

п-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

2

НОВОСИБИРСК

1962

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА

- И. М. Виленский. Экономическая эффективность использования вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе 3

ТЕХНИКА

- А. Я. Александров. Некоторые соответствия между функциями напряжений осесимметричной и плоской задач теории упругости и решение осесимметричной задачи для бесконечного полого тяжелого конуса 15
С. И. Шабанов, Е. В. Колбасов. Исследование высокоскоростного термического разложения топлив в периодически действующей установке с твердым теплоносителем на примере черновского угля 25
В. П. Окладников, Е. А. Клепикова, А. С. Галаганова. Изменение связующих свойств фусов и тяжелой смолы полукоксования черемховских углей при разгонке и окислении 31
Л. Н. Жданкович, Т. Н. Комарова. Получение офлюсованных окатышей из коршуновских концентратов 37

ХИМИЯ

- А. Н. Киргинцев. Флуктуационная модель бинарного раствора. Сообщение I 43
В. К. Вальцев, Е. Д. Озгашвили, Л. К. Соловьев. Зонная кристаллизация редкоземельных элементов из некоторых расплавленных солей 53
Н. Н. Семенов, Т. В. Заболоцкий. О поведении углекислого лития при нагревании 58
И. В. Фришберг, А. С. Микулинский. О перспективах развития силикотермического способа производства магния 63
И. Е. Быков. Быстрокапающие полярнографические капилляры 67

БИОЛОГИЯ

- Г. В. Крылов. Современное состояние и задачи лесных наук в СССР и в зарубежных странах 67
И. Е. Быков. Быстрокапающие полярнографические капилляры 81
В. П. Панфилов. К вопросу о доступности растениям почвенной влаги 90
А. Н. Сакс. Сравнительная морозоустойчивость видов и сортов земляники 97
В. И. Габеев. Культуры лиственницы сибирской на дерново-подзолистых почвах 105

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Г. П. Зайцев. Об условиях 110
Г. В. Шишкин, В. Г. 112
И. М. Батяев, С. В. 113
Л. Р. Бацанова, Г. 115
М. Ф. Ляпунов, К. в 118
Д. М. Антер, Ф. И. 120
С. Н. Рябченко, В. 122
И. И. Гительзон, И. 125
Л. А. Уткин. Рецензия 127
И. А. Яворский. О кни 128
Ю. П. Грачев. Совещан 131

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

2

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1962

Н. М. ВИЛЕНСКИЙ

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ПРОЕКТИРУЕМОМ ЗАВОДЕ

Народнохозяйственный эффект от использования вторичных энергоресурсов в большой степени зависит от принятого направления утилизации: теплотехническое, электроэнергетическое, комбинированное. Под теплотехническим направлением утилизации понимается использование вторичных энергоресурсов в системе теплоснабжения для производственного теплопотребления, отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. Электроэнергетическое направление утилизации предусматривает использование вторичных энергоресурсов для выработки электроэнергии. Комбинированное направление предполагает подачу утилизационного пара на теплофикационные турбоустановки, где часть тепла вторичных энергоресурсов используется для выработки электроэнергии, а другая часть — для теплоснабжения.

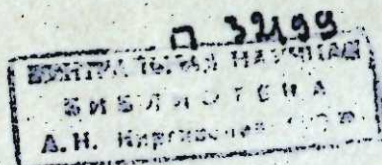
Выбор рационального направления использования вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе должен производиться на этапе разработки конкурентноспособных схем энергоснабжения предприятия: раздельная, комбинированная с противоаварийными турбинами на ТЭЦ, комбинированная с турбоагрегатами КО и т. д. Для каждой рассматриваемой схемы энергоснабжения следует определить соответствующее ей наименее выгодное направление и способ утилизации.

При сооружении утилизационной установки одновременно с созданием завода использование вторичных энергоресурсов приведет как к сокращению нагрузки, так и к уменьшению установленной мощности проектируемых заводских энергоустановок и замещаемой районной электростанции. За счет утилизации вторичных энергоресурсов будет получена не только экономия топлива, как это происходит при сокращении нагрузки действующей энергоустановки, но и экономия всей суммы текущих затрат, равная издержкам на производство замещаемой энергии.

Утилизационные установки покрывают базисную часть суммарного графика нагрузки и вытесняют основные энергоустановки в пиковую часть графика. Показателями экономической эффективности использования вторичных энергоресурсов являются экономия текущих расходов и суммарные капитальные затраты.

Рассмотрим показатели экономической эффективности использования вторичных энергоресурсов для возможных направлений утилизации при различных схемах энергоснабжения завода.

Если принять раздельную схему энергоснабжения завода с получением тепла от центральной котельной, а электроэнергии от районной конденсационной электростанции, то в результате теплотехнического использования вторичных энергоресурсов сократится годовой отпуск теп-



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Адрес редакции: г. Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401.

ла и потребная установленная мощность центральной котельной. Затраты на производство электроэнергии останутся без изменения.

Экономия текущих затрат в этом случае равна затратам на производство тепла в центральной котельной в количестве, равном расходу тепла, отпускаемого утилизационными установками, за вычетом, во-первых, расходов на эксплуатацию утилизационных установок, во-вторых, увеличения себестоимости тепла в котельной, вызываемого снижением ее установленной мощности и изменением графика нагрузки в связи с использованием вторичных энергоресурсов для теплоснабжения.

$$\Delta_{\text{ут}} = Q_{\text{ут}}^{\text{т}} c_{\text{т}}' - Q_{\Sigma} (c_{\text{т}}' - c_{\text{т}}) - S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right], \quad (1)$$

$Q_{\text{ут}}^{\text{т}} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{год}} \right]$ — количество тепла, отпускаемого в год утилизационными установками;

$Q_{\Sigma} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{год}} \right]$ — потребный годовой отпуск тепла центральной котельной при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы;

$c_{\text{т}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал}} \right]$ — себестоимость тепла, отпускаемого центральной котельной при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы;

$c_{\text{т}}' \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал}} \right]$ — себестоимость тепла, отпускаемого центральной котельной при использовании вторичных энергоресурсов для теплоснабжения;

$S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right]$ — годовые расходы на эксплуатацию утилизационной установки.

Суммарные капитальные затраты, необходимые для организации теплотехнического использования вторичных энергоресурсов на заводе с проектируемой раздельной схемой энергоснабжения:

$$K_{\Sigma}^{\text{т}} = K_{\text{ут}}^{\text{т}} - B_{\text{ут}}^{\text{т}} \Delta \kappa_{\text{т}} - \kappa_{\text{ук}} Q_{\text{ут}}^{\text{т}} + (\kappa_{\text{цк}} - \kappa_{\text{цк}}') (Q_{\Sigma} - Q_{\text{ут}}^{\text{т}}) \cdot [\text{руб}], \quad (2)$$

где $K_{\text{ут}}^{\text{т}} [\text{руб}]$ — капитальные вложения в утилизационную установку;

$B_{\text{ут}}^{\text{т}} \left[\frac{\text{т}}{\text{год}} \right]$ — годовая экономия условного топлива, полученная в результате теплотехнического использования вторичных энергоресурсов;

$\Delta \kappa_{\text{т}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{т/год}} \right]$ — удельные капитальные вложения в добычу и транспорт условного топлива, замещаемого теплом вторичных энергоресурсов;

$\kappa_{\text{цк}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал/ч}} \right]$ — удельные капиталовложения в центральную котельную при условии, что вторичные энергоресурсы не будут использоваться для теплоснабжения;

$\kappa_{\text{цк}}' \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал/ч}} \right]$ — удельные капиталовложения в центральную котельную при использовании вторичных энергоресурсов для теплоснабжения, в результате чего сократится производительность котельной;

$Q_{\text{ут}}^{\text{т}} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{ч}} \right]$ — часовая производительность утилизационной установки;

$Q_{\Sigma} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{ч}} \right]$ — расчетный часовой отпуск тепла центральной котельной при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы.

В уравнении (2) произведение $B_{\text{ут}}^{\text{т}} \Delta \kappa_{\text{т}}$ определяет уменьшение капиталовложений в добычу и транспорт топлива, вызванное использованием вторичных энергоресурсов; произведение $\kappa_{\text{цк}} Q_{\text{ут}}^{\text{т}}$ — уменьшение капиталовложений в центральную котельную; член $(\kappa_{\text{цк}} - \kappa_{\text{цк}}') (Q_{\Sigma} - Q_{\text{ут}}^{\text{т}})$ учитывает, что из-за использования вторичных энергоресурсов сокращается потребная производительность центральной котельной и возрастают удельные капитальные затраты.

С помощью уравнений (1), (2) может быть определена экономия текущих расходов, суммарные капитальные затраты при использовании вторичных энергоресурсов для привода рабочих машин в условиях любой проектируемой схемы энергоснабжения завода.

Теплотехническое использование вторичных энергоресурсов на заводе с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения приведет к сокращению потребной отдачи тепла и установленной мощности заводской ТЭЦ. Заводская ТЭЦ должна специализироваться на производстве электроэнергии по теплофикационному циклу, уменьшение отдачи тепла сокращает выработку электроэнергии на тепловом потреблении. Соответственно увеличится производство электроэнергии и установленная мощность районной электростанции.

Экономия текущих расходов, которая будет получена в результате осуществления теплотехнического направления утилизации вторичных энергоресурсов на заводе с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения, составит:

$$\Delta_{\text{ут}}^{\text{т}} = Q_{\text{ут}}^{\text{т}} c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - Q_{\Sigma} (c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - c_{\text{т}}^{\text{тэц}}) - W_{\text{тэц}} (c_{\text{э}}^{\text{тэц}} - c_{\text{э}}^{\text{тэц}}) \cdot 10 - y_{\Sigma} Q_{\text{ут}}^{\text{т}} (c_{\text{э}}^{\text{кэс}} - c_{\text{э}}^{\text{тэц}}) \cdot 10 - S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right], \quad (3)$$

где $c_{\text{т}}^{\text{тэц}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал}} \right]$ — себестоимость тепла, отпускаемого ТЭЦ, при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы;

$c_{\text{т}}^{\text{тэц}}' \left[\frac{\text{руб}}{\text{Мккал}} \right]$ — себестоимость тепла, отпускаемого ТЭЦ при использовании на заводе вторичных энергоресурсов для теплоснабжения;

$W_{\text{тэц}} \left[\frac{\text{Мвт} \cdot \text{ч}}{\text{год}} \right]$ — годовой отпуск электроэнергии от ТЭЦ при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы;

$c_{\text{э}}^{\text{тэц}} \left[\frac{\text{коп}}{\text{квт} \cdot \text{ч}} \right]$ — себестоимость электроэнергии, отпускаемой от ТЭЦ, при условии, что на заводе не используются вторичные энергоресурсы;

$c_{\text{э}}^{\text{тэц}}' \left[\frac{\text{коп}}{\text{квт} \cdot \text{ч}} \right]$ — себестоимость электроэнергии, отпускаемой от ТЭЦ, при использовании на заводе вторичных энергоресурсов для теплоснабжения (меньшая мощность ТЭЦ, чем без утилизации, и более пиковый характер нагрузки);

$c_{\text{э}}^{\text{кэс}} \left[\frac{\text{коп}}{\text{квт} \cdot \text{ч}} \right]$ — себестоимость электроэнергии на замещаемой районной электростанции с учетом затрат на передачу от КЭС до завода;

$y_{\Sigma} \left[\frac{\text{Мвт} \cdot \text{ч}}{\text{Мккал}} \right]$ — удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для замещаемого отбора.

