Многие исследователи [1, 2, 7, 8] указывают, что корневая система, поглощая из почвы различные питательные вещества, вместе с тем активно участвует в превращении их в органические соединения (аминокислоты, амиды, нуклеопротеиды, липоиды и др.) и в общем обмене веществ растительного организма.

Таким образом, отмечая сложность и многогранность функциональной деятельности корневой системы, следует подчеркнуть чрезвычайную важность ее нормальных биологических отправления. Та недостаточность корневого питания, которая нами отмечалась у люцерны в связи с невыгодным расположением ее усвояющей части корней, влечет глубокие

расстройства в обмене веществ с вытекающими отсюда последствиями. Эти расстройства выражаются в сбрасывании значительной части листвы в период вегетации, массовом опадении цветков и завязавшихся плодов, в низкой осеменности бобов, повышенной восприимчивости растений к заболеваниям, преждевременном их старении и т. д.

При этом чем лучше развита корневая система растений в верхнем, плодородном слое почвы, тем слабее отмеченные явления. Поэтому все агротехнические мероприятия и условия, способствующие разветвлению корневой системы люцерны в поверхностных, плодородных горизонтах почвы, обеспечивают неуклонное повышение семенной производительности. Например, умеренно разреженные посевы (широкорядные, гнездовые) дают урожай семян выше, чем загущенные, имеющие слаборазветвленные корни в пахотном слое.

По этой же причине беспокровные и чистые от сорняков посевы урожайнее, чем посеянные под покров хлебов; летние посевы продуктивнее ранневесенних; посевы на мощных черноземах продуктивнее, чем на мелких почвах; растения, расположенные по краям участка, урожайнее, чем в середине, и т. д.

Современная агробиологическая наука на основе познания закономерностей обмена веществ между растительными организмами и окружающей средой добилась больших успехов в создании плодородия почв, а следовательно, и повышении производительности сельскохозяйственных культур. Но наряду с этим не вскрыты еще большие резервы дальнейшего подъема урожайности путем повышения «самостоятельности» растений, в частности, более продуктивного использования элементов почвенного плодородия.

Совершенно ясно, что если у растения плохо организован аппарат корневого питания, то почвенное плодородие, которое мы создаем с таким трудом, в большой степени остается недоиспользованным.

В связи с этим И. В. Мичурин в своих классических работах вопросам формирования мощной и жизнедеятельной корневой системы плодовых и ягодных насаждений придавал исключительно большое значение.

Н. В. Цицин, работая над проблемой отдаленной гибридизации, при выведении высокопродуктивных форм пшеницы также особое внимание обращает на мощность и активность корневой системы гибридных растений.

Наши исследования семенной люцерны показали, что целям формирования растений с наиболее выгодным строением и высокой биологической активностью корневой системы отвечает известный в растениеводстве метод пересадочной культуры с использованием корневых черенков.

Учитывая, что корень в отличие от стебля обладает способностью ветвиться из любой точки, для пересадки наиболее целесообразно использовать крупные черенки (диаметром не менее 5 мм) преимущественно с посевов старовозрастной (3—4-летней) люцерны, не представляющей ценности для хозяйства и подлежащей распашке. Такие черенки, обладая большим запасом пластических материалов, обеспечивают после высадки наиболее развитую корневую систему и мощные кусты надземной массы, дающие высокие урожаи семян.

Техника заготовки и пересадки черенков достаточно проста, общедоступна и легко поддается механизации.

Заготовку можно вести путем подрезания корней на глубине 18—22 см тракторным плугом без отвалов, с последующей выборкой посадочного материала вручную. Чтобы сократить затраты труда на эту

операцию, мы совместно с отделом механизации ЗСФАН СССР испытали тракторный картофелекопатель ТЭК-2 и получили хорошие результаты.

На окультуренных люцерниках картофелекопатель мы пускали без предварительной подготовки поля. На сильно уплотнившихся и задернелых почвах вначале пускали тракторный плуг без отвалов, а вслед за ним картофелекопатель. После этого готовые черенки собирали копными граблями в кучи.

Колесный трактор ХТЗ с прицепленным к нему картофелекопателем за смену выкапывает черенки с площади 2,5 га (на 10—15 га посадки).

Высадка черенков производится так же, как и картофеля, под конный или двухкорпусный тракторный плуг, а также под окучник. Высадку желательнее вести квадратно-гнездовым способом, помещая 2—3 черенка в гнездо. Средняя площадь питания при рядовой посадке 60×40 см, а при гнездовой — 60×60 или 70×70 см.

Для этой цели с успехом может быть использована также рассадопосадочная машина, например, РС-6.

При ручной посадке на 1 га семенников требуется 10—12 человеко-дней, при механизированной — 3,5—4.

Общие затраты труда на все процессы пересадки в расчете на 1 га в среднем составляют при ручном способе 13—15, при механизированном — 4,5—5 человеко-дней.

Таким образом, в настоящее время вопрос о трудоемкости пересадки люцерны отпадает. Крупный колхоз или совхоз (с посевной площадью люцерны около 1000 га) может обеспечить себя семенами люцерны, ежегодно высаживая не более 3—4 га семенников при 3—4-летнем их использовании.

Как показал опыт, пересадку люцерны можно производить с наступлением ранней весны и до половины августа. Если имеются зимостойкие сорта, высадку можно вести поздней осенью после прекращения вегетации растений. Ранневесенняя пересадка в тот же год обеспечивает урожай семян до 3—5 ц/га.

Основными условиями, определяющими хорошую приживаемость пересаженной люцерны, являются следующие:

- 1) сохранение черенков в свежем, сочном состоянии;
- 2) высадка их в вертикальном или наклонном положении, корневой шейкой вверх;
- 3) обеспечение влажности почвы, превышающей мертвый запас воды;
- 4) прикатывание поля вслед за посадкой для создания тесного контакта между черенком и почвой.

При соблюдении этих условий средняя приживаемость черенков без полива колеблется обычно в пределах 95—98%.

Пересадочный метод возделывания люцерны, обеспечивая резкое повышение урожайности семян, вместе с тем дает возможность более глубоко изучить биологию растений и на этой основе установить причины низкой семенной продуктивности люцерны и наметить пути к устранению этих причин.

Экспериментальные работы по данному вопросу проводились нами в ботаническом саду ЗСФАН СССР (под Новосибирском), на среднеоподзоленных супесчаных почвах (1950—1953 гг.) и в Центральной Барабе, на землях совхоза № 3 ВЦСПС Чановского района Новосибирской области, где почвы были представлены обыкновенным и солонцеватыми черноземами тяжелосуглинистого механического состава (1949, 1950 и 1954 гг.).

Основным объектом изучения являлся районированный здесь сорт синегрибридной люцерны Омская 8893. Проверка и обобщение выводов проводились и на других сортах: Марусинская 425, Ладак, местная Каинская, Омская желтая 2251 и др.

Черенки для посадки отбирались с широкорядных или сплошных посевов трех-четырёхлетнего возраста.

Сравнительное изучение биологических и хозяйственных особенностей проводилось на однолетних растениях при одинаковых условиях произрастания, только в одном случае — семенного возобновления, а в другом — вегетативного, корневыми черенками.

Приведем некоторые сравнительные материалы по биологической характеристике пересаженной и контрольной, посеянной люцерны.

В пахотном слое почвы (0—25 см) усваивающая поверхность корней пересаженной люцерны оказалась почти в 2 раза выше, чем у посеянной. На площади 1 м² почвы в первом случае было 15,5 тыс. м² усваивающей поверхности корней, а во втором только 9 тыс. В подпахотных слоях почвы эта разница обнаруживалась в несколько меньших размерах.

В среднем за два года наблюдений интенсивность нарастания корневой массы у пересаженной люцерны была в 2,3 раза выше, чем у контрольной (рис. 1). В связи с этим выявилась и большая разница в степени использования ими элементов почвенного плодородия.

У пересаженной люцерны осмотическое давление клеточного сока корней постоянно было на 2—4 атмосферы выше.

Особый интерес представляет разница между пересаженной и контрольной люцерной по показателям интенсивности дыхания корней (табл. 1).

Таблица 1

Интенсивность дыхания корней пересаженной и посеянной люцерны (Омская 8893 двухлетнего возраста)

Горизонты почвы, см	Выделение CO ₂ в мг на 1 г сырой массы корней за 1 час.						Пересадка в % к контролю (средн.)
	контроль			пересадка			
	1953 г.	1954 г.	средн.	1953 г.	1954 г.	средн.	
5—25	0,337	0,30	0,335	0,776	0,75	0,763	228
25—45	0,240	0,21	0,225	0,320	0,58	0,450	200
45—65	0,120	0,17	0,145	0,160	0,33	0,245	170

Поскольку интенсивность обмена веществ между растением и почвенной средой непосредственно связана с энергией дыхания корней, ясно, что пересаженная люцерна имеет в этом отношении большие преимущества перед контрольной.

Это подтвердилось и при определении выноса из почвы минеральных веществ как непосредственно, так и с использованием метода меченых атомов (радиоактивного фосфора — P₃₂).