Экономия годовых текущих расходов равна затратам ТЭЦ на производство тепла в количестве, соответствующем расходу тепла, отпус-

каемого утилизационными установками, за вычетом следующих величин: во-первых, расходов на эксплуатацию утилизационных установок; во-вторых, увеличения себестоимости тепла, отпускаемого ТЭЦ, что вызывается снижением установленной мощности и изменением графика нагрузки из-за использования вторичных энергоресурсов для теплоснабжения; в-третьих, увеличения себестоимости электроэнергии на ТЭЦ; в-четвертых, изменения затрат, вызываемого тем, что часть расхода электроэнергии будет подаваться не от ТЭЦ, а из районной энергосистемы.

Суммарные капитальные затраты, необходимые для осуществления теплотехнического использования вторичных энергоресурсов на заводе с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения, равны.

$$K_{\Sigma}^T = K_{\text{ут}} - B_{\text{ут ТЭЦ}}^T \Delta \kappa_{\text{ТТ}} - B_{\text{ут КЭС}}^T \Delta \kappa_{\text{ТТ}} - y_{\Sigma} Q_{\text{ут}}^T (\kappa_{\text{ТЭЦ}} - \kappa_{\text{КЭС}}) \cdot 10^3 \text{ [руб]}, \quad (4)$$

где $\Delta \kappa_{\text{ТТ}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{т/год}} \right]$ — удельные капитальные затраты на добычу и транспорт условного топлива, поступающего на районную КЭС;

$\kappa_{\text{ТЭЦ}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{квт}} \right]$ — удельные капиталовложения в заводскую ТЭЦ;

$\kappa_{\text{КЭС}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{квт}} \right]$ — удельные капиталовложения в районную КЭС с учетом затрат на сооружение линии электропередачи от КЭС до завода и с учетом увеличения потребной электрической мощности для покрытия потерь на передачу электроэнергии от КЭС до завода.

Проектная экономия ежегодных затрат при электроэнергетическом направлении использования вторичных энергоресурсов составляет

$$\mathcal{E}_{\text{ут}} = W_{\text{ут}} c_{\Sigma}^{\text{КЭС}} 10 - S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right], \quad (5)$$

где $W_{\text{ут}} \left[\frac{\text{Мвт} \cdot \text{ч}}{\text{год}} \right]$ — годовое количество электроэнергии, отпускаемое утилизационной установкой.

Организация электроэнергетического использования вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе приведет к сокращению отдачи электроэнергии от районной конденсационной электростанции и повлечет за собой уменьшение ее мощности. Установленная мощность и отдача электроэнергии заводской ТЭЦ не уменьшатся, поскольку заводская ТЭЦ должна производить электроэнергию на тепловом потреблении.

Суммарные капитальные затраты, необходимые для осуществления на проектируемом заводе электроэнергетического использования вторичных энергоресурсов:

$$K_{\Sigma}^{\Sigma} = K_{\text{ут}} - \frac{W_{\text{ут}}}{h_{\text{ут}}^{\Sigma}} \kappa_{\text{КЭС}}^{\Sigma} 10^3 - B_{\text{ут}}^{\Sigma} \Delta \kappa_{\text{ТТ}} \text{ [руб]}, \quad (6)$$

где $K_{\text{ут}} \text{ [руб]}$ — капитальные вложения в утилизационную установку, включающие и единовременные затраты на утилизационную турбину и электрогенератор;

$h_{\text{ут}}^{\Sigma} \text{ [ч]}$ — число часов использования установленной мощности электрогенерирующей утилизационной установки.

Комбинированное использование вторичных энергоресурсов при

раздельной схеме энергоснабжения проектируемого завода приведет как к снижению потребной производительности центральной котельной, так и к уменьшению отдачи электроэнергии от замещающей районной электростанции.

Экономия ежегодных затрат.

$$\mathcal{E}_{\text{ут}}^{\text{ком}} = Q_{\text{ут}}^{\text{ком}} \left[a \sigma_{\text{т}} c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - (1 - a) \frac{c_{\Sigma}^{\text{КЭС}} 10}{g_{\Sigma}^{\text{ком}} \text{ ут}} \right] - Q_{\Sigma} (c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - c_{\text{т}}) - S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{год}} \right]. \quad (7)$$

Суммарные капитальные затраты.

$$K_{\Sigma}^{\text{ком}} = K_{\text{ут}} - \kappa_{\text{ук}} a \sigma_{\text{т}} Q_{\text{ут}}^{\text{ком}} - B_{\text{ут т}}^{\text{ком}} \Delta \kappa_{\text{ТТ}} - \frac{W_{\text{ут}} 10^3}{h_{\Sigma}} \kappa_{\text{КЭС}}^{\text{ком}} - B_{\text{ут в}}^{\text{ком}} \Delta \kappa_{\text{ТТ}} \text{ [руб]}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{ут}}^{\text{ком}} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{год}} \right]$ — расход тепла вторичных энергоресурсов, используемого по комбинированному направлению, в год;
 $Q_{\text{ут}}^{\text{ком}} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{ч}} \right]$ — то же, в час;

a — доля тепла вторичных энергоресурсов, используемого по комбинированному направлению, которая затрачивается на теплоснабжение [1];

$\sigma_{\text{т}}$ — доля расхода тепла вторичных энергоресурсов, выходящего из противодавления или отбора утилизационной турбины, которая используется в системе теплоснабжения [2];

$g_{\Sigma}^{\text{ком}} \left[\frac{\text{Мккал}}{\text{Мвт} \cdot \text{ч}} \right]$ — удельный расход тепла на производство электроэнергии утилизационной теплофикационной паротурбинной установкой;

$B_{\text{ут т}}^{\text{ком}} \left[\frac{\text{т}}{\text{год}} \right]$ — экономия условного топлива, получаемая в результате использования вторичных энергоресурсов в системе теплоснабжения [1];

$B_{\text{ут в}}^{\text{ком}} \left[\frac{\text{т}}{\text{год}} \right]$ — экономия условного топлива от производства электроэнергии [1].

Когда при проектировании принимается энергоснабжение завода от собственной ТЭЦ, то в результате комбинированного использования вторичных энергоресурсов будет достигаться экономия текущих затрат за счет уменьшения производительности ТЭЦ и районной конденсационной электростанции. Определив экономию текущих затрат от уменьшения производительности заводской ТЭЦ с помощью уравнения (3), а экономию текущих затрат от уменьшения производительности районной КЭС с помощью уравнения (5), получим зависимость, характеризующую экономию ежегодных расходов при комбинированном направлении использования вторичных энергоресурсов для завода с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения:

$$\mathcal{E}_{\text{ут}}^{\text{ком}} = Q_{\text{ут}}^{\text{ком}} \left[a \sigma_{\text{т}} c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - y_{\Sigma} a \sigma_{\text{т}} (c_{\Sigma}^{\text{тэц}} - c_{\Sigma}^{\text{КЭС}}) 10 + (1 - a) \frac{c_{\Sigma}^{\text{КЭС}} 10}{g_{\Sigma}^{\text{ком}} \text{ ут}} \right] - Q_{\Sigma} (c_{\text{т}}^{\text{тэц}} - c_{\text{т}}^{\text{тэц}}) W_{\text{тэц}} (c_{\Sigma}^{\text{тэц}} - c_{\Sigma}^{\text{тэц}}) 10 - S_{\text{ут}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{ч}} \right]. \quad (9)$$

Суммарные капитальные затраты для осуществления комбинированного использования вторичных энергетических ресурсов на заводе с проектируемой системой энергоснабжения от ТЭЦ (при связи с энергосистемой) равняются капитальным затратам на собственно утилизационную установку за вычетом изменения капитальных вложений в заводскую ТЭЦ, районную КЭС и линию электропередачи, добычу и транспорт топлива. Пользуясь формулами (4) и (6), получим уравнение, определяющее суммарные капитальные затраты для комбинированного использования вторичных энергоресурсов при комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода:

$$K_{\Sigma}^{yt} = K_{yt} - Q_{yt}^{ком} \left\{ a \left[\frac{0,143}{\eta_{ку}^{тэц}} a \cdot \Delta k_{тг} + \frac{y_9}{h_{тг}} (k_{тэц} - k_{кэс}) 10^3 \right] - \right. \\ \left. - (1-a) \frac{k_{кэс} 10^3}{g_{э,ком}^{yt} h_{yt}^9} - 0,143 \frac{a \gamma g_{э,ком}^{yt} - (1-a) g_{зам}^{кэс}}{g_{э,ком}^{yt} \eta_{ку}^{кэс}} \Delta k_{тг} \right\} [руб], \quad (10)$$

где $\eta_{ку}^{тэц}$, $\eta_{ку}^{кэс}$ — к. п. д. нетто котельной заводской ТЭЦ и районной КЭС;

a — коэффициент уменьшения расхода тепла на ТЭЦ [2];

γ — коэффициент увеличения расхода тепла на КЭС [2];

$g_{зам}^{кэс} \left[\frac{Мккал}{вт \cdot ч} \right]$ — удельный расход тепла на производство электроэнергии замещаемой КЭС.

Анализ показателей экономической эффективности использования вторичных энергоресурсов позволяет определить условия, при которых для разных направлений и способов утилизации получается экономия текущих расходов.

Проведенное исследование также показывает, что сооружение на проектируемом металлургическом заводе котлов-утилизаторов за мартеновскими печами и систем испарительного охлаждения печей не только не требует дополнительных капитальных вложений, но и приводит к экономии единовременных затрат в масштабе народного хозяйства за счет сокращения капитальных вложений в основные энергоустановки, добычу и транспорт топлива.

Использование вторичных энергоресурсов высвобождает средства для нового строительства, способствует ускорению темпов расширенного социалистического воспроизводства.

Коренной проблемой текущего семилетия, как известно, является проблема максимального выигрыша времени. Поэтому рациональное использование вторичных энергетических ресурсов, которое дает экономии суммарных капитальных вложений и тем самым ускоряет темпы экономического развития, имеет крупнейшее народнохозяйственное значение.

Критерием экономичности использования вторичных энергоресурсов будет расчетная экономия, которая для условий проектируемого завода составляет

$$P_{эк} = \mathcal{E}_{yt} - \frac{1}{T_n} K_{\Sigma} \left[\frac{руб}{год} \right]. \quad (11)$$

Величина экономии ежегодных расходов от использования вторичных энергоресурсов ($\mathcal{E}_{yt}$) и величина необходимых суммарных капитальных затрат (K_{Σ}) могут быть найдены с помощью зависимостей, приведенных выше. T_n [год] — нормативный срок окупаемости капитальных вложений, для энергетики принят равным 8 годам [3].

Чем больше значение расчетной экономии ($P_{эк}$), тем значительнее народнохозяйственный эффект от использования вторичных энергоресурсов. Равный энергетический эффект, необходимый для сравнения возможных вариантов энергоснабжения [4], обеспечивается, при использовании расчетной экономии как критерия экономической эффективности различных направлений утилизации, путем определения экономии текущих расходов ($\mathcal{E}_{yt}$) и необходимых суммарных капиталовложений (K_{Σ}) на основе анализа замещаемых установок.

Сравним варианты обеспечения заданной потребности в энергии проектируемого завода с помощью утилизационной установки и основной энергоустановки, расходующей топливо.

Для утилизационной установки годовые расчетные затраты [3] составляют

$$Z_{yt} = S_{yt} + \frac{1}{T_n} K_{yt} \left[\frac{руб}{год} \right]. \quad (12)$$

Для основной энергоустановки

$$Z_{оз} = C_{оз} + \frac{1}{T_n} (K_{эн} + \Delta k_{тг} B_{эн}) \left[\frac{руб}{год} \right]; \quad (13)$$

где $C_{оз} \left[\frac{руб}{год} \right]$ — годовые издержки производства на отпуск продукции основной энергоустановкой в количестве, равном отпуску энергии от замещающей утилизационной установки;

$K_{эн} [руб]$ — капитальные вложения в часть основной энергоустановки, обеспечивающей отпуск энергии, равный отпуску энергии утилизационной установки;

$B_{эн} \left[\frac{T}{год} \right]$ — годовой расход условного топлива на основной энергоустановке для производства энергии в количестве, равном производству энергии утилизационной установкой.

Вариант энергоснабжения от утилизационной установки будет равноэкономичным с вариантом обеспечения заданной потребности в энергии от основной установки, расходующей топливо, при

$$Z_{yt} = Z_{оз} \quad (14)$$

или (используем уравнения (2) и (3)), когда

$$(C_{оз} - S_{yt}) - \frac{1}{T_n} (K_{yt} - K_{эн} - \Delta k_{тг} B_{эн}) = 0. \quad (14a)$$

Величина, заключенная в первых скобках, есть экономия ежегодных расходов от использования вторичных энергоресурсов — $\mathcal{E}_{yt}$. Величина, заключенная во вторых скобках, — суммарные капитальные затраты, необходимые для использования вторичных энергоресурсов — K_{Σ} .

Таким образом, утилизационная установка будет равноэкономична с основной энергоустановкой, расходующей топливо, и обеспечит тот же энергетический эффект при

$$P_{эк} = 0.$$

Сооружение утилизационной установки на проектируемом заводе экономически эффективно, если расчетная экономия имеет положительное значение:

$$P_{эк} > 0.$$

Создание утилизационной установки на проектируемом заводе нецелесообразно, если

$$P_{эк} < 0.$$

Рассмотрим расчетную экономию от использования вторичных энергоресурсов на проектируемом металлургическом заводе при разных схемах энергоснабжения.

На рис. 1 показано изменение расчетной экономии от использования пара котла-утилизатора КУ-80 в системе теплоснабжения завода с проектируемой раздельной схемой энергоснабжения в зависимости от удельных расчетных затрат на замещающее условное топливо.

Удельные расчетные затраты на условное топливо составляют

$$z_{\text{топ}}^{\text{ус}} = c_{\text{топ}}^{\text{ус}} + \frac{1}{T_n} \Delta K_{\text{т}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{т}} \right], \quad (15)$$

где $c_{\text{топ}}^{\text{ус}} \left[\frac{\text{руб}}{\text{т}} \right]$ — себестоимость условного топлива на месте потребления.

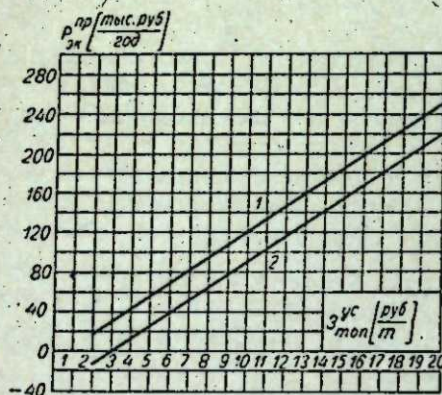


Рис. 1. Расчетная экономия от использования пара котла-утилизатора КУ-80 в системе теплоснабжения завода с проектируемой раздельной схемой энергоснабжения.

1 — полностью замещается центральная котельная с $Q=40$ Мкал/час; 2 — частично замещается центральная котельная с $Q=75$ Мкал/час.

Значение расчетной экономии при постоянных удельных расчетных затратах на условное топливо ($z_{\text{топ}}^{\text{ус}}$) несколько изменяется в зависимости от себестоимости условного топлива ($c_{\text{топ}}^{\text{ус}}$), но это изменение не превышает 3%, поэтому принимаем постоянное значение $P_{\text{эк}}$ для каждого данного $z_{\text{топ}}^{\text{ус}}$.

Когда установка котла-утилизатора типа КУ-80 полностью замещает производительность центральной котельной проектируемого завода, т. е. отпадает необходимость ее сооружения, использование утилизационного пара в системе теплоснабжения экономически эффективно при любых значениях удельных расчетных затрат на условное топливо, потребляемое в энергохозяйстве завода.

Сооружение на проектируемом заводе котла-утилизатора КУ-80у с использованием пара для привода рабочих машин экономически эффективно при любом замещаемом топливе (рис. 2). Использование пара от котлов-утилизаторов установки сухого тушения кокса для привода ра-

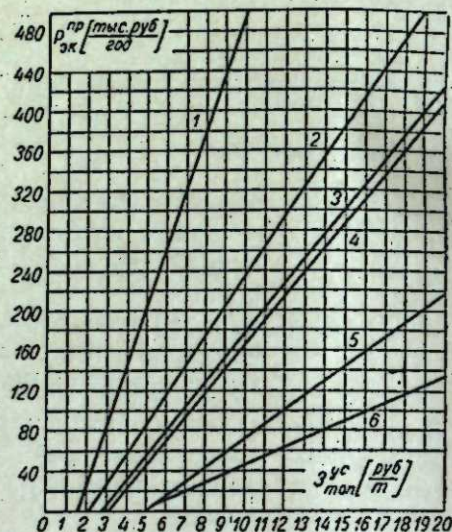


Рис. 2. Расчетная экономия от эксплуатации на проектируемом заводе котлов-утилизаторов с энергетическими параметрами при использовании пара для привода рабочих машин.

1 — БКЗ-50-39у; 2 — КУ-125; 3 — КУ-80у; 4 — КУ-100; 5 — КУ-СТ; 6 — УКЦМ 6/14.

бочих машин проектируемого завода экономически эффективно при $z_{\text{топ}}^{\text{ус}} > 5,0$ руб/т, т. е. нецелесообразно при замещении ирша-бородинских углей в Красноярском крае, черемховских углей в районе Иркутска.

Расчетная экономия от использования пара котла-утилизатора КУ-80 в системе теплоснабжения завода с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения (рис. 3) будет меньше, чем при аналогичном использовании в условиях раздельной схемы энергоснабжения завода вследствие сокращения производства электроэнергии на тепловом потреблении.

Изменение расчетной экономии при электроэнергетическом использовании вторичных энергоресурсов в зависимости от удельных расчетных затрат на замещающее условное топливо показано на рис. 4. Когда замещается электростанция с турбинами ПВК-200, то экономический

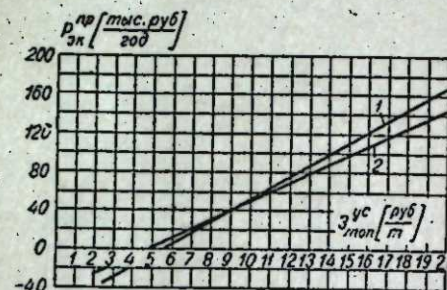


Рис. 3. Расчетная экономия от использования пара котла-утилизатора КУ-80 в системе теплоснабжения завода с проектируемой комбинированной схемой энергоснабжения (недовыработка электроэнергии на тепловом потреблении компенсируется районной электростанцией с турбинами ПВК-200).

1 — замещается промышленная ТЭЦ среднего давления с турбинами АР-4-15; 2 — замещается промышленная ТЭЦ высокого давления с турбинами ВР-12-18-2.

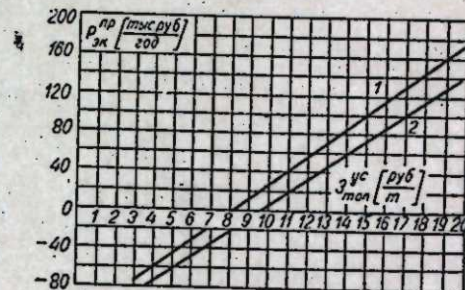


Рис. 4. Расчетная экономия от использования на проектируемом заводе пара котла-утилизатора КУ-80у для привода утилизационной конденсационной турбины АК-25-2 (электроэнергетическое направление использования).

Замещаемая турбоустановка: 1 — ПВК-200, 2 — СВК-300.

эффект получается только при $z_{\text{топ}}^{\text{ус}} > 8,0$ руб/т, а в условиях замещения СВК-300 при $z_{\text{топ}}^{\text{ус}} > 9,3$ руб/т.

Экономическая эффективность комбинированного направления использования вторичных энергоресурсов с применением котла-утилизатора КУ-80у и противоаварийной утилизационной турбины АР-6-6 при раздельной схеме энергоснабжения проектируемого завода может быть охарактеризована зависимостью расчетной экономии от удельных расчетных затрат на замещающее условное топливо, приведенной на рис. 5.

Значения расчетной экономии от использования пара котла-утилизатора КУ-80у на утилизационной противоаварийной турбине АР-6-11 при комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода показаны на рис. 6.

С целью определения сравнительной экономической эффективности различных направлений и способов утилизации тепла уходящих газов на рис. 7 совмещены зависимости $P_{\text{эк}} = \varphi(z_{\text{топ}}^{\text{ус}})$ для раздельной схемы энергоснабжения и на рис. 8 — для комбинированной.

При раздельной схеме энергоснабжения завода, когда электрический баланс энергосистемы регулируется районной электростанцией с турбинами ПВК-200, комбинированное направление утилизации с противоаварийными турбинами дает наибольший экономический эффект при

$z_{\text{топ}}^{\text{ус}} > 3,6 \text{ руб/т}$. При меньших значениях удельных расчетных затрат на замещающее условное топливо более рациональна установка котла-утилизатора КУ-80 и использование пара в системе теплоснабжения.

Если тепловая нагрузка мала или резко переменна, что не позволяет установить турбину с противодавлением, то наибольший экономический эффект обеспечивает использование утилизационного пара для привода

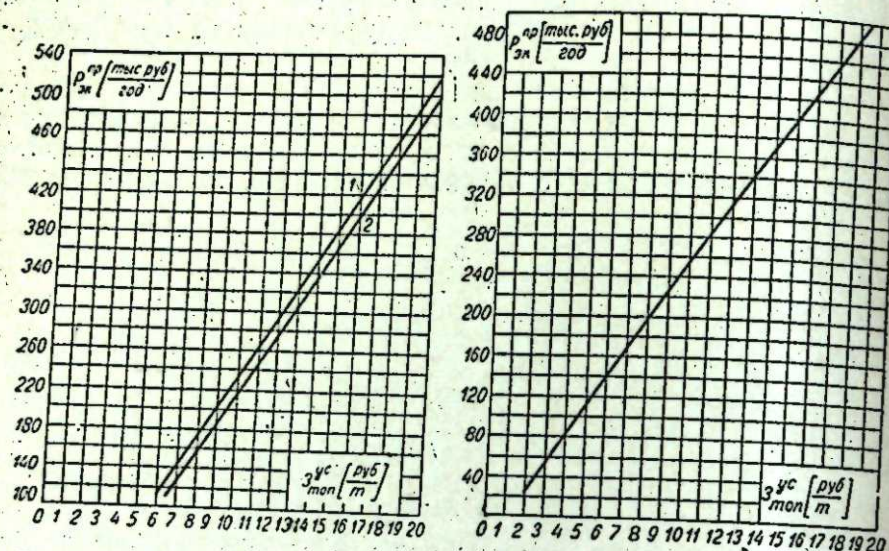


Рис. 5. Расчетная экономия от использования пара котла-утилизатора КУ-80у на утилизационной противо-давленной турбине АР-6-6 при раздельной схеме энергоснабжения проектируемого завода. Замещающая турбоустановка: 1 — ПВК-200, 2 — СВК-300.