При пересадке на корневых черенках переносится большое количество клубеньковых бактерий. В связи с этим надобность в инокуляции растений отпадает. На вновь образующихся ответвлениях черенков является густая сеть крупных колоний — клубеньков с сильно рассеченной поверхностью. Обладая большой площадью соприкосновения с почвенным воздухом, бактерии таких клубеньков, как известно, отличаются повышенной азотфиксирующей способностью.

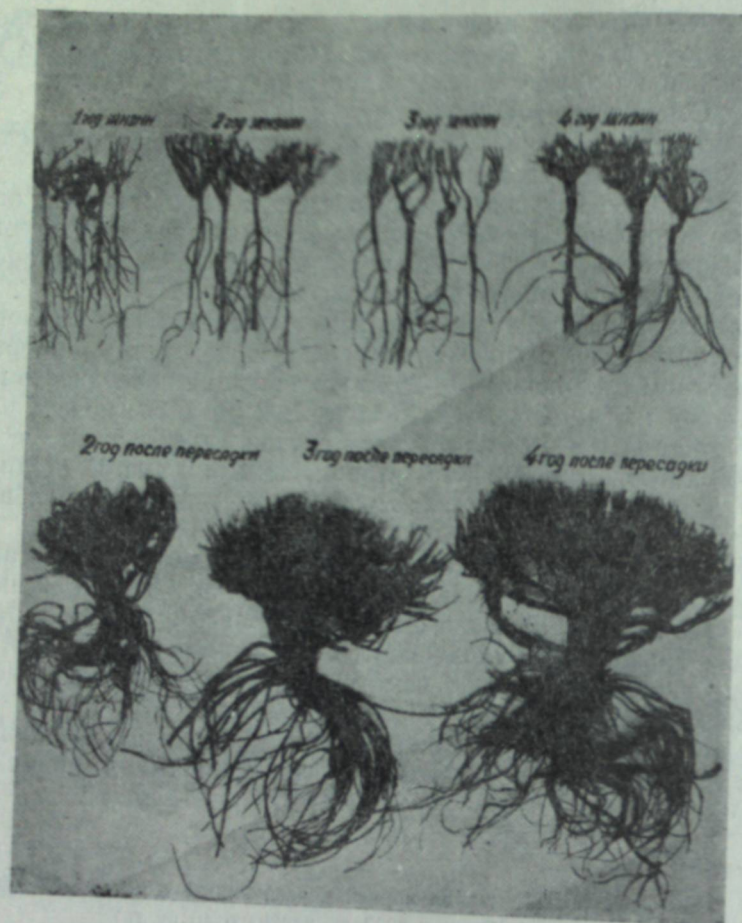


Рис. 1. Корневая система растений люцерны различных возрастов: сверху — при семенном размножении, снизу — при вегетативном (корневыми черенками).

На 1 г почвы в ризосфере корней контрольной люцерны обнаружено 3,8 млн. клубеньковых бактерий, тогда как у пересаженной — 9,8 млн. Количество азотобактера в прикорневой зоне пересаженной люцерны оказалось почти в 3 раза больше, чем на контрольных посевах.

В результате при пересадочной культуре (в сопоставлении с общепринятой) люцерна обеспечивается более обильным и гармоничным почвенным питанием. Азот она получает преимущественно за счет бактериального населения, зональные элементы пищи (в том числе и микроэлементами) — главным образом из верхнего, плодородного горизонта почвы, воду — из всей толщи корнеобитаемого слоя.

Достаточная обеспеченность растений корневым питанием не могла не сказаться на продуктивности надземной массы. В результате регенерации корневой системы пересаженные растения, начиная со второго года вегетации, дают обычно крупные кусты, нередко достигающие 3—4 кг веса в воздушно-сухом состоянии. При этом нарастание органической массы протекает чрезвычайно быстрыми темпами, с одновременно ускоренным ритмом развития растений.

Наряду с этим резко повышается жизнеспособность и долговечность люцерны. Если у обычных посевов к третьему-четвертому году пользования отмечается спад производительности, то у пересаженных растений в

течение этого срока она неуклонно повышается. В наших опытах даже на пятый год после пересадки заметной депрессии в росте и развитии растений не наблюдалось.

Листья пересаженных растений, будучи более крупными, содержат по сравнению с контрольными на 20—40% больше пигментов — хлорофилла, каротина и ксантофилла, а также витаминов С и Е, принимающих участие в обмене веществ. При этом отмечено, что хлорофилл с пересаженных растений отличается несравненно большей стойкостью к воздействию света.

В различные фазы вегетации в листьях пересаженных растений наблюдалось (в расчете на сухое вещество) на 3—10% больше белков, на 3—4% больше растворимых углеводов и на 2—3% меньше клетчатки во всей массе растений. В соответствии с этим на 3—4 атмосферы возросло осмотическое давление клеточного сока листа.

Наблюдалась также повышенная водоудерживающая способность тканей листа. Следовательно, водные ресурсы находились в более активном состоянии. Это, в свою очередь, не могло не сказаться на водном балансе растений. Если в знойные ветреные дни трех засушливых лет (1951—1953 гг.) у контрольной люцерны отмечалось сильное увядание листьев, то пересаженные растения в таких же условиях заметных признаков увядания не обнаруживали. В связи с этим в общем ходе транспирации наблюдались существенные различия (табл. 2).

Таблица 2

Интенсивность транспирации у пересаженной и контрольной люцерны (Омская 8893 второго года вегетации)

Варианты опыта	Фаза вегетации	Транспирация (в мг H ₂ O на 1 г сырой массы за 1 час при температуре °C)		
		9 час.	14 час.	19 час.
1953 г.				
Контроль	бутонизация	1,115	0,898	1,218
Пересадка	»	1,081	1,239	1,098
		25°	31,2°	24,1°
1954 г.				
Контроль	цветение	0,237	0,356	0,290
Пересадка	»	0,274	0,569	0,251
		10,2°	17,7°	14°
Контроль	плодообразование	0,996	0,675	0,380
Пересадка	»	0,973	1,004	0,243
		17,6	25°	16,4°

Как видно из табл. 2, у пересаженных растений отмечался нормальный ход транспирации с подъемом в полуденные, наиболее жаркие часы дня, тогда как у контрольной люцерны к этому времени нередко обнаруживалось падение испарения воды. Следовательно, у пересаженных растений, в отличие от контрольных, устьичный аппарат листьев в середине дня не нарушается и обеспечивает нормальный газообмен и фотосинтез.

Известно, что дефицит водного баланса растений, как это наблюдается на семенниках посеянной люцерны, обуславливает более быстрое старение тканей, преждевременное сбрасывание листьев и цветков, пониженную зимостойкость и т. д. Все эти процессы первичного и вторичного порядка влекут за собой резкое падение производительности растений.

В течение трех лет у пересаженной люцерны нами постоянно отмечалась бблшая активность окислительно-восстановительных ферментов — каталазы и пероксидазы, значительно меньшая поражаемость листьев болезнями (ржавчиной, бурой пятнистостью, ложномучнистой росой), повышенное отложение пластических материалов на зимний период в подземных органах и т. д.

Отмеченные особенности корневого питания растений, их водного баланса, физиологических и биохимических показателей листа и т. д. не могли не сказаться на процессе фотосинтеза и его продуктивности в пользу пересаженной люцерны.

Известно, что интенсивность фотосинтеза, а в связи с этим и общая продуктивность растений определяются темпами удаления первичных продуктов ассимиляции из листа.

Определения оттока пластических материалов из листа в фазу цветения и плодообразования показали большие преимущества этого процесса у пересаженных растений в сравнении с контрольными (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что интенсивность оттока продуктов ассимиляции у пересаженных растений в 2—4 раза выше, чем у контрольных.

Поскольку в период цветения и плодообразования пересаженная люцерна, в отличие от обычной, не израстает (не образует подгона при умеренном росте побегов), пластические материалы из листа у нее транспортируются преимущественно в органы плодоношения. Повышенный приток ассимилятов положительно сказывается на развитии репродуктивных органов и их биологических отправлениях.

Как показали наблюдения, у пересаженных растений оказалось в 1,5—2,5 раза меньше стерильных пыльцевых зерен, повышенная их жизнеспособность, энергичный рост и на 30—40% большая длина пыльцевых трубок.

В процессе оплодотворения растений эти качества имеют положительное значение.

Кроме того, на протяжении четырех лет мы неизменно наблюдали, что распутившиеся цветки пересаженной люцерны, в отличие от контрольной, самораскрывались практически на 100%, не требуя механического воздействия.

Выяснение причин этого весьма интересного явления показало, что в пестиках пересаженных растений содержалось значительно больше осмотически активных веществ — белков и растворимых углеводов. В связи с этим резко повышалось осмотическое давление, а вместе с ним и тургор пестиков (табл. 4).

В результате столь существенных физических и биохимических изменений пестики с пересаженных растений при их выделении из цветков принимают круто изогнутую форму пружины. Давление пестиков на лепестки лодочки оказывается настолько сильным, что они свободно преодолевают препятствие к самораскрыванию цветка. При этом автотриппинг цветка происходит не сразу после его распускания, а по истечении 2—4 дней.

По исследованиям Д. Д. Брежнева и Я. С. Аизенштата, [8] гаметы цветка в этот период биологически наиболее активны. Это положитель-

Таблица 4

Содержание осмотически активных веществ в пестиках цветов люцерны

(Омская 8893 второго года жизни. Новосибирск. 1953 г.)

Варианты опыта	Влажность, %	Содержание осмотически активных веществ (в % на сухое вещество)		Осмотическое давление клеточного сока, атм.
		растворимые углеводы	белки	
Контроль . .	83,2	11,3	18,4	20,3
Пересадка . .	83,8	16,1	27,3	25,6
Отклонение от контроля . .	+0,6	+4,8	+8,9	+5,3

но сказывается на полноте оплодотворения семян и в последующем на повышении жизнеспособности потомства.

Микроскопические наблюдения за развитием завязей плодов показали, что у контрольной люцерны за один месяц дегенерировало свыше 47% семян, тогда как у пересаженной — всего лишь 11,8%. Как следствие этого процесса, озерненность плодов пересаженной люцерны была в два раза выше, чем контрольной. Данное обстоятельство следует объяснить в первую очередь притоком питательных веществ к завязям плодов.

Таким образом, пересадка люцерны, повышая «самодеятельность» растений, положительно сказывается на биологических отправлениях всех ее органов и в конечном счете на семенной производительности (рис. 2).

В экспериментальных условиях лесостепи Западной Сибири в течение 6 лет средние урожаи пересаженной люцерны с общей площади 1000—2000 м² колебались в следующих пределах: в первом году вегетации — от 2,8 до 6,4 ц/га, в последующие два-три года — от 5,9 до 10,3 ц/га. На отдельных участках урожаи достигали 12—15 ц/га.

В таких же условиях ширококорядные и гнездовые посевы при оптимальной густоте и тщательном уходе давали от 0,5 до 3,1 ц/га. Аналогичные результаты получены Омским сельскохозяйственным институтом, Сибирским научно-исследовательским институтом зернового хозяйства, Западно-Сибирской овощной опытной станцией и т. д.

Испытание пересадочной культуры семенной люцерны в сравнении с обычной в производственных условиях различных районов люцерносеяния Западной Сибири в течение четырех лет (в 12 хозяйствах) привело примерно к таким же выводам (табл. 5).

Если обычные ширококорядные посевы первого-второго года пользования (в годы максимальной продуктивности) давали средние урожаи семян в пределах 0,67—0,76 ц/га, то пересаженные семенники — от 3,62 (в первый год вегетации) до 5,14 ц/га, или 500—720% к контрольным. В ряде хозяйств, хорошо освоивших пересадочную культуру люцерны, на второй и третий год вегетации урожаи пересаженных семенников достигали 5—10 ц/га.

Пересадочная культура обеспечивает вместе с тем длительно устойчивую семенную производительность, что особенно ценно для форсированного и планового расширения посевов люцерны.

В сравнении с общепринятыми способами возделывания пересадоч-

Таблица 5

Результаты производственного испытания метода пересадочной культуры люцерны

Наименование хозяйств	Район	Почва	Площадь пересаженной люцерны, га	Урожай семян, ц/га				
				посев		пересадка		
				2-й год жизни	3-й год жизни	1-й год вегетации	2-й год вегетации	3-й год вегетации
1. Зап.-Сиб. овощная опытная станция	Барнаульский Алтайск. края	Обыкновенный чернозем	0,8	1,01	0,82	4,83	5,10	6,63
2. Совхоз МВД	Маринский Кемеровской обл.	Выщелоченный чернозем	22,0	0,29	0,71	2,1	7,65	—
3. Подсобное х-во Ашмарино	Сталинский Кемеровской обл.	(пойма реки)	0,3	0,0	0,0	1,52	3,03	2,89
4. Совхоз № 3 ВЦСПС	Чановский Новосибирской обл.	Обыкновенный чернозем	0,12	0,72	1,1	6,41	10,3	—
5. То же	»	Солонцеватый чернозем	0,3	1,23	0,67	3,8	4,42	4,16
6. Школа полеводов	Куйбышевский Новосибирской обл.	»	0,3	0,61	1,11	—	3,6	4,32
7. Отреченский совхоз	Чановский Новосибирской обл.	»	3,0	0,51	—	3,1	—	—
8. Блюдчанский совхоз	»	»	2,0	1,13	—	2,72	—	—
9. Козинский совхоз	Усть-Таркский Новосибирской обл.	Выщелоченный чернозем	0,3	0,8	—	3,4	—	—
10. Колхоз «Победа»	Барабинский Новосибирской обл.	Обыкновенный чернозем	1,0	0,35	—	4,0	—	—
11. Колхоз им. Хрущева	Новосибирский	»	5,0	0,0	—	—	2,2	—
12. Сибирский ботанич. сад	»	Подзолистая	0,15	1,61	0,84	4,26	4,62	—
Средний урожай	—	—	—	0,67	0,76	3,62	5,14	4,50
То же в % к контролю	—	—	—	100	100	508	724	634

ная культура люцерны дает более высокие качественные показатели семян (абсолютный вес, энергия прорастания, общая всхожесть), что в свою очередь положительно сказывается на последующих урожаях.

Сравнение общих затрат труда и средств на приобретение семян, обработку почвы, удобрения, уход, уборку и т. д. (при отмеченных соотношениях урожаев, пересаженной и обычной люцерны) показывает, что даже при использовании на пересадочных работах только самой простой техники себестоимость семян с пересаженной люцерны в 5—6 раз ниже. Применение механизации пересадочных работ еще больше увеличивает эту разницу.

В результате пересадки достаточно четко, контрастно проявляются индивидуальные особенности растений; происходит как бы расщепление

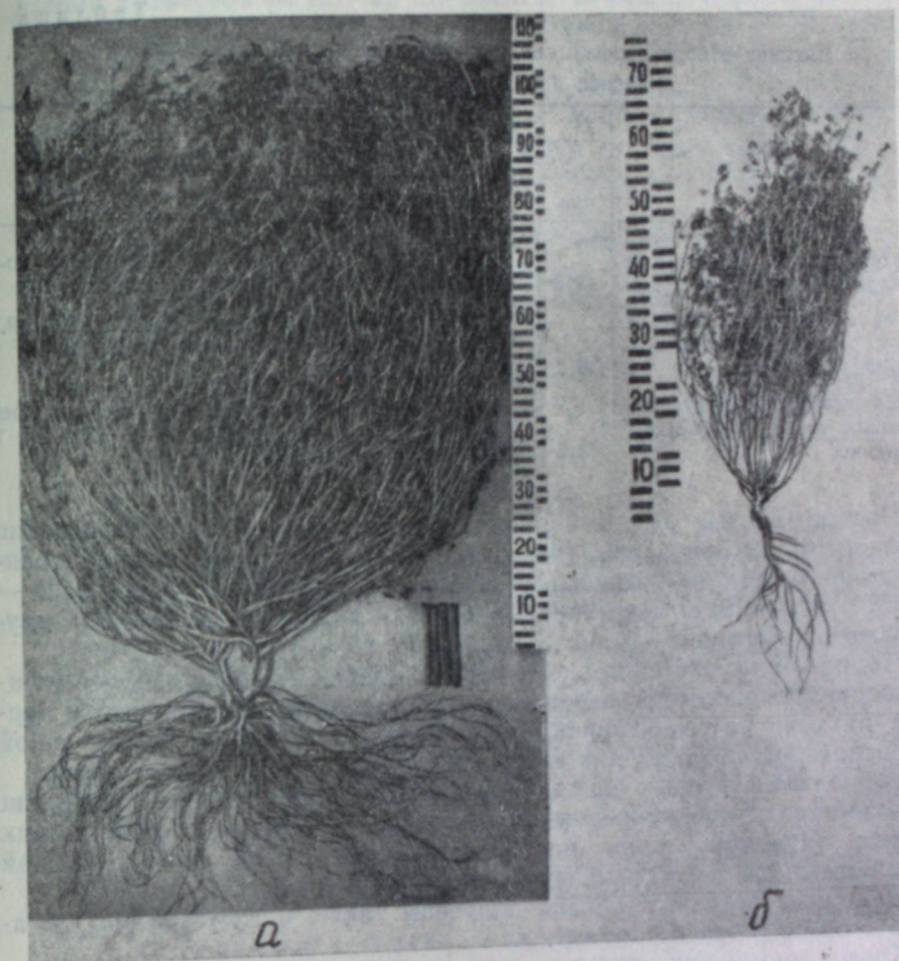


Рис. 2. Растения люцерны второго года жизни: а — пересаженной, б — контрольной.

морфологически выравненных сортов (Омская 8893, Марусинская 425 и др.) на ряд форм, которые в обычных посевах нивелируются и остаются незаметными. Анализируя данное явление, нам удалось выявить тесную связь между строением и мощностью корневой системы, с одной стороны, и сочетанием признаков надземных органов — с другой.

В соответствии с этим, отбирая для пересадки хорошо развитые, сильно разветвленные черенки и повторно выделяя наиболее перспективные группы растений после пересадки (по признакам надземных и подземных органов), можно отобрать наиболее продуктивные популяции.