Рис. 6. Расчетная экономия от использования пара котла-утилизатора КУ-80у на утилизационной противо-давленной турбине АР-6-11 при комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода (замещается турбоустановка ВР-12-11-2 промышленной ТЭЦ; завод снабжается электроэнергией от районной КЭС с турбинами ПВК-200).

рабочих машин. Теплотехническое использование вторичных энергоресурсов с применением котла-утилизатора КУ-80 экономически более эффективно, чем использование для привода рабочих машин с применением котла-утилизатора КУ-80у при $z_{\text{топ}}^{\text{ус}} < 5,0 \text{ руб/т}$.

Электроэнергетическое использование вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе с раздельной схемой энергоснабжения обеспечит меньший экономический эффект, чем теплотехническое направление утилизации и, следовательно, даст меньшую расчетную экономию, чем комбинированное направление утилизации и использование для привода рабочих машин при замещении турбин типа ВК-100, ПВК-200, СВК-300 на районной электростанции.

При проектировании комбинированной схемы энергоснабжения завода резко понижается экономическая эффективность теплотехнического направления утилизации по сравнению с раздельной схемой энергоснабжения из-за сокращения производства электроэнергии на тепловом по-пара в систему теплоснабжения при комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода будет иметь меньший экономический эффект, чем установка котла-утилизатора КУ-80у с использованием пара на противодавленной турбине или для привода рабочих машин при любых стоимостях топлива.

При комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода, в отличие от раздельной схемы, электроэнергетическое использование для условий замещения топлива с высокой стоимостью имеет большую экономическую эффективность, чем теплотехническое использование.

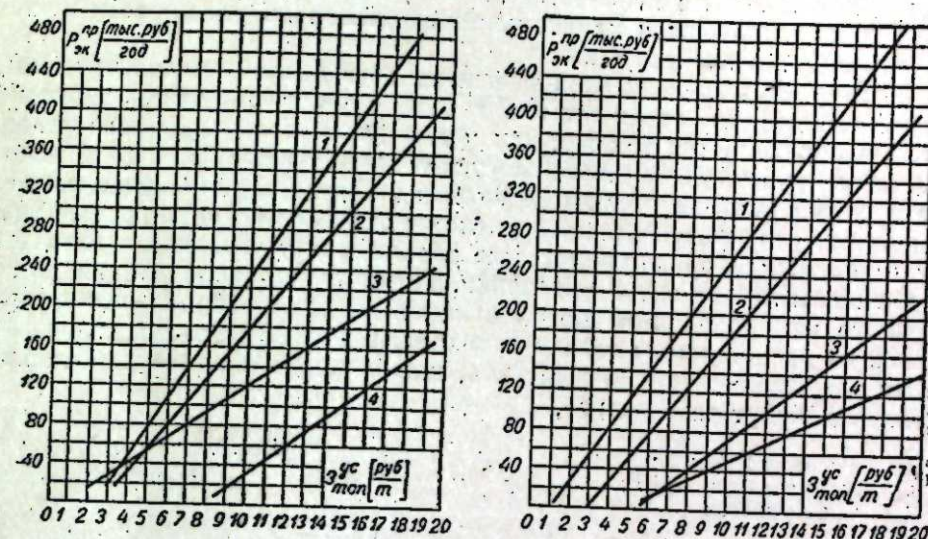


Рис. 7. Расчетная экономия от использования тепла уходящих газов при различных направлениях утилизации и раздельной схеме энергоснабжения проектируемого металлургического завода (завод снабжается электроэнергией от районной КЭС с турбинами ПВК-200).

1 — комбинированное направление использования с котлом-утилизатором КУ-80у и турбиной АР-6-6; 2 — использование для привода рабочих машин, котел КУ-80у; 3 — теплотехническое использование, котел КУ-80; 4 — электроэнергетическое использование, котел КУ-80у, турбина АК-25-2.

Рис. 8. Расчетная экономия от использования тепла уходящих газов при различных направлениях утилизации и комбинированной схеме энергоснабжения проектируемого завода (завод снабжается электроэнергией от районной КЭС с турбинами ПВК-200).

1 — комбинированное использование, котел-утилизатор КУ-80у, турбина АР-6-11; замещается турбина ВР-12-11-2 заводской ТЭЦ; 2 — использование для привода рабочих машин, котел КУ-80у; 3 — электро-энергетическое использование, котел-утилизатор КУ-80у, турбина АК-25-2; 4 — теплотехническое использование, котел КУ-80; замещается турбина ВР-12-11-2 заводской ТЭЦ.

Использование вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе дает больший экономический эффект, чем на действующем, для проектируемого завода шире границы рациональной утилизации, так как на новом заводе сокращается не только расход топлива, но и капитальные вложения в основное энергооборудование.

Утилизация на проектируемом заводе уходящих газов мартеновских печей при рациональном направлении использования экономически эффективна для любого замещающего топлива. Для действующего завода с раздельной схемой энергоснабжения использование тепла уходящих газов мартеновских печей нецелесообразно при $z_{\text{топ}}^{\text{ус}} < 6,4 \text{ руб/т}$ [5].

Чтобы выбрать наиболее рациональное направление и способ использования вторичных энергоресурсов на проектируемом заводе, необходимо для всех сравниваемых схем энергоснабжения рассмотреть расчетную экономию утилизации, которая может быть определена с помощью изложенной выше методики.

Анализ сравнительной экономической эффективности использования тепла уходящих газов позволяет установить области, характеризующиеся

стоимостью топлива и особенностями системы энергоснабжения, в которых наибольшую расчетную экономию дает то или иное направление утилизации. При создании утилизационных установок для покрытия возросшей части тепловой или электрической нагрузки завода, не обеспеченной существующими энергоустановками, меняются в зависимости от выбранного варианта использования вторичных энергоресурсов проектные текущие расходы и капитальные вложения по расширяемой части энергохозяйства предприятия.

Критерием экономической эффективности использования вторичных энергоресурсов на расширяемом заводе служит расчетная экономия, которая определяется так же, как и для вновь проектируемого завода. Отличительной особенностью является то, что для вновь проектируемого предприятия утилизационные установки всегда замещают заведомо оптимальные (для рассматриваемой схемы энергоснабжения) новые энергоустановки, для расширяемого же завода могут частично замещаться уже существующие энергоустановки. Поэтому при определении рационального направления и способов использования вторичных энергоресурсов на расширяемом заводе необходимо рассмотреть существующую схему энергоснабжения и выяснить, какие новые и какие работающие установки будут замещаться.

Уральский филиал
Академии наук СССР,
Свердловск

Поступила в редакцию
12/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Виленский. Экономия топлива при комбинированном использовании вторичных энергоресурсов. Изв. АН СССР, ОТН, Энергетика и автоматика, № 6, 1960.
2. Н. М. Виленский. Энергетическая эффективность теплотехнического использования вторичных энергоресурсов. Промышленная энергетика, № 10, 1960.
3. ГНТК СССР. Основные методические положения технико-экономических расчетов в энергетике. Металлургиздат, 1959.
4. Л. А. Мелентьев, Е. О. Штейнгауз. Экономика энергетики СССР. Госэнергоиздат, 1959.
5. Н. М. Виленский. Экономическая эффективность использования вторичных энергоресурсов на действующем заводе. Теплоэнергетика, № 10, 1961.

А. Я. АЛЕКСАНДРОВ

НЕКОТОРЫЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕЖДУ ФУНКЦИЯМИ НАПРЯЖЕНИЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ И ПЛОСКОЙ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И РЕШЕНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ БЕСКОНЕЧНОГО ПОЛОГО ТЯЖЕЛОГО КОНУСА

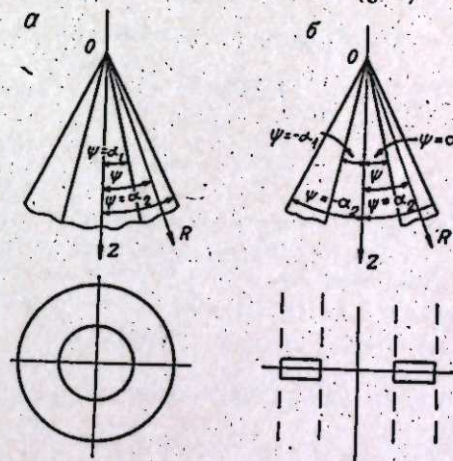
Устанавливаются некоторые соответствия между функциями напряжений осесимметричного состояния бесконечно длинного сплошного или полого конуса, с одной стороны, и функциями напряжений плоского состояния соответствующих призм — с другой (§ 1). При этих соответствиях могут быть удовлетворены одинаковые граничные условия на сходственных боковых поверхностях. Для осесимметричного состояния находится решение, аналогичное известному общему решению плоской задачи. Это решение включает в себя ряд известных результатов, а также позволяет получить для конуса некоторые новые решения (§ 2).

Задачи рассматриваются в полярных — плоских и сферических — координатах. Укажем, что используемый метод (отличный от предложенного в других работах автора — см. [1—3]) позволил найти аналогичные соответствия и в некоторых других координатных системах.

§ 1. Рассмотрим упругий тяжелый сплошной или полый конус, который находится в осесимметричном напряженном состоянии (рисунок, а) и одну или две упругие тяжелые призмы, которые находятся в плоском напряженном (или плоском деформированном) состоянии (рисунок, б).

Сечение призм плоскостью ROZ и меридиональное сечение конуса одинаковы. Сила тяжести в обоих случаях направлена вдоль оси oz. Конус и призмы полагаем в направлении оси oz длинными и совпадения граничных условий на их поверхностях $R = \text{const}$ будем требовать только в интегральном смысле.

Полагаем, что функции напряжений могут быть представлены в виде $\varphi_n = \sum \Phi_{ni} \cdot (R) F_{ni}(\psi)$ для плоского состояния и в виде $\varphi_0 = \sum \Phi_{0i} \cdot (R) \cdot F_{0i}(\psi)$ для осесимметричного состояния. Будем находить



искомые соответствия между функциями φ_n и φ_0 , имеющими вид отдельных членов сумм

$$\varphi_n = \Phi_n(R) \cdot F_n(\psi), \quad (1)$$

$$\varphi_0 = \Phi_0(R) \cdot F_0(\psi). \quad (2)$$

На сходственных боковых поверхностях конуса и призмы должны быть выполнены условия

$$\sigma_{\psi n} = \sigma_{\psi 0}, \quad (3)$$

$$\pm \tau_{R\psi n} = \tau_{R\psi 0}. \quad (4)$$

В выражении (4) знак плюс берется при $\psi > 0$ и знак минус — при $\psi < 0$.