В наших опытах 1953 и 1954 гг. применение отбора и воспитания растений при пересадочной культуре сопровождалось значительными прибавками урожаев сена и семян люцерны (табл. 6).

Простота отбора и воспитания семенных растений, пересадочной люцерны, его общедоступность открывают заманчивые перспективы для развертывания широкой народной селекции данной культуры применительно к местным условиям.

Наряду с пересадочной культурой люцерны мы изучали и другие упрощенные приемы, основанные на принципе улучшения корневого питания растений.

Таблица 6

Влияние отбора и воспитания люцерны на урожай сена и семян
(Омская 8893, по данным 1954 г.)

Вариант опыта	Урожай				Примечание
	сена		семян		
	ц/га	%	ц/га	%	
Контроль (семена взяты с широкорядных посевов)	28,3	100	2,84	100	Посев произведен по полупару на целине
Посев семенами с пересаженных растений, отобранных перед пересадкой	36,7	130	3,97	140	Размер делянки 600 м ² . Повторность двукратная
Посев семенами с растений, отобранных перед пересадкой и после нее	43,4	153	6,08	214	Испытание проводилось в совхозе № 3 ВЦСПС в 1954 г.

Положительные результаты показало ранневесеннее подрезание корневой системы люцерны (на третий-четвертый год ее жизни) тракторными плугами без отвалов (без оборота пласта) на глубине 20—22 см от поверхности почвы. Чтобы отрезки корней после прохода плуга лучше приживались, почву необходимо прикатывать.

Подпаханные растения, как и пересаженные, развивают более мощную корневую систему в верхних горизонтах почвы. В результате корневое питание растений значительно улучшается, что влечет за собой повышение урожайности как общей надземной массы, так и семян.

В производственных опытах в результате подпахивания люцернищ в 9 хозяйствах, расположенных в различных почвенно-климатических условиях Западной Сибири, на общей площади свыше 180 га, урожай семян повысился с 0,86 ц/га (контроль) до 2,4 ц/га (т. е. на 167%)*.

Подобные результаты были получены также в Кемеровской области, в Северном Казахстане и т. д.

Кроме повышения урожаев семян, подпахивание люцерны положительно сказывается и на продуктивности вегетативной массы. Если на контрольных посевах мы получили в среднем по 49 ц/га сырой массы, то подпаханная люцерна дала по 75,2 ц/га, т. е. урожай оказался выше на 53%.

Примерно такой же эффект дает обрезание боковых корней люцерны. Путем ранневесеннего рыхления междурядий пропашной люцерны конными плугами без отвалов на глубину 18—20 см и более удается оборвать значительную часть боковых ответвлений корней. В местах обрывов получают густые пучки корневой системы, расположенной преимущественно в пахотном, плодородном слое почвы. Вместе с тем при глубоком рыхлении почвы уничтожается известная часть сорняков, создаются благоприятные условия для дыхания корней, микробиологической деятельности, сбережения почвенной влаги и т. д. В итоге значительно улучшается корневое питание растений. В наших производственных опытах эта операция способствовала повышению урожаев семян (в среднем за 2 года) с 138 (контроль) до 260 кг/га (т. е. на 90%).

В условиях высокой влажности почвы глубокая пропашка междурядий может быть заменена весенним окучиванием люцерны при отра-

* Производственные опыты проводились в совхозах Новосибирской области: Чиковском, Блюдчанском, Отреченском, Чановском, Завьяловском и Обском, в колхозе «Победа» Барабинского района, на Марининской опытной станции и Западно-Сибирской овощной опытной станции.

стании травостоя на 20—22 см высоты. В наших опытах 1954 г. в результате окучивания люцерны повысилась урожай семян с 148 (контроль) до 209 кг/га (т. е. 41%).

Значительные прибавки урожаев получаются и в результате внекорневой подкормки семенной люцерны как основными элементами питания, так и микроэлементами. Например, по материалам 1954 г., внекорневое внесение фосфора повысило урожай семян на 41%, магния — на 42%, молибдена — на 34%, меди — на 37%.

Таким образом, все мероприятия, направленные на обильное питание люцерны, сопровождаются неуклонным повышением урожаев. Однако при прочих равных условиях наивысшие урожаи семян обеспечивает пересадочная культура люцерны.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Колосов, С. Ф. Ухина, О роли корневой системы в усвоении минеральных веществ растениями. Журн. «Физиология растений», т. 1, № 1, 1954.
2. Д. А. Сабинин, О значении корневой системы в жизнедеятельности растения. Тирязевские чтения, IX, изд. АН СССР, 1949.
3. Н. А. Красильников, Микроорганизмы и плодородие почвы. Изв. АН СССР, серия биологическая № 2, 1954.
4. А. А. Исаков, Отбор корнями растений специфической микрофлоры из почвенного микробного комплекса. ДАН СССР, т. XXV, № 4, 1939.
5. А. Л. Курсанов, А. М. Кузин, Я. В. Мамуль, О возможности ассимиляции растением карбонатов, поступающих с почвенным раствором. ДАН СССР, нов. сер., т. 79, в. 4, 1951.
6. А. М. Кузин, Меченые атомы в исследованиях по сельскому хозяйству. Изд. АН СССР, 1954.
7. О. Ф. Туева, С. А. Самойлова, Об особенностях азотно-фосфорного питания и деятельности корневых систем. Тр. ин-та физиологии растений АН СССР, т. VI, вып. 3, 1948.
8. Д. Д. Брежнев и Я. С. Айзенштат, Новое в селекции растений. Сельхозгиз, 1954.

Т. П. НЕКРАСОВА, Н. Г. САКОВИЧ

ПЛОДОНОШЕНИЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ

Сообщение 2-е. Урожай шишек и семян

С количественной стороны урожай пихты изучались в течение трех лет в разных районах Томской и Новосибирской областей.

Число шишек — величина очень непостоянная, зависящая от многих условий, главным образом, от возраста и силы роста дерева. Однако в насаждениях одного класса возраста (около 100 лет) урожайность явно связана с условиями местообитания, что находит свое отражение в колебании среднего числа шишек на одном дереве по типам леса.

Так, в Кривошеинском районе в 1955 г. средний урожай шишек на одно дерево составлял:

в пихтаче крупнопоротниковом	—	40 шт.
» костянично-вейниковом	—	64 »
» кислично-ирисовом	—	86 »
» мелкотравно-осочковом	—	148 »

Вместе с тем на лесосеке в разнотравном пихтарнике в Маслянинском лесхозе в 1956 г. наблюдались колебания в числе шишек на одно дерево от 5 до 750 в зависимости от возраста, высоты и степени развития кроны. При этом на могучих старых пихтах, имевших обильный урожай, шишки были всегда мелкими.

Средняя длина нормально развитых шишек 8 см, с колебаниями от 5,6 до 10 см. Число семян в одной шишке оказалось разным: в 1955 г. в Кривошеинском районе Томской области составляло 260 шт. (с колебанием от 188 до 346); в 1956 г. в Маслянинском лесхозе Новосибирской области шишки были мельче и число семян в них было в среднем 179 шт. (с колебанием от 72 до 270).

Урожай семян с 1 га сильно колеблется в зависимости от степени участия пихты в составе древостоя. Так, в Кривошеинском лесхозе Томской области он колебался от 7 до 21,5 кг в смешанных насаждениях и составлял 33 кг в чистом кислично-ирисовом пихтаче 120-летнего возраста [1]. В 1956 г. при наличии повышенного урожая чистые разнотравные пихтарники Маслянинского района Новосибирской области имели в среднем урожай в 60 кг с 1 га. Д. Н. Данилов [2] определил урожай зеленомошного пихтача III бонитета в 5,9 млн. семян, или в переводе на вес около 50 кг, т. е. число, близкое к нашему.

Однако в Маслянинском районе семена пихты сильно повреждаются личинкой наездника (определение Г. О. Криволицкой). В августе 1956 г. нами было произведено взрезание 3000 семян и обнаружено: 36% здоровых, 21% с личинками наездника, 32% пустых и 11% недоразвитых семян. Полноценных семян было немного более одной трети урожая. Замечено, что зараженность семян личинками наездника особенно сильна на деревьях, ослабленных нападением сибирского шелкопряда.

Посевные качества семян пихты можно охарактеризовать по дан-

ным Алтайской контрольной станции лесных семян в целом для всех районов Западной Сибири, имеющих пихтовые насаждения. Обобщенные данные за 1947—1956 гг. представлены в табл. 1. Подзоны даны по Г. В. Крылову [3].

Таблица 1

Посевные качества семян пихты сибирской

(по данным Алтайской контрольной станции лесных семян за 1947—1956 гг.)

Подзоны лесной зоны	К-во образцов	Вес 1000 семян, г	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %
Подзона березово-сосново-темнохвойных лесов	52	8,98	19,6	11,4
Подзона сосново-березовых лесов	31	9,48	19,5	11,2
Горные леса Алтая и Салаира	35	13,50	45,4	22,2

Из табл. 1 видно, что вес семян пихты возрастает в направлении к южным подзонам лесной зоны и максимума достигает в предгорьях Алтая и Салаира. Всхожесть и энергия прорастания семян пихты из лесной зоны практически одинаковы для всех ее частей, но значительно выше у семян из предгорий.