Выразим напряжения через функции напряжений в плоских полярных координатах.

$$\sigma_{Rn} = \frac{1}{R} \frac{\partial \varphi_n}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial \psi^2} - p R \cos^3 \psi = \frac{1}{R} F_n \cdot \Phi_n' + \frac{1}{R^2} F_n'' \Phi_n - p R \cos^3 \psi;$$

$$\sigma_{\psi n} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial R^2} - p R \cos \psi \sin^2 \psi = F_n(\psi) \Phi_n'' - p R \cos \psi \sin^2 \psi; \quad (5)$$

$$\tau_{R\psi n} = \frac{1}{R^2} \frac{\partial \varphi_n}{\partial \psi} - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial R \partial \psi} + p R \cos^2 \psi \sin \psi = \frac{1}{R} F_n' \left(\Phi_n' - \frac{1}{R} \Phi_n \right) + p R \cos^2 \psi \sin \psi.$$

В выражениях напряжений в цилиндрических координатах

$$\sigma_{r0} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi_0 - \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial r^2} \right); \quad \sigma_{z0} = \frac{\partial}{\partial z} \left[(2 - \mu) \nabla^2 \varphi_0 - \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial z^2} \right] - p z;$$

$$\tau_{rz0} = \frac{\partial}{\partial r} \left[(1 - \mu) \nabla^2 \varphi_0 - \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial z^2} \right]$$

перейдем от производных по r и z производным по R и ψ и введем Φ_0 вида (2). Переходя к напряжениям в сферических координатах, найдем:

$$\sigma_{R0} = (1 - \mu) \cos \psi \Phi_0'' F_0 + \frac{1}{R} \Phi_0' [2(2 - \mu) \cos \psi F_0 + (1 - \mu) \sin \psi F_0'] + \frac{1}{R^2} \Phi_0' \left\{ 2(\mu - 2) \cos \psi F_0 + \left[\frac{\cos^2 \psi}{\sin \psi} (2 - \mu) - 2(\mu + 1) \sin \psi \right] \times \right. \\ \left. \times F_0' + (2 - \mu) \cos \psi F_0'' \right\} + \frac{\Phi_0}{R^3} \left\{ \left[(3\mu - 4) \frac{\cos^2 \psi}{\sin \psi} + (\mu + 2) \sin \psi \right] F_0' + \right. \\ \left. + (\mu - 4) \cos \psi F_0'' - \mu \sin \psi F_0''' \right\} - p R \cos^3 \psi; \quad (6)$$

$$\sigma_{\psi 0} = \mu \cos \psi \Phi_0'' F_0 + \frac{1}{R} \Phi_0' [(2\mu - 1) \cos \psi F_0 + (\mu - 2) \sin \psi F_0'] + \frac{1}{R^2} \Phi_0' \left[(1 - 2\mu) \cos \psi F_0 - \left(\sin \psi - \mu \frac{2 - \cos^2 \psi}{\sin \psi} \right) F_0' + (\mu - 1) \cos \psi F_0'' \right] + \frac{\Phi_0}{R^3} \left[\frac{(1 - \mu) 2 \cos^2 \psi - \mu}{\sin \psi} F_0' - \mu \cos \psi F_0'' - (1 - \mu) \sin \psi F_0''' \right] - p R \cos \psi \sin^2 \psi;$$

$$\tau_{R\psi 0} = (\mu - 1) \sin \psi F_0 \Phi_0'' + \frac{1}{R} \Phi_0' [(2\mu - 1) \sin \psi F_0 - \mu \cos \psi F_0'] + \frac{\Phi_0'}{R^2} [(1 - 2\mu) \sin \psi F_0 - (\mu - 3) \cos \psi F_0' + \mu \sin \psi F_0''] + \frac{\Phi_0}{R^3} \left[- \frac{(\sin^2 \psi - \cos^2 \psi) \mu + 1}{\sin^2 \psi} \cos \psi F_0' + \frac{(1 - \mu) \cos^2 \psi - 2\mu \sin^2 \psi}{\sin \psi} F_0'' + (1 - \mu) \cos \psi F_0''' \right] + p R \cos^2 \psi \sin \psi.$$

Введем выражения (5) и (6) в (3) и (4) при $\psi = \alpha$. Взяв в левой части выражения (4) знак плюс, получим:

$$\mu \cos \alpha \cdot \Phi_0'' \cdot F_0(\alpha) + \frac{1}{R} \Phi_0' [(2\mu - 1) \cos \alpha \cdot F_0(\alpha) + (\mu - 2) \sin \alpha \cdot F_0'(\alpha)] + \frac{1}{R^2} \Phi_0' [(1 - 2\mu) \cos \alpha \cdot F_0(\alpha) + \frac{2\mu - \mu \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{\sin \alpha} F_0'(\alpha) + (\mu - 1) \cos \alpha F_0''(\alpha)] + \frac{\Phi_0}{R^3} \left[\frac{2(1 - \mu) \cos^2 \alpha - \mu}{\sin \alpha} F_0'(\alpha) - \mu \cos \alpha F_0''(\alpha) + (\mu - 1) \sin \alpha \cdot F_0'''(\alpha) \right] = F_n(\alpha) \Phi_n'; \quad (7)$$

$$\Phi_0'' (\mu - 1) \sin \alpha F_0(\alpha) + \Phi_0' \frac{1}{R} [(2\mu - 1) \sin \alpha F_0(\alpha) - \mu \cos \alpha F_0'(\alpha)] + \frac{1}{R^2} \Phi_0' [(1 - 2\mu) \sin \alpha \cdot F_0(\alpha) - (\mu - 3) \cos \alpha F_0'(\alpha) + \mu \sin \alpha F_0''(\alpha)] + \frac{\Phi_0}{R^3} \left[- \cos \alpha \frac{\mu (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha) + 1}{\sin^2 \alpha} F_0'(\alpha) + \frac{\cos^2 \alpha - \mu (1 + \sin^2 \alpha)}{\sin \alpha} F_0''(\alpha) + (1 - \mu) \cos \alpha \cdot F_0'''(\alpha) \right] = - \frac{1}{R} \left(\Phi_n' - \frac{\Phi_n}{R} \right) F_n'(\alpha). \quad (8)$$

Исключая из уравнений (7) и (8) функцию $\Phi_n(R)$ и ее производные, получаем уравнение вида:

$$R^4 \Phi_0^{IV} + A(\alpha) R^3 \Phi_0''' + B(\alpha) R^2 \Phi_0'' + C(\alpha) R \Phi_0' + D(\alpha) \Phi_0 = 0. \quad (9)$$

В зависимости от значений коэффициентов $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$ общий интеграл уравнения (9) имеет вид:

$$\Phi_0 = C_1 R^{\kappa_1} + C_2 R^{\kappa_2} + C_3 R^{\kappa_3} + C_4 R^{\kappa_4};$$

$$\Phi_0 = R^{\kappa_5} [C_5 + C_6 \ln R + C_7 (\ln R)^2 + C_8 (\ln R)^3]; \quad (10)$$

$$\Phi_0 = R^{\kappa_9} (C_9 + C_{10} \ln R) \cos n \ln R + R^{\kappa_{11}} (C_{11} + C_{12} \ln R) \sin n \ln R.$$

Функция напряжений осесимметричной задачи должна удовлетворять уравнению:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \operatorname{ctg} \psi \frac{\partial}{\partial \psi} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial \varphi_0}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \operatorname{ctg} \psi \frac{\partial \varphi_0}{\partial \psi} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial \psi^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Вводя в уравнение

$$\frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial \varphi_0}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \operatorname{ctg} \psi \frac{\partial \varphi_0}{\partial \psi} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial \psi^2} = 0 \quad (12)$$

функцию напряжений $\varphi_0 = \Phi_0(R) \cdot F_0(\psi)$ при Φ_0 , имеющих вид отдельных членов, входящих в выражения (10), получим обыкновенные дифференциальные уравнения относительно F_0 и найдем интегралы этих уравнений. Найденные таким путем функции φ_0 и их произведения на R^2 , а также на $R \cos \psi$ будут удовлетворять уравнению (11). Укажем, что, вводя в уравнение (12) φ_0 при $\Phi_0 = CR^\kappa$ и обозначив $\cos \psi = x$, получим для определения функции $F_0(\psi)$ уравнение Лежандра:

$$(1 - x^2) \frac{d^2 F_0(x)}{dx^2} - 2x \frac{dF_0(x)}{dx} + \kappa(\kappa + 1) F_0(x) = 0,$$

решениями которого являются функции Лежандра первого и второго рода — P_κ и Q_κ (при целых κ P_κ — полиномы Лежандра).

Вводя полученные таким путем выражения φ_0 в уравнение (7), найдем соответствующие выражения Φ_n .

Функция напряжений плоской задачи должна удовлетворять уравнению

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \varphi_n}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial \psi^2} \right) = 0. \quad (13)$$

Вводя в уравнение (13) $\varphi_n = \Phi_n(R) F_n(\psi)$ при Φ_n , найденных описанным путем из уравнения (7), получим обыкновенные дифференциальные уравнения относительно $F_n(\psi)$ и найдем интегралы этих уравнений.

Условия (3) и (4) должны выполняться, когда для плоского состояния $\psi = \pm \alpha$. Поэтому в выражениях $F_n(\psi)$ удержим только четные члены. Так как из уравнений (7), (8) была использована только их комбинация, то следует убедиться, что полученные виды φ_n и φ_0 удовлетворяют уравнению (8).

Заметим, что функциям $\varphi_0 = R^2 P_0(\cos \psi)$, $\varphi_0 = R^2 P_2(\cos \psi)$, $\varphi_0 = R P_1(\cos \psi)$ и $\varphi_0 = P_0(\cos \psi)$ соответствуют нулевые напряжения. Взамен этих функций образуем другие. Используем то обстоятельство, что интегрирование гармонической функции по z (в цилиндрических координатах) дает также гармоническую функцию. Переводя гармоническую функцию $\varphi_0 = \frac{1}{R}$ в цилиндрические координаты $\left(\varphi_0 = \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} \right)$,

интегрируя ее по z и возвращаясь к сферическим координатам, находим функции

$$\varphi_0 = \ln R + \ln(1 + \cos \psi) \text{ и } \varphi_0 = \ln R - \ln(1 - \cos \psi), \quad (14)$$

которые также удовлетворяют уравнению (12). Эти функции и их произведения на $R \cos \psi$ или на R^2 используем взамен указанных выше.

Рассмотрим также функции вида $\varphi_0 = R^\kappa F(\psi)$ при κ мнимых и комплексных. В случае, когда $\kappa = 1 + in$ и $\kappa = 1 - in$, где n — положительное число,

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= R^{1+in} (C_n P_{1+in} + D_n Q_{1+in}) = R e^{in \ln R} (C_n P_{1+in} + D_n Q_{1+in}) = \\ &= R [\cos(n \ln R) + i \sin(n \ln R)] (C_n P_{1+in} + D_n Q_{1+in}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= R^{1-in} (C_n P_{1-in} + D_n Q_{1-in}) = R e^{-in \ln R} (C_n P_{1-in} + D_n Q_{1-in}) = \\ &= R [\cos(n \ln R) - i \sin(n \ln R)] (C_n P_{1-in} + D_n Q_{1-in}). \end{aligned}$$

Комбинируя эти выражения и вводя другие произвольные постоянные, найдем

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= R \cos(n \ln R) [C_1 f_1 + C_2 f_2 + C_3 f_3 + C_4 f_4] + \\ &+ R \sin(n \ln R) [C_1 f_2 - C_2 f_1 + C_3 f_4 - C_4 f_3]. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь

$$\begin{aligned} f_1 &= P_{1+in}(\cos \psi) + P_{1-in}(\cos \psi); f_2 = i [P_{1+in}(\cos \psi) - P_{1-in}(\cos \psi)]; \\ f_3 &= Q_{1+in}(\cos \psi) + Q_{1-in}(\cos \psi); f_4 = i [Q_{1+in}(\cos \psi) - Q_{1-in}(\cos \psi)]. \end{aligned}$$

При $\kappa = 3 + in$ и $\kappa = 3 - in$ аналогично получим

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= R^3 \cos(n \ln R) [C_5 f_5 + C_6 f_6 + C_7 f_7 + C_8 f_8] + \\ &+ R^3 \sin(n \ln R) [C_5 f_6 - C_6 f_5 + C_7 f_8 - C_8 f_7]. \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь

$$\begin{aligned} f_5 &= P_{3+in}(\cos \psi) + P_{3-in}(\cos \psi); f_6 = i [P_{3+in}(\cos \psi) - P_{3-in}(\cos \psi)], \\ f_7 &= Q_{3+in}(\cos \psi) + Q_{3-in}(\cos \psi); f_8 = i [Q_{3+in}(\cos \psi) - Q_{3-in}(\cos \psi)]. \end{aligned}$$

При $\kappa = in$ и $\kappa = -in$

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= \cos(n \ln R) [C_9 f_9 + C_{10} f_{10} + C_{11} f_{11} + C_{12} f_{12}] + \\ &+ \sin(n \ln R) [C_9 f_{10} - C_{10} f_9 + C_{11} f_{12} - C_{12} f_{11}]. \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь

$$\begin{aligned} f_9 &= P_{in}(\cos \psi) + P_{-in}(\cos \psi); f_{10} = i [P_{in}(\cos \psi) - P_{-in}(\cos \psi)], \\ f_{11} &= Q_{in}(\cos \psi) + Q_{-in}(\cos \psi); f_{12} = i [Q_{in}(\cos \psi) - Q_{-in}(\cos \psi)]. \end{aligned}$$

Значения $f_1 \dots f_{12}$ действительны. В частности, при помощи интегрального представления Меллера-Дирихле

$$P_\kappa(\cos \psi) = \frac{1}{\pi} \int_{-\psi}^{\psi} \frac{l^{\left(\kappa + \frac{1}{2}\right) i \eta}}{(2 \cos \eta - 2 \cos \psi)^{1/2}} d\eta$$

можно получить

$$\begin{aligned} f_1 &= \int_0^\psi \operatorname{ch} n \eta \cdot \cos \frac{3\eta}{2} \cdot Z d\eta; f_2 = \int_0^\psi \operatorname{sh} n \eta \cdot \sin \frac{3\eta}{2} \cdot Z d\eta; \\ f_3 &= \int_0^\psi \operatorname{ch} n \eta \cdot \cos \frac{7\eta}{2} \cdot Z d\eta; f_6 = \int_0^\psi \operatorname{sh} n \eta \cdot \sin \frac{7\eta}{2} \cdot Z d\eta; \quad (18) \\ f_9 &= \int_0^\psi \operatorname{ch} n \eta \cdot \cos \frac{\eta}{2} \cdot Z d\eta; f_{10} = \int_0^\psi \operatorname{sh} n \eta \cdot \sin \frac{\eta}{2} \cdot Z d\eta. \end{aligned}$$

Здесь

$$Z = \frac{4}{\pi (2 \cos \eta - 2 \cos \psi)^{1/2}}.$$

Заметим, что уравнению (11) удовлетворяют как выражения (15) и (16), так и их произведения на R^2 или на $R \cos \psi$. Уравнения (11) и (12) удовлетворяются и в том случае, если в эти выражения φ_0 вместо R ввести $\frac{R}{d}$, где d — постоянная.

Строки	ψ_n	ψ_0	Вид выражений для напряжений $\sigma_{\psi 0}, \tau_{R\psi 0}, \sigma_{\psi n}, \tau_{R\psi n}$
1	$A_n R^{n+2} \cos(n+2)\psi + B_n R^{n+2} \cos n\psi$ $n = 0, 1, 2, \dots$	$C_n R^{n+2} P_n(\cos \psi) + D_n R^{n+2} P_{n+2}(\cos \psi) + E_n R^{n+2} Q_n(\cos \psi) + G_n R^{n+2} \times Q_{n+2}(\cos \psi)$ $k = n+1$	$F_1(\psi) \cdot R^n$
2	$A_{-1} R \ln R \cos \psi + B_{-1} R \ln R \psi \sin \psi$	$C_0 R^2 [\ln R + \ln(1 + \cos \psi)] + D_0 R^2 [\ln R + \ln(1 - \cos \psi)] + E_0 R^2 Q_0(\cos \psi) + G_0 R^2 Q_2(\cos \psi)$	$F_1(\psi) R^{-1}$
3	$AR \psi \sin \psi$	0	0
4	$A_2 \ln R + B_{-2} \cos 2\psi$	$C_{-1} R \cos \psi [\ln R + \ln(1 + \cos \psi)] + D_{-1} R \cos \psi [\ln R + \ln(1 - \cos \psi)] + E_{-1} R Q_{-1}(\cos \psi) + G_{-1} R Q_1(\cos \psi)$	$F_1(\psi) R^{-2}$
5	$A_{-3} R^{-1} \cos \psi + B_{-3} R^{-1} \cos 3\psi$	$C_{-2} [\ln R + \ln(1 + \cos \psi)] + D_{-2} P_{-2}(\cos \psi) + E_{-2} Q_{-2}(\cos \psi) + G_{-2} Q_0(\cos \psi)$	$F_1(\psi) R^{-3}$
6	$A_{-n} R^{-n+2} \cos(n-2)\psi + B_{-n} R^{-n+2} \times \cos n\psi$ $n = 4, 5, 6$	$C_n R^{-n+2} P_{-n}(\cos \psi) + D_n R^{-n+2} P_{-n+2}(\cos \psi) + E_n R^{-n+2} Q_{-n}(\cos \psi) + G_n R^{-n+2} Q_{-n+2}(\cos \psi)$ $k = n-1$	$F_1(\psi) R^{-n}$
7	$(A_n \operatorname{ch} n\psi + B_n \operatorname{ch} n\psi \cos 2\psi + C_n \operatorname{sh} n\psi \sin 2\psi) \cos(n \ln R) + (D_n \operatorname{ch} n\psi - B_n \operatorname{sh} n\psi \sin 2\psi + C_n \operatorname{ch} n\psi \cos 2\psi) \sin(n \ln R)$	$R \cos(n \ln R) [C_1 f_1 + C_2 f_2 + C_3 f_3 + C_4 f_4 + \cos \psi (C_0 f_0 + C_{10} f_{10} + C_{11} f_{11} + C_{12} f_{12})] + R \sin(n \ln R) [C_1 f_2 - C_2 f_1 + C_3 f_4 - C_4 f_3 + \cos \psi (C_0 f_{10} - C_{10} f_9 + C_{11} f_{12} - C_{12} f_{11})]$ $f_1, 2, 3 \dots$ см. формулы (27), (29), (30)	$R^{-2} \sin(n \ln R) \times F_1(\psi) + R^{-2} \cos(n \ln R) F_1^*(\psi)$
8	$R^2 (A_n \operatorname{ch} n\psi + B_n \operatorname{ch} n\psi \cos 2\psi + C_n \operatorname{sh} n\psi \sin 2\psi) \cos(n \ln R) + R^2 (D_n \operatorname{ch} n\psi + B_n \operatorname{sh} n\psi \sin 2\psi - C_n \operatorname{ch} n\psi \cos 2\psi) \sin(n \ln R)$	$R^3 \cos(n \ln R) [C_1 f_1 + C_2 f_2 + C_3 f_3 + C_4 f_4 + C_5 f_5 + C_6 f_6 + C_7 f_7 + C_8 f_8] + R^3 \sin(n \ln R) [C_1 f_2 - C_2 f_1 + C_3 f_4 + C_4 f_3 + C_5 f_6 - C_6 f_5 + C_7 f_8 - C_8 f_7]$ $f_1, 2, 3 \dots$ см. формулы (27), (28), (30)	$\sin(n \ln R) F_1(\psi) + \cos(n \ln R) F_1^*(\psi)$

Действуя описанным путем, определяем искомые соответствия между функциями напряжений плоской и осесимметричной задачи. В таблице эти соответствия даются для известного общего решения плоской задачи [4]*. В таблице сохранены только члены, соответствующие симметричному относительно оси oz состоянию, отсутствует член $\varphi_n = R^2 \ln R$, добавлены члены, полученные из $\varphi_n = R^k F(\psi)$ при $k=2 \pm in$ (выражения напряжений, соответствующие этим членам, не содержат R в виде множителя, а члены, полученные при $k = \pm in$, этот множитель содержат, в этом отношении в [4] имеется неточность).

Чтобы определить связь между коэффициентами, выражения φ_n и φ_0 вводятся в условия (3), (4) при $\psi = \alpha$ для сплошного и при $\psi = \alpha_1$ и $\psi = \alpha_2$ для полого конуса. Для сплошного конуса опускаются члены, обладающие особенностями при $\psi = 0$.

В 3-й строке таблицы приведено выражение φ_0 , соответствующее сжатию конуса силой, приложенной в его вершине (на боковой поверхности $\sigma_\psi = \tau_{R\psi} = 0$).

§ 2. Полученные результаты можно использовать для решения осесимметричной задачи о бесконечно длинном тяжелом конусе (рис., а), нагруженном по боковым поверхностям.

В выражениях напряжений (6) входят члены, учитывающие действие собственного веса конуса:

$$\begin{aligned} \sigma_{\psi p} &= -p R \cos \psi \sin^2 \psi, \\ \tau_{R\psi p} &= p R \cos^2 \psi \sin \psi. \end{aligned} \quad (19)$$

Как видно из таблицы, напряжения на боковых поверхностях конуса, соответствующие этим членам, можно снять, наложив напряженное состояние, соответствующее функции напряжений

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= C_2 R^4 P_2(\cos \psi) + D_2 R^4 P_4(\cos \psi) + \\ &+ E_2 R^4 Q_2(\cos \psi) + G_2 R^4 Q_4(\cos \psi). \end{aligned} \quad (20)$$

Приравняв $\sigma_{\psi p}$ и $\tau_{R\psi p}$ при $\psi = \alpha_1$ и $\psi = \alpha_2$ напряжениям от φ_0 вида (20), находим C_2, D_2, E_2, G_2 . Действие веса определяется суммой напряжений (19) и напряжений от φ_0 вида (20) при найденных C_2, D_2, E_2, G_2 .

Теперь рассмотрим невесомый конус. Если по его боковым поверхностям действуют нагрузки, распределенные по законам $A_n R^k$, где $k = \dots, 2, 1, 0, -1, 2, \dots$, то вид соответствующих φ_0 находится в строках 1—6-й таблицы сразу. Заметим, что эти решения по существу совпадают с решениями, данными в работе Г. С. Шапиро [5]. Та же задача рассмотрена А. Морганом [6].

Рассмотрим случай действия нагрузок, представленных рядами Фурье. Решение будем вести по схеме, предложенной П. Ф. Папковичем [4] для бесконечного клина. Используем функцию φ_0 , приведенную в строке 8 таблицы. $C_1, C_2, C_3, \dots$ будем считать функциями от n и образуем функцию напряжений, произведя суммирование φ_0 по n ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Полагая, что нас интересует область $d < R < b$, и вводя обозначения $S = \frac{n}{\beta}$, где s — числа целые, $\beta = \frac{2\pi}{\ln \frac{R}{d}}$, $\beta \ln \frac{R}{d}$ — отвлеченный аргумент,

изменяющийся в пределах от 0 до 2π . Заметим, что для бесконечного ко-

*. Отметим, что в ряде курсов в качестве общего решения плоской задачи ошибочно приводятся решения, которые не дают возможности получить произвольную нагрузку на кромках $\psi = \alpha$. Об этом см. [4].