В районах наших работ эти показатели были следующими: в Томском районе средний вес семян составляет 8,92 г, всхожесть 24% и энергия прорастания 7,6%; в Маслянинском — соответственно 10,8 г, 18,8% и 18%.

Низкая всхожесть семян пихты отчасти объясняется высокой степенью их зараженности вредителями, но эта причина не единственная. Вопрос о причинах низких посевных качеств семян пихты сибирской остается еще неясным. Во всяком случае, в отдельные годы семена пихты имеют гораздо лучшие посевные показатели. Так, в 1928 г. Новосибирский окружной лесной отдел заготовил для экспорта значительное количество семян пихты сибирской на территории современного Маслянинского лесхоза. Испытание семян показало, что они имели абсолютный вес 16,5 г, всхожесть 65% и энергию прорастания 50%. Из непроросших семян было 24% пустых, 6,5% загнивших, 2,5% зараженных личинкой и 2% здоровых [4].

Эти показатели гораздо лучше приведенных нами средних. По-видимому, качество семян пихты сибирской в разных районах ее прорастания и в разные годы значительно отличается, что требует дальнейшего изучения этого вопроса.

Семенные годы

В литературе указывается, что семенные годы у пихты сибирской на Урале повторяются через 3—4 г., а в Средней Азии — через 2—3 г. [5]. В действительности же правильной повторности семенных лет у пихты не существует, как нет ее и у других лесных пород.

Непосредственные наблюдения над урожаями у пихты сибирской в различных районах Западной Сибири велись нами лишь в течение трех лет. За такой период нельзя было установить закономерности в наступлении семенных лет. Приводим только как фактический материал, что в

1955 г. урожай был от слабого (Маслянинский район Новосибирской области) до среднего (Кривошеинский район Томской области); в 1956 г. повсеместно в Западной Сибири был хороший урожай, а в 1957 г. — повсеместно был неурожай.

Для изучения урожаев за прошлые годы можно воспользоваться способностью пихты сохранять на ветвях стержни от шишек в течение многих лет. Этот метод изучения динамики урожаев у пихты предложен П. Л. Горчаковским [6], но несколько уточнен одним из авторов данной статьи [7].

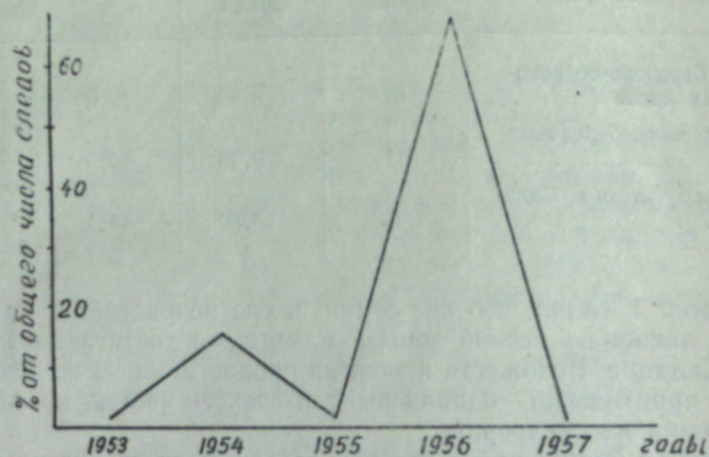


Рис. 1. Колебания урожаев пихты сибирской.

Этим методом была получена характеристика урожаев у 30—40-летних пихт в Плотниковской лесной даче Томского лесхоза (анализ ветвей у 13 моделей). Колебание урожаев отражает кривая на рис. 1. За период с 1952 по 1957 гг. здесь был только один хороший урожай в 1956 г. (1955 г. — закладки генеративных почек) и неурожай в 1955 и 1957 гг. Таким образом, данные анализа следов полностью совпадают с непосредственными наблюдениями за то же время. Это дает нам право считать достоверными также и показатели за более ранние, 1954 и 1953 гг. В данном случае мы не можем получить материалы для более длинного ряда лет, так как исследованные деревья тогда еще не плодоносили.

Чем же определяется наступление семенных лет у пихты сибирской?

Работами ряда авторов установлено, что у других хвойных (главным образом ели) благоприятное влияние в этом отношении оказывает тепло и сухость вегетационного периода в год, предшествующий цветению, т. е. в период закладки генеративных органов [8—10]. Если проанализировать метеорологические условия района нашего исследования, то можно убедиться, что и для пихты этот вывод вполне справедлив.

В табл. 2 приведены среднемесячные температуры и количество осадков для района Томска за 1952—1956 гг.

Сопоставление кривой урожаев (рис. 1) с данными табл. 2 убеждает нас, что у пихты сибирской повышенные урожаи закладываются в годы с наиболее теплым и сухим летом. Это вполне понятно, если учесть, что пихта приурочена, главным образом, к районам с количеством осадков 600—700 мм [11].

За рассматриваемые пять лет такое лето было в 1955 г. В этот год

Таблица 2

Температура и осадки мая — августа в районе г. Томска

Годы	Среднемесячные температуры, °С					Осадки, мм				
	V	VI	VII	VIII	итого за четыре мес.	V	VI	VII	VIII	итого за четыре мес.
1952	11,3	16,2	19,7	16,1	63,3	31	41	78	34	184
1953	11,0	16,5	20,7	15,5	63,7	65	66	62	36	229
1954	6,8	16,4	16,2	16,4	55,8	34	64	71	91	260
1955	11,6	17,6	18,3	17,3	64,8	24	40	100	26	190
1956	11,4	13,3	19,6	16,4	60,7	19	76	145	76	316

показатели тепла и влаги за все летние месяцы, кроме июля, были наиболее благоприятными, а наивысший урожай был в 1956 г.

Эти же данные выявляют и особое значение для пихты погоды июня, тогда как для ели была установлена решающая роль погоды июля. Д. Н. Данилов [9] писал, что в год, предшествующий урожаю, температура трех летних месяцев выше, чем температура того же периода в остальные годы. Особенно рельефно эта разница проявлялась в июле. Жаркое лето с пониженным количеством осадков, с большой сухостью воздуха и меньшей облачностью в июле и в теплых географических условиях (Вологодская и Архангельская области) благоприятствует подготовке дерева ели к плодоношению.

В отношении пихты в районах нашего исследования такую решающую роль играет погода не июля, а июня (табл. 1). Оказывается, температура в июле 1955 г., предшествовавшего семенному году, была даже немного ниже средней, количество же осадков было выше среднего. Таким образом, погода июля не благоприятствовала подготовке к плодоношению. Зато июнь был самым теплым и сухим за эти пять лет.

Если вспомнить приведенные выше данные о том, что появление видимых простым глазом генеративных органов у пихты сибирской в этих районах происходит в конце июня — начале июля, то станет ясно, что решающее значение принадлежит июньской погоде, так как подготовка к закладке почек пихты и начальные этапы формирования мужских и женских генеративных зачатков падает на июнь. Вполне возможно, что в более северных широтах, где развитие растений идет с некоторым отставанием в сроках, погода июля может иметь большее значение для урожаев. Однако у ели и пихты в этом отношении различие должно сохраниться даже и в том случае, если они произрастают рядом, так как генеративные почки у ели закладываются позже, чем у пихты.

Однако мы не считаем, что погода июня является единственным и решающим фактором будущего урожая, так как нет никакого сомнения, что условия, в которых происходит дальнейшее развитие заложенных генеративных зачатков, могут либо способствовать формированию из них мужских и женских шишек, либо погубят часть их еще до цветения. Правда, конкретных данных по этому вопросу для пихты нет и этот вопрос еще требует доработки. Тем не менее, погода июня является самой важной для урожая, так как она определяет исходное, максимально возможное количество зачатков, которое в дальнейшем может только уменьшаться и никогда, при самых благоприятных условиях, не может увеличиваться. Погода июня определяет верхнюю границу урожая. Особенности погоды этого месяца удобно использовать

как показатель для предварительного прогнозирования урожая за год до созревания семян.

В заключение отметим, что на текущий урожай у пихты влияет величина предшествующего урожая, как это известно и для других древесных пород. В хороший семенной год, когда на рост шишек и семян расходуется много питательных веществ, закладка новых генеративных зачатков будет всегда незначительной даже при благоприятной погоде.

В настоящее время заготовка семян пихты ведется в незначительных количествах. Так, в 1956 г. лесхозы Томского управления лесного хозяйства заготовили лишь 461 кг, а Новосибирского — 483 кг семян пихты. Несколько предшествующих лет в Новосибирской области семена пихты вообще не собирались.

Объясняется это не только недооценкой пихты, но и нежеланием тратить труд и средства на сбор семян с плохими посевными качествами. Причины же низкой всхожести семян не вполне ясны, и во всяком случае нет данных о том, как их преодолеть.

Наше исследование раскрыло некоторые стороны биологии плодоношения пихты и одновременно выявило вопросы, над которыми необходимо в дальнейшем работать, чтобы дать лесному хозяйству рекомендации по использованию пихтовых семян в лесокультурных целях.