нуса суммирование по s можно заменить интегрированием по n . С помощью выражений (6) найдем:

$$\begin{aligned} \sigma_{\psi 0} = & \frac{1}{a^3} \int_0^\infty \left\{ \sin n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(A_1 f_l + A_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + \right. \right. \right. \\ & + A_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + A_4 f_{l+1} + A_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + A_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + A_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} \Big) + \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(A_1 f_{l+1} + A_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + A_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} - A_4 f_l - \right. \\ & - A_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} - A_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} - A_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} \Big) \Big] + \\ & + \cos n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(A_4 f_l + A_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + A_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + A_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} - \right. \right. \\ & - A_1 f_{l+1} - A_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} - A_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} \Big) + \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(A_1 f_{l+1} + A_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + A_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + A_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} + \right. \\ & \left. \left. + A_1 f_l + A_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + A_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} \right) \right] \Big\} dn; \\ \tau_{R\psi 0} = & \frac{1}{a^3} \int_0^\infty \left\{ \sin n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(B_1 f_l + B_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + \right. \right. \right. \\ & + B_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + B_4 f_{l+1} + B_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + B_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + B_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} \Big) + (21) \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(B_1 f_{l+1} + B_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + B_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} - B_4 f_l - B_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} - \right. \\ & - B_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} - B_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} \Big) \Big] + \cos n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(B_4 f_l + B_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + \right. \right. \\ & + B_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + B_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} - B_1 f_{l+1} - B_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} - B_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} \Big) + \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(B_4 f_{l+1} + B_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + B_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + B_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} + \right. \\ & \left. \left. + B_1 f_l + B_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + B_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} \right) \right] \Big\} dn; \\ \sigma_{R0} = & \frac{1}{a^3} \int_0^\infty \left\{ \sin n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(D_1 f_l + D_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + D_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + \right. \right. \right. \\ & + D_4 f_{l+1} + D_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + D_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + D_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} \Big) + \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(D_1 f_{l+1} + D_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + D_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} - D_4 f_l - \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - D_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} - D_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} - D_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} \Big) \Big] + \\ & + \cos n \rho \left[\sum_{l=1,3,5,7} C_l(n) \left(D_4 f_l + D_5 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + D_6 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} + D_7 \frac{\partial^3 f_l}{\partial \psi^3} - \right. \right. \\ & - D_1 f_{l+1} - D_2 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} - D_3 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} \Big) + \\ & + \sum_{l=1,3,5,7} C_{l+1}(n) \left(D_4 f_{l+1} + D_5 \frac{\partial f_{l+1}}{\partial \psi} + D_6 \frac{\partial^2 f_{l+1}}{\partial \psi^2} + D_7 \frac{\partial^3 f_{l+1}}{\partial \psi^3} + \right. \\ & \left. \left. + D_1 f_l + D_2 \frac{\partial f_l}{\partial \psi} + D_3 \frac{\partial^2 f_l}{\partial \psi^2} \right) \right] \Big\} dn, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= n[(n^2 - 11)\mu + 4(1 - 2\mu)] \cos \psi; \\ A_2 &= n[11 - \mu(\csc^2 \psi + 6)] \sin \psi; \\ A_3 &= n(1 - \mu) \cos \psi; \\ A_4 &= [(n^3 - 3) + 4\mu(3 - 2n^2)] \sin \psi; \\ A_5 &= [2 \csc^2 \psi - 5(1 - \mu) + (6 - n^2)(\mu - 2)] \cos \psi; \\ A_6 &= (2\mu - 3) \sin \psi; \\ A_7 &= (1 - \mu) \cos \psi; \\ B_1 &= n[(n^2 - 11)(\mu - 1) + 4(1 - 2\mu)] \sin \psi; \\ B_2 &= [3n(2\mu - 1)] \cos \psi; \\ B_3 &= n\mu \sin \psi; \\ B_4 &= [6\mu(n^2 - 1) + (7n^2 - 9)(1 - 2\mu)] \sin \psi; \\ B_5 &= [\mu n^2 + (9 - \csc^2 \psi) - \mu(11 - \csc^2 \psi)] \cos \psi; \\ B_6 &= [\mu(1 - \csc^2 \psi) + \csc^2 \psi] \sin \psi; \\ B_7 &= (1 - \mu) \cos \psi = A_7; \\ D_1 &= n[(n^2 - 11)(1 - \mu) - 8(2 - \mu)] \cos \psi; \\ D_2 &= [(7\mu - 3) - (2 - \mu) \csc^2 \psi] \sin \psi; \\ D_3 &= -n(2 - \mu) \cos \psi; \\ D_4 &= [4\mu(2n^2 - 3) + 2(9 - 5n^2)] \cos \psi; \\ D_5 &= [-n^2(1 - \mu) + 2 \csc^2 \psi + (2 - 11\mu)] \sin \psi; \\ D_6 &= 2(1 - \mu) \cos \psi = 2A_7; \\ D_7 &= -\mu \sin \psi; \end{aligned}$$

$\rho = \ln \frac{R}{d}$, где d — произвольная константа, которой можно распоряжаться так, чтобы область интересующих нас значений лежала в области R , близких к нулю.

Нормальную N и касательную T нагрузки на кромках $\psi = \alpha_1$ и $\psi = \alpha_2$ представим в виде

$$N_{1,2} = \int_0^\infty q_{1,2}(n) \cos(n\rho) dn + \int_0^\infty q_{3,2}(n) \sin(n\rho) dn$$

$$T_{1,2} = \int_0^{\infty} t_{1,2}(n) \cos(n\rho) dn + \int_0^{\infty} t_{1,2}^*(n) \sin(n\rho) dn;$$

Здесь $q_{1,2}(n)$, $q_{1,2}^*(n)$, $t_{1,2}(n)$, $t_{1,2}^*(n)$ — заданные функции от n .

Приравнявая соответствующие подынтегральные выражения, получим систему из восьми линейных алгебраических уравнений для определения восьми неизвестных функций $C_1(n)$, $C_2(n)$, $C_3(n)$... В случае сплошного конуса члены, содержащие f_3 , f_4 , f_7 , f_8 , опускаются (они дают особенности при $\psi=0$) и решение сводится к определению четырех функций из системы четырех линейных уравнений.

Укажем, что задача о полом конусе под действием произвольной кусочно-непрерывной нагрузки рассматривалась (при помощи преобразования Меллина) в работе А. Моргана [7].

Новосибирский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Поступила в редакцию
15/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Александров, Некоторые зависимости между решениями плоской и осесимметричной задач теории упругости и решение осесимметричных задач при помощи аналитических функций. Докл. АН СССР, т. 129, № 4, 1959.
2. А. Я. Александров, Решение осесимметричных задач теории упругости при помощи аналитических функций. Докл. АН СССР, 139, № 2, 1961.
3. А. Я. Александров, Решение осесимметричных задач теории упругости при помощи зависимостей между плоскими и осесимметричными состояниями. Прикл. матем. и механика, вып. 5, 1961.
4. П. Ф. Папкович, Теория упругости. Оборонгиз, 1939.
5. Г. С. Шапиро, О равновесии конуса и конической оболочки. Прикл. матем. и механика, т. VIII, вып. 4, 1944.
6. A. Morgan, Stress Distributions in Semi-Infinite Solids of Revolution. ZAMP, Bd. 5, No 4, 1954.
7. A. Morgan, Stress Distributions within Solids Bounded by one or two Cones. ZAMP, Bd. 7, No. 2, 1956.

С. И. ШАБАНОВ, Е. В. КОЛБАСОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТОПЛИВ В ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОВСКОГО УГЛЯ

Высокие экономические показатели комплексного энерготехнологического использования топлива [1] выдвинули эту проблему в число важнейших научных и народнохозяйственных проблем.

Метод сводится к тому, что на электростанциях пылевидное топливо до поступления в топку котлов подвергается высокоскоростному разложению за счет смешивания с нагретым теплоносителем. Выделяющиеся при этом высококалорийный газ и смолы используются для газоснабжения городов и в качестве химического сырья, а горячий полукokesовый остаток сжигается под котлами электростанций.

Особую перспективность этот метод имеет для условий Сибири, где намечена широкая программа строительства тепловых электростанций и предприятий большой химии, где имеются огромные запасы самых дешевых углей и в то же время пока обнаружено очень мало нефти и газа.

Экономическая эффективность метода в значительной мере зависит от особенностей перерабатываемого топлива. Если угли Европейской части Союза исследованы в этом отношении достаточно полно, то сибирские топлива изучены совершенно недостаточно.

В настоящей статье изложены результаты высокоскоростного термического разложения черновского бурого угля на установке периодического действия с твердым теплоносителем (кварцевый песок).

Исследование проведено в Транспортно-энергетическом институте Сибирского отделения АН СССР* по просьбе Читинского совнархоза.

При конструировании экспериментальной установки основное внимание уделялось сокращению времени высыпания компонентов и их перемешивания с тем, чтобы получить наиболее чистую картину динамики газовыделения.

Схема установки изображена на рис. 1. К камере термического разложения 1, вращающейся на полый горизонтальной оси 6 в вертикальной плоскости, приварены бункер для угля 2 и бункер для песка-теплоносителя 3. Оба бункера внутри камеры закрываются общей задвижкой 4, отделяющей их от камеры. Внутри камеры помещаются две зубчатые мешалки 5, которые электромотором приводятся в синхронное

* В работе принимали участие ст. лаборанты Н. Н. Варенников, З. Г. Балаова, лаборант М. В. Фомина.

вращение навстречу друг другу со скоростью 250 об/мин. Передняя съемная крышка камеры укрепляется на болтах с прокладкой из соеволита, запрессованного в канавку крышки. Через полую ось 6 происходит выдача парогазовых продуктов термического разложения в холодильник-конденсатор 7 и затем в газгольдер. Для предотвращения

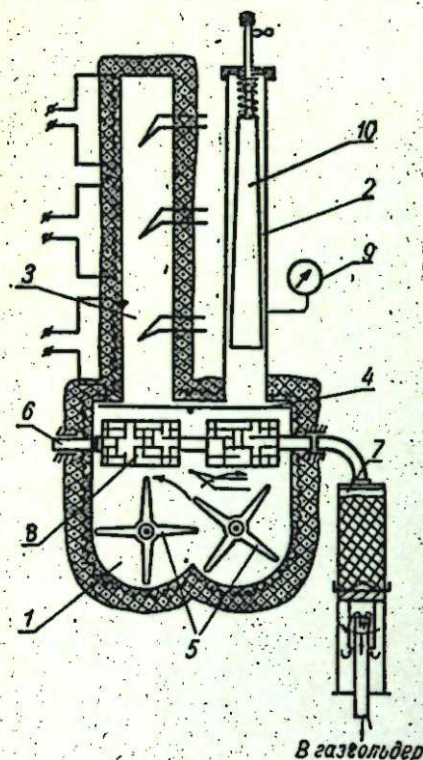


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

нога на газгольдере и обеспечивающего непрерывную запись кривой динамики газовыделения с масштабом времени 1 сек = 2,3 мм и масштабом объема 1 л = 3,6 мм. К этой кривой вводились поправки на аккумулированный в камере 1 объем газа. Поправки вычислялись по показаниям манометра 9.