Установлено, что качество семян пихты резко снижается вследствие зараженности их вредителями, в других случаях низкую всхожесть имеют внешне здоровые семена. Имеются отдельные непроверенные наблюдения, что семена пихты будто бы повреждаются ранними осенними заморозками. С другой стороны, известно, что они быстро теряют всхожесть при хранении. Все эти вопросы и должны быть решены как первоочередные в целях организации специальных пихтовых лесосеменных хозяйств. Нужно изучить также посевные качества семян пихты из отдельных районов, чтобы правильно выбрать места для таких хозяйств.

Для прогнозирования урожая нужно изучить влияние осенних и весенних погодных условий на формирование генеративных органов. Особенно интересные материалы по биологии плодоношения пихты сибирской могут дать исследования на ее северном пределе распространения.

Пихта, дающая ценное химическое сырье, заслуживает внимания лесоводов и должна быть всесторонне изучена.

Западно-Сибирский филиал
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20/II 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Некрасова, Н. Г. Сакович, Урожай семян хвойных древесных пород в Кривошеинском и Пышкино-Троицком лесхозах Томской области в 1955 г. Тр. по лесному хозяйству Зап. Сибири, вып. 3. Изд. ЗСФАН СССР и НТО Леспром, Новосибирск, 1957.
2. Д. Н. Данилов, Плодоношение пихты сибирской. Бюлл. МОИП, отд. биол. т. VI, вып. 1, 1951.
3. Г. В. Крылов, Пути улучшения лесов Сибири. Новосибирск, 1955.
4. В. Смирнов, Опыт заготовки семян пихты. Земельный и лесной работник Сибири, № 1, 1929.
5. О. Г. Каппер, Хвойные породы. Гослесбумиздат, М.—Л., 1954.
6. П. Л. Горчаковский, Новые возможности в изучении динамики плодоношения некоторых хвойных. Природа, № 2, 1947.
7. Т. П. Некрасова, К методике изучения динамики плодоношения у хвойных. Изв. вост. филиалов АН СССР, № 6, 1957.

8. Tiren, Lars. On the fruit setting of spruce, its periodicity and relation to temperature and precipitation. Medd. från statens Skogsförsanstalt. N. 28, Stockholm, 1935.
9. Д. Н. Данилов, Периодичность плодоношения и географическое размещение урожая семян хвойных пород. Гослесбумиздат, М.—Л., 1952.
10. Т. П. Некрасова, Семенные годы и проблема прогноза урожая у хвойных древесных пород. Тр. по лесному хозяйству Зап. Сибири, вып. 3. Изд. ЗСФАН СССР и НТО Леспром. Новосибирск, 1957.
11. Г. В. Крылов, Природа лесов Западной Сибири и направление использования и улучшения лесных богатств. Тр. по лесному хозяйству Зап. Сибири, вып. 3, 1957.

М. А. ЛАВОВ

ВЛИЯНИЕ СОБОЛЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ БЕЛКИ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Вопрос о влиянии соболя на численность белки привлекал внимание многих исследователей. В последней монографии о соболе В. В. Тимофеев и В. Н. Надеев [1] указывают, что численность белки не может резко сократиться в результате увеличения количества соболей. Об этом же говорит В. В. Раевский [2]. П. Б. Юргенсон [3], исследовавший воздействие лесной куницы на численность белки в северной тайге, делает вывод, что лесная куница также не влияет сколько-нибудь существенно на численность белки и уж, конечно, его не определяет. Это же положение он высказывает в ссылке редактированной им работы Г. Д. Дулькейта [4]. Кстати, последний придерживается противоположного мнения.

О сокращении численности белки в некоторых участках лиственничного леса Якутии, где была высокая плотность соболя, сообщается в работе Н. Г. Бужковича и Г. Ф. Корнилова [5]. В. Н. Скалон [6] на основании сравнения исторических материалов пришел к выводу, что соболь при крайнем насыщении угодий предельно снижает поголовье белок. Такой же взгляд высказывает А. П. Казаринов [7]. Он утверждает, что в данное время численность белки на Камчатке невелика, она лимитируется соболем.

Можно констатировать, что установившегося мнения по исследуемому вопросу нет.

По нашим данным, в связи с успешными работами по реакклиматизации, охране и планомерному использованию соболя численность и ареал его в Восточной Сибири значительно выросли. Если всего десять-пятнадцать лет назад соболей было так мало, что они не могли оказывать заметного влияния на численность белки, то сейчас положение изменилось. Заготовители и охотники многих районов сообщают, что от расплодившихся соболей заметно сократилось количество белки.

Правильное решение данного вопроса помимо большого научного интереса имеет важное практическое значение в пушном промысле, так как соболь и белка являются главными объектами этой отрасли.

Методика исследования

Наиболее подходящим является метод сравнения плотностей обитания рассматриваемых видов, при котором влияние соболя на численность белки выясняется тремя путями, взаимодополняющими и подтверждающими друг друга.

1. В изолированных лесных массивах, где соболь появился в большом количестве лишь в последние годы, его воздействие на популяцию белки можно выявить, сравнивая численность белки за два периода: когда соболей не было и когда их стало много. Так как прямых указаний о плотности обитания белки найти не удается, можно воспользо-

ваться данными о заготовках беличьих шкурок, учитывая при этом изменения в условиях охотпромысла.

2. Установить влияние соболя на численность белки можно путем сравнения плотностей поголовья этих видов на смежных участках. Для этого необходимо выбрать такие районы, в которых численность соболей была бы различной, а условия для обитания белок были бы примерно равноценными. Между районами должен быть какой-то естественный барьер, препятствующий миграциям белок.

3. Некоторое представление по изучаемому вопросу можно получить из арифметических расчетов, используя для этого данные о плотности соболей и белок в угодьях и встречаемость остатков от белки в пище соболей. При подобных расчетах наиболее точный результат дает использование показателей всех годовых сезонов, но их трудно получить.

Необходимо отметить, что изучение влияния соболя на численность белки методом сравнения плотностей обитания значительно усложняется миграциями белки, проходящими в осенний период. Часто в угодьях, богатых кормами, к зиме скопится большое количество белок и соболей, хотя первые, возможно, приходят сюда из смежных участков, незаселенных соболем. Поэтому выбор изолированных участков леса для наших исследований имеет первостепенное значение.

Материалы и описание наблюдений

1. Хамар-Дабанский хребет в Южном Прибайкалье, где нами были проведены четырехлетние полевые исследования (1952—1955 гг.), оказался удовлетворительным для выяснения поставленной задачи. Плановое расселение соболя здесь было начато в 1939—1940 гг. До этого времени его численность в угодьях была минимальной и он не мог оказывать заметного влияния на белку. К 1947 г. соболь с высокой плотностью (один зверек на 3 км²) заселил все леса северного склона Хамар-Дабана на территории Кабанского района Бурятской АССР. На южных же склонах этого хребта, в пределах Закаменского и Торейского районов, соболь хотя и расселился с небольшой плотностью по угодьям, но вскоре на большей части территории был выловлен охотниками и к 1955 г. занимал лишь одну пятую часть лесной площади. На гребне Хамар-Дабанского хребта имеется сравнительно широкая полоса высокогорной каменистой тундры, в известной мере препятствующая перемещению белок из одного района в другой. Воды Байкала создают Кабанскому району изоляцию еще и с севера. Таким образом, территория этого района, вытянутая в виде узкой полосы с запада на восток, мало доступна для мигрирующих белок. В Кабанском же районе были определены остатки от белок в желудках и экскрементах соболей (исследовано 200 данных).

Применяя метод сравнения, попытаемся выяснить влияние соболя на численность белки на Хамар-Дабане.

В тридцатые годы, когда в угодьях Кабанского района соболей почти не было, численность белок была высокой. Ежегодно добыча белок по району достигала 45,6 тыс. штук при среднегодовом выходе в 20,4 тыс. штук.

После же того как соболь заселил все леса района с большой плотностью, белок стало мало, и их промысел пришел в упадок. Начиная с 1947 г. по 1956 г. заготовки беличьих шкурок не превышают 2,6 тыс. штук при среднегодовом выходе в 1000 штук.

Леса Кабанского района за последнее двадцатилетие не претерпе-

ли заметных изменений. Преобладают в них хорошо плодоносящие, спелые насаждения из кедра, пихты и ели (78,7%). Урожай семян хвойных деревьев — основного беличьего корма — в течение ряда последних лет был удовлетворительным, как и прогноз численности белки, составленный по этому показателю.

В Торейском и Закаменском районах, которые соболь заселяет со средней плотностью (один зверек на 5 км²) лишь на 20% лесной площади, современная численность белок остается на уровне 30-х годов, что подтверждается данными по заготовкам пушнины и сведениями от охотников. Среднегодовой сбор беличьих шкурок за 1932—1940 гг. по этим районам составлял 41,3, а в 1947—1956 гг. — 50,3 тыс. штук. В апреле 1955 г. здесь один зверек приходился на 0,3—0,5 км². Среднегодовой выход добытых белок за 1947—1956 гг. в Кабанском районе составил 2,2 штуки с 10 км², а в Торейском и Закаменском — 48,6 штук, т. е. в 22 раза больше.

Встречаемость остатков от белок в пище соболей по угодьям Кабанского района за зимний период составляет 0,5%. На первый взгляд, казалось бы, что столь незначительная цифра говорит о ничтожном влиянии соболя на популяцию белки. Но при тщательном изучении этого вопроса выясняется совсем другое.

Наблюдая за питанием соболей в неволе и в природных условиях, мы установили, что тушку белки соболь съедает за двое суток. Зная численность зверей в угодьях, где был собран материал по питанию, можно выявить влияние соболя на численность белки по частоте встречаемости ее остатков в пище соболей.

Так, в Кабанском районе на 100 км² лесной площади обитают 33 соболя и 20 белок. Встречаемость же беличьих остатков в пище соболей составляет 0,5%. Если мы предположим, что все приведенные показатели останутся постоянными в течение всех сезонов, то расчет годового количества белок, съеденных соболями, будет следующим:

$$\frac{33 \times 0,5 \times 365}{2 \times 100} = 22 \text{ белки.}$$

Таким образом, за год соболи истребляют в лесах Кабанского района 110% исходного беличьего поголовья. В действительности полного уничтожения белок не наблюдается: принятые нами показатели изменяются по сезонам года. Но точных данных мы не имеем и вынуждены ограничиться приведенным расчетом.

Для сравнения подобные вычисления были сделаны по угодьям Тунгиро-Олекминского района Читинской области, где наши исследования проходили в октябре — декабре 1956 г. Здесь на 100 км² площади леса живут 10 соболей и 410 белок. Встречаемость же беличьих остатков в желудках и экскрементах соболей составляет 9,3% (исследовано 86 данных). Расчет по этому району будет таков:

$$\frac{10 \times 9,3 \times 365}{2 \times 100} = 170 \text{ белок.}$$

Следовательно, за год соболи уничтожат 41,4% беличьих запасов, т. е. в два с лишним раза меньше, чем в угодьях Кабанского района.

Несмотря на грубую схематичность расчетов, мы считаем возможным утверждать, что даже при очень небольшой частоте встречаемости остатков от белок в пище соболей влияние соболя на популяцию белки в Кабанском районе очень велико.

2. Ряд материалов по исследуемому вопросу был получен нами в

угодьях Баргузинского и Икатского хребтов, где полевые работы проводились зимой 1950—1951 гг. и в октябре — ноябре 1951 г.

На Баргузинском хребте соболь с большой плотностью (один зверек на 2—3 км²) расселился в середине 30-х годов, чему способствовало наличие Баргузинского заповедника, имеющего благоприятные условия для обитания соболя (преобладание темнохвойной тайги с зарослями кедрового стланца).

Несколько позднее соболи распространились в лесах Икатского хребта. Но здесь они не достигли высокой плотности из-за неблагоприятных условий: сосновые насаждения малокормны для соболя. Средняя плотность обитания соболя на Икатском хребте равна одному зверьку на 6 км². Здесь имеется широкая полоса леса, занимающая до 30% площади, на которой соболи почти не обитают.

До середины 30-х годов в угодьях Баргузинского хребта (особенно на западных его склонах) численность белок была большая и обеспечивала интенсивный их промысел. Тогда, по сообщениям старожилов-охотников Д. С. Малыгина, Н. Е. Молчанова, А. Н. Королева и Е. А. Шелковникова, добывалось за сезон по 200—400 белок на человека. За последние двадцать лет на Баргузинском хребте промысел пришел в упадок. Эти же охотники отстреливают за сезон всего по 10—12 белок.

На учетном маршруте в 35 км, проложенном с собакой на западном склоне Баргузинского хребта вблизи границы заповедника, был отмечен лишь один беличий след. В сосняках же восточного склона, где соболь редок, на 10 км маршрута встречалось по две-три белки.

На Икатском хребте в текущем десятилетии численность белок сохраняется на уровне 30-х годов. Не разнятся и результаты беличьего промысла. На стенах старых охотничьих избышек обнаружены записи, в которых говорится о сезонной добыче на одного промысловика по 150—200 белок за 1932—1935 гг. Эта же норма отстрела сохранилась до последних лет. Учет белки на маршрутах с собакой показал ее плотность осенью 1950 г. равной 7 штукам на 10 км маршрута.

К сожалению, у нас нет достаточного количества собственных данных по питанию соболя в рассматриваемых угодьях. Но интересное сравнение можно сделать по результатам анализа питания, проведенного в Баргузинском заповеднике. С. С. Фолетарек [8] исследовал желудки соболей, добытых в период с 1923 по 1934 г., а В. К. Тимофеев [9] анализировал соболиные экскременты, собранные с 1935 по 1937 г. При этом первый обнаружил остатки от белок в 14,6% случаев, а второй — лишь в 0,5%.

Уже по приведенным цифрам можно судить, что в конце 20-х и начале 30-х годов в угодьях Баргузинского хребта обитало много белок и соболи, успешно добывая их, тем самым в какой-то мере снижали численность этих грызунов. В дальнейшем белок стало здесь мало и уничтожение их соболями даже в небольшом количестве оказывало сильное влияние на популяцию, подобно тому как мы видели это на примере Кабанского района.

3. Тунгиро-Олекминский район Читинской области характеризуется преобладанием лиственничных лесов. Соболи были завезены сюда для расселения лишь в последнее пятилетие и к зиме 1956—1957 гг. заселили около одной трети территории.

По сообщению местных охотников, в августе — сентябре 1956 г. в угодьях района наблюдалась массовая перекочевка белок из одних мест в другие, что было связано с мозаичным распределением участков леса с хорошим плодоношением лиственницы. Зверьков находили в на-

селенных пунктах и видели переплывающими через реку Тунгир. Миграция белок помешала нам провести опыты.

Для выяснения влияния соболя на численность белки и некоторых других промысловых животных нами были заложены две учетные площадки с разной плотностью соболей. Площадки включали одинаковые типы лиственничного леса и находились в 60 км одна от другой. На первой из них наблюдалось удовлетворительное плодоношение лиственницы, и здесь ее семена служили основным кормом для белок, чего нельзя сказать в отношении второй, где был полный неурожай листвен-

Таблица 1

Виды животных	Сколько особей обитает на 10 км ² площади	
	учетн. площадь № 1,200 км ²	учетн. площадь № 2,96 км ²
Соболь	1,3	0,7
Белка	41,0	10,0
Заяц бел.	1,8	2,9
Колонка	0,3	1,4
Глухарь	0,4	1,3
Рябчик	3,8	5,6

Таблица 2

Участки района	Средние результаты добычи белок на охотника в шт.	
	дневные	двух-месячные
Верхнее течение р. Тунгир		
Места обитания соболя	3,5	210
Среднее течение р. Тунгир		
Соболя нет	5,0	300

ной добычи белок бригадами охотников из колхоза имени XVIII партсъезда, промышлявших в октябре — декабре 1956 г. в разных участках района (табл. 2).

Из приведенных цифр видно, что в местах обитания соболя средние результаты беличьего промысла на 30% ниже, чем в участках, где соболь не живет. При этом повсюду добывают лишь одних белок.

Обсуждение полученных данных

Соболь является эврифагом. Помимо полевков, мышей, землероек, леммингов, пищух, бурундуков, белок, летяг, зайцев, различных видов птиц, некоторых перепончатокрылых, он поедает корма растительного происхождения — орешки кедра и кедрового стланца, ягоды брусники, черники, голубицы, рябины, черемухи и других растений. Рассматривая соболя как хищника, а белку как жертву, мы не должны забывать и этого фактора. В лесах, где белок много, они играют известную роль в питании соболя, но там, где их мало, они сободем почти не добываются.

ничей шишки и белки питались грибами, почками и другими малопитательными кормами. Различие в кормовых условиях явилось причиной неодинакового распределения белок по угодьям и не позволило сделать выводов о влиянии соболя на численность белки на учетных площадках. Данные учета соболя и других промысловых животных на площадках приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с увеличением количества соболей снижается плотность обитания зайца-беляка, колонка, глухаря и рябчика. При этом особенно заметна разница в численности колонка и глухаря.

Мы не располагаем учетными данными по белке для той части Тунгиро-Олекминского района, где соболь пока не обитает, но в нашем распоряжении имеются цифры дневной и двухмесяч-

Поголовье соболя от этого мало страдает, и его плотность определяется другими факторами.

Как показывают результаты анализа, соболь поедает белку во все периоды года, хотя в несколько неодинаковом количестве. В частности, А. В. Кондратов [10] определил частоту встречаемости остатков от белки в экскрементах соболя: зимой — 9,8%, весной — 7,0%, летом — 14,0%. В. В. Раевский [2] утверждает, что зимой в экскрементах соболя встречается 4,3% остатков от белки, летом — 7,3%.

В задачу наших исследований не входил детальный анализ влияния соболя на численность белки по периодам года: предполагалось лишь установить, в каких угодьях это явление имеет выраженный характер.

Применяя метод сравнения, мы могли убедиться, что в частично изолированных лесах северного склона Хамар-Дабанского и Баргузинского хребтов с высокой плотностью соболей популяция белок разрежена и долго (более 10 лет) не восстанавливается, несмотря на благоприятные природные условия.

В ряде угодий (Икатский хребет, южный склон Хамар-Дабана), где соболь не достиг высокой плотности поголовья и не занимает полностью всей территории, он не оказывает заметного воздействия на численность белки.

Из-за отсутствия достаточного количества фактов нами окончательно не выяснена роль соболя в динамике численности белки для северных лиственничных лесов. Но можно предположить, что и здесь при некотором увеличении плотности поголовья соболя и заселении им всей территории популяция белки будет разрежена.

Анализируя современное распределение и плотность обитания соболей по районам Восточной Сибири, мы видим, что в большинстве мест этот вид не занимает полностью всей лесной площади из-за интенсивного охотничьего промысла и не достигает столь высокой плотности, при которой он оказывал бы определяющее влияние на численность белки. Но в некоторых участках такое влияние имеется. Популяция белок здесь так разрежена, что беличий промысел потерял значение. Сюда можно отнести, кроме угодий Кабанского района и Баргузинского хребта, также южную часть Слюдянского района Иркутской области и леса Северо-Байкальского нагорья (Киренский и Мамско-Чуйский районы Иркутской области и Северо-Байкальский район Бурятской АССР).

В заключение следует отметить, что изучение влияния соболя на численность других таежных промысловых животных начато недавно. Исследование этого вопроса должно быть продолжено и расширено с целью выяснения экономической целесообразности разведения соболей до высокой плотности поголовья, особенно кражей невысокого качества.

Выводы

1. В отдельных изолированных угодьях, где поголовье соболей достигает большой плотности (один зверек на 2—3 км²), популяция белок разрежена и не восстанавливается в численности, несмотря на благоприятные условия существования.
2. Соболь не оказывает заметного воздействия на численность белки в лесах, где он не достиг высокой плотности обитания и не заселяет всей территории полностью, за исключением северных лиственничных насаждений, в отношении которых этот вопрос окончательно не решен.

Восточно-Сибирское отделение
научно-исследовательского института
животного сырья и пушнины

Поступила в редакцию
1/III 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Тимофеев, В. Н. Надеев, Соболь. М., 1955.
2. В. В. Раевский, Жизнь Кондо-Сосьвинского соболя. М., 1947.
3. П. Б. Юргейсон, О влиянии лесной куницы на численность белки в северной тайге. Зоологический журнал, т. XXXIII, вып. 1, М., 1954.
4. Г. Д. Дулькейт, Вопросы экологии и количественного учета соболя. М., 1957.
5. Н. Г. Буякович, Г. Ф. Корнилов, Соболь в Якутии. Якутск, 1948.
6. В. Н. Скалон, Русские землепроходцы XVII века в Сибири. М., 1951.
7. А. П. Казаринов, Соболь Дальнего Востока. Хабаровск, 1954.
8. С. С. Фолитарек, Материалы по питанию баргузинского соболя. Тр. Баргузинского Гос. заповедника, вып. 1, М., 1948.
9. В. К. Тимофеев, Экология баргузинского соболя. Тр. Баргузинского Гос. заповедника, вып. 1, М., 1948.
10. А. В. Кондратов, Питание уральских соболей. Тр. МПМИ, т. V, М., 1954.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
3	2 см. в подписи под рис. 1	пластичных деформаций	пластических деформаций
4	3 см. в подписи под рис. 2	t_c — температура направляющей в момент времени τ	t_c — температура направляющей в момент времени τ
4	в обозначениях на клише рис. 2	t_c	t_c
4	3 снизу	$t_n - t_c$	$t_n - t_c$
5	13 сверху	длину l	длину l_c
5	7 снизу в формуле (5)	δ_1	σ_1
11	9 снизу	(рис. 6,а)	(рис. 5,а)
17	19—20 сверху	где q — «цена» тонна-метра грузоперевозок по данным табл. 1	где q — «цена» перевозки 1 м ³ угля на 1 пог. м по данным табл. 1
18	3 сверху	стоимость отвалообразования на 1 м ³ угля	стоимость отвалообразования угля
48—49	Вклейка	Рис. 6. Микроструктура образца из массы 1,34.	Рис. 6. Микроструктура образца из массы 1,34 л.
50	9—10 снизу (к [6])	Тр. ВИСМ, 1931.	Тр. ВИСМ, вып. 3, 1931.
54	11 сверху	для $T=0$ и $\neq 0$	для $T=0$ и $T_0 \neq 0$
54	В подписи к рис. 4	$x_d = 0,3; x_c = 0;$	$x_d = 0,3; x_c = 0,5;$
55	3 сверху	для $T_0 = 0,01$	для $T = 0$
60	11—12 снизу	сульфаниловая кислота + 0,2 М бензойная кислота + 0,2 М	сульфаниловая кислота; 0,2 М бензойная кислота + 0,2 М NaCl.
62	8 сверху	φ^{VI}	ψ^{IV}
65	4 снизу (к [6])	ge ^{VI}	ge ^{IV}
66	4 сверху (к [10])	Изд. Московского ин-та, 1952.	Изд. МГУ, 1952.
69	21 снизу	$P_a = \frac{Ne^2 f i}{3\pi m v_i^2}$	$P_a = \frac{Ne^2 f i}{3\pi m v_i^2}$
70	5 сверху	в рядах Li — Na — K — Rb и F — Cl — Br — J	в рядах Li — Na — K — Rb и F — Cl — Br — J
73	заголовок табл. 2	опытные данные при n'	опытные данные при n_1
74	1 сверху	$c_4 = 100 - \frac{c_3}{c_0} c_1$	$c_4 = 100 - \frac{c_3}{c_0} c_1$
74	2, 3 сверху	n_1	n_1
74	Подписи под рис. 1 и 2		подписи под рис. 1 и 2 следует поменять местами
79	15 снизу	CaSO_4 Na_2CO_3	CaSO_4 Na_2SO_4
85	табл. 4, гр. Σ	25,46	30,46
85	табл. 5, гр. Σ	30,85	26,71
86	табл. 7, гр. «Сумма»	31,6130	30,6130

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
104	Примеч. к табл. 1	для слоя 0—1000 см равная	для слоя 0—100 см равна
110	10 сверху	Поверхность почвы — 15000 м ²	Поверхность почвы 5000 м ² ,
111	6 сверху	(началась 1 стадия его)	Началась II стадия периода снеготаяния
111	6 снизу	в слое <i>m</i>	в слое 1 м
112	19—20 снизу	данного водоупора	донного водоупора
112	14 снизу	данного водоупора	донного водоупора
114	12 сверху	1063,1 : 642,8	1062,1 : 642,8
119	11—12 сверху	гнездовые	гнездовые
140	4 снизу	голубицы	голубики
143	17 сверху	М. И. Масакина	М. И. Масакина

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

В. Д. Орешкин. Внутренние напряжения в отливках	3
Н. Г. Капустин. Система расчетов для проектного обоснования мощности карьера	13
В. Т. Дзюбенко. Метод выбора формы шита и его положения в пласте	24
В. С. Каминский, В. И. Коршунов, М. С. Соколова. Обогащение Бурейских углей методами центробежной сепарации и комбинированными	34
А. Т. Логвиненко, Э. В. Федорова. Безобжиговый тальковый кирпич и периклазо-форстеритовый огнеупор из тальков Красноярского края	44
Э. С. Лукашов. О самовозбуждении синхронной машины с регулятором	51

ХИМИЯ

Н. В. Сташкова, А. И. Зелянская. Полярографическое определение германия	59
С. С. Бацанов, В. И. Дураков. Определение ионности связей из поляризационных данных (предварительное сообщение)	67
Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Масакина. Алкилирование моноизопротилбензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия	72
А. Г. Василевская. Двойные соединения из сульфатов кальция и натрия и их роль в формировании природного тенардита	76

БИОЛОГИЯ

С. Н. Селяков, И. Г. Зальцман. Четвертичные погребенные почвы Приобского плато	91
В. П. Панфилов. О влажности завядания растений на каштановых почвах Центральной Кулунды	103
В. К. Брылев. Увлажнение почвы талыми водами в Приобской лесостепи	107
Н. М. Савельев. О биологических основах повышения семенной продуктивности люцерны	117
Т. П. Некрасова, Н. Г. Сакович. Плодоношение пихты сибирской (сообщение 2-е)	130
М. А. Лавов. Влияние соболя на численность белки в Восточной Сибири	136

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать актуальные проблемы науки и техники за последние два-три года.
2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа (1 авторский лист — 1 машинописная страница с 24 строками и 60 знаками в строке) 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. Корректурa дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректурa 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 одинаковое 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. 428 — редакции журнала.

Технический редактор Н. М. Потоцкая.

Корректоры: В. А. Просвирина, Р. Э. Вильнер.

МН 02728. Подписано к печати 29 января 1959 г. Тираж 1200. Заказ 1. Формат бумаги 70 × 108/16
— 4,5 бум. л., 12,33 печ. л., + 2 вклейки, 13,5 изд. л.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР. Советская, 20. Типография № 1
Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

Цена 7 руб.