Чтобы обеспечить быстрое охлаждение больших расходов парогазовой смеси в первые секунды опыта, конденсатор для смол 7 выполнен с насадкой из кусочков льда, сквозь которую и пропускаются горячие продукты разложения.

Низ конденсатора выполнен в виде циклона, предотвращающего вынос воды и смол в газгольдер.

Начальный разогрев всей установки производится в положении ее бункерами вниз. Периодически при закрытой заслонке 4 установка переворачивается бункерами вверх и обратно, чем достигается пересыпание песка в бункере 3, выравнивающее его прогрев.

По достижении расчетных температур песка и стенок камеры в бункер 2 загружается уголь, установка продувается азотом, и при открытой заслонке 4 и вращающихся зубчатках 5 она быстро переворачивается бункерами вверх. При этом песок и уголь высыплются в камеру 1 и быстро перемешиваются мешалками 5. Выделяющиеся парогазовые про-

дукты пыли из камеры внутри ее укреплен фильтр 8, представляющий собой концентрические дырчатые цилиндры, в промежутке между которыми шириной 10—12 мм набивается шлаковата.

Все стенки камеры снабжены регулируемыми нагревательными обмотками для предварительного разогрева установки до расчетной температуры опыта, чем обеспечивается изотермичность выдержки топлива. Бункер 3 также снабжен секционированными обмотками, с помощью которых песок до смешивания нагревается на 30—80°С выше, чем расчетная температура смеси (необходимое превышение температуры песка устанавливалось опытным путем).

Для контроля температур смеси в камере 1, песка в бункере 3 и стенок камеры установлены 11 термодатчиков, подключенных к самопишущему потенциометру ЭПП-09. Замер избыточного давления в камере 1 осуществлялся самопишущим манометром 9 с большим масштабом времени. Замер объема выделившихся газов термического разложения проводился с помощью оригинального самописца, установленного

дукты, проходя через фильтр 8 и холодильник-конденсатор 7, направляются в газгольдер.

Количество сконденсировавшихся смол и влаги определялось по привесу холодильника 7, после чего смола отделялась от воды на воронке Бюхнера, взвешивалась и анализировалась.

Количество полукокса определялось по привесу песка, выгруженного из установки после ее охлаждения. Пробы полукокса отделялись из смеси путем отвинчивания на специальной установке и анализировались.

В процессе наладки установки для ускорения высыпания угля бункер 2 был снабжен конусным стаканом 10 с пружинным взводом, который срывается при перевороте установки и выбрасывает в камеру 1 уголь, засыпанный в стакан.

Холодными опытами установлено, что время высыпания для песка (8 кг) составляет 0,8 сек, для угля (0,5 кг) — 0,4 сек, а полное перемешивание смеси достигалось уже через 2 сек после начала высыпания компонентов. Это дает значительно более чистую картину динамики газовыделения по сравнению, например, с установкой ЭНИНа АН СССР, где выдача компонентов занимает 10 сек.

Кроме того, достигнутая высокая равномерность распределения компонентов в перемешанной смеси позволяет считать также весьма равномерным и температурное поле в засыпке, а следовательно, устраняет необходимость замеров температур в разных точках реакционной зоны. В установке замер температуры засыпки осуществлялся одной термодатчиком, показания которой по времени свидетельствовали о практической изотермичности выдержки топлива в течение 20 мин опыта.

Исследованный бурый уголь Черновского месторождения имеет следующие характеристики:

$$\begin{aligned} C^r &= 74,95\%, & A^r &= 8,86\%, \\ H^r &= 4,68\%, & V^r &= 40,0\%, \\ O^r + N^r + S^r &= 20,37\%, & Q_b^r &= 6800 \text{ ккал/кг}, \\ W^r &= 33,06\%, & Q_n^r &= 6550 \text{ ккал/кг}. \end{aligned}$$

Уголь размалывался до максимальной крупности частиц 100 мк и подсушивался до 14% влажности.

В данной серии опытов ситовые характеристики угля не снимались.

В качестве теплоносителя использовался стандартный вольский кварцевый песок крупностью 0,2—0,3 мм. Опыты проводились в интервале температур смеси от 550 до 640°С. Газ термического разложения анализировался на аппарате ВТИ-2. Для смолы и полукокса определялись элементарный состав и калорийность по бомбе.

Фактические данные по загрузке топлива и теплоносителя, а также по выходу продуктов термического разложения для каждого опыта приведены в табл. 1.

Все опыты дублировались и проходили первичную обработку, причем была установлена вполне удовлетворительная повторяемость результатов по отдельным показателям. Однако для дальнейшей обработки были отобраны и включены в табл. 1 только те опыты, в которых наиболее строго был выдержан температурный режим и имели место наименьшие невязки материального баланса.

Имеющиеся невязки баланса разносились на полукоксы, который мог догорать при остывании после опыта и теряться при выгрузке, и на пирогенетическую воду, которая в виде пара могла частично уноситься в газгольдер.

Исходные данные опытов по термическому разложению угля

№ опыта	Т°С опыта	Загружено в граммах				Получено в граммах										Неявка баланса по опыту	
		песок-теплоноситель	уголь	в том числе			всего	твердый остаток			жидкие продукты			газ	исчерго горюч. масла и пиролен. вода		
				внеш. влага	зола	горючая масса		песок	зола	горючая масса	всего	внеш. влага	сжогл. водная масса				пиро-гон. вода (по остатку)
29	550	8500	500	70	38	392	8785	8500	38	247	60	70	31	-41	67	301	-88,0
32	585	8500	500	70	38	392	8770	8500	38	232	115	70	46	-1	77	354	-38,0
36	625	8500	500	70	38	392	8757	8500	38	219	137	70	66	+1	92	378	-14,0
35	640	8500	500	70	38	392	8739	8500	38	201	141	70	66	+5	97	369	-23,0

Таблица 2

Т° С опыта		Материальный баланс в % на 1 кг г. м.			Технический и элементарный анализ								Тепло угля, перешедшее в продукт							
					полукокс				смола				Калорийность (низшая по горючей массе) Q _н , ккал/кг	ккал/кг г. м.			%			
					А _{ПК}	С _Г	Н _Г	W _P	А _{СМ}	С _Г	Н _Г	полу- кокс		смола	газ, ккал/м ³	полукокс	смола	газ		
550	743	170	69	18	13,4	87,56	2,82	9,46	2,94	78,15	7,16	7093	8115	4286	5267	560	728	80,95	8,54	11,11
585	628	196	100	76	14,0	90,2	2,75	12,88	3,43	68,48	7,87	7787	7918	4435	4894	792	869	74,66	12,08	13,26
625	550	235	137	78	14,8	90,83	2,61	16,62	1,95	78,24	6,74	7920	7766	4835	4365	1064	1136	66,44	16,25	17,33
640	548	247	122	83	15,9	92,02	2,43	18,43	8,99	87,44	6,92	8027	8668	4442	4400	1057	1097	67,12	16,12	16,76

Данные по опытам на 1 кг горючей массы угля

Исследование высокоскоростного термического разложения топлив

29

Доли небаланса, относимые на полукокс и пирогенетическую воду, определялись по особой методике, предусматривающей увязку теплового баланса и материальных балансов углерода и водорода в исходных и конечных продуктах.

Исправленные таким образом данные материального баланса, относенные к 1 кг горючей массы топлива, сведены в табл. 2.

Результаты опытов показывают, что с повышением температуры выход газа непрерывно возрастает и при 640° достигает 220 м^3 на тонну горючей массы исходного топлива. Как видно из рис. 2, состав газа с ростом температуры процесса изменяется в сторону непрерывного возрастания содержания водорода и снижения содержания двуокиси углерода.

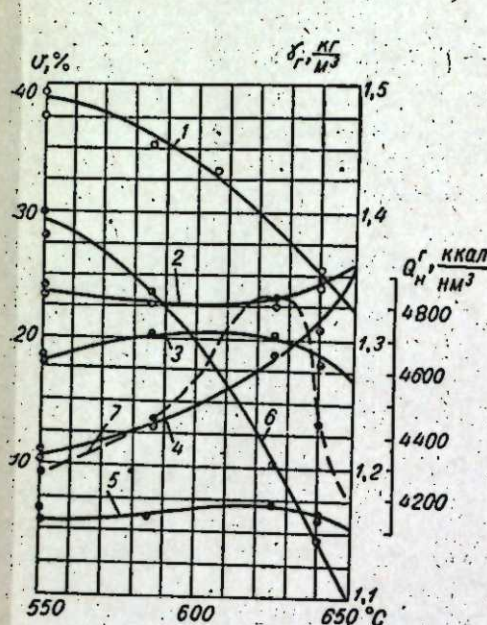


Рис. 2. Зависимость выхода компонентов газа от температуры процесса: 1 — CO_2 ; 2 — CO ; 3 — $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$; 4 — H_2 ; 5 — C_nH_m ; 6 — удельный вес газа; 7 — calorificity of gas.

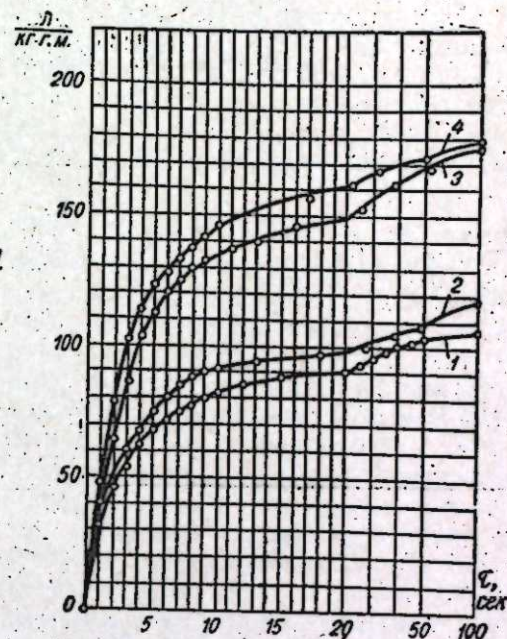


Рис. 3. Динамика выделения газа при различных температурах процесса.
1 — 550° С; 2 — 585° С; 3 — 635° С; 4 — 640° С.

Доля окиси углерода вначале несколько снижается, а после 625°C снова увеличивается. Наоборот, содержание предельных и непредельных углеводородов до температуры 625° увеличивается, достигая соответственно 21 и 7%, а затем начинает уменьшаться. Именно поэтому максимальная калорийность газа имела место также при температуре порядка $625\text{--}630^{\circ}\text{C}$ (рис. 2) и составляла 4800 ккал/м^3 .

Смола, полученная в опытах, представляла собой бурую массу с удельным весом более 1. Элементарный состав смолы и ее калорийность приведены в табл. 2. К сожалению, другие качественные характеристики смолы нами не могли быть определены.

Количество пирогагенетической воды резко возрастает до температуры 585°, а затем остается почти постоянным, составляя 7,8—8,3% от горючей массы угля.

Пробы полукокса отвеивались от песка и исследовались на калорийность и элементарный состав. Соответствующие данные на горючую массу полукокса приведены в табл. 2.

Теплотворная способность горючей массы полукокса с повышением температуры процесса непрерывно возрастала и достигала 8000 ккал/кг (при температуре опыта 640°). Выход полукокса, наоборот, непрерывно снижался.

Наибольшая доля тепла топлива, переходящего в газ (около 18%), соответствует температуре процесса 630°С.

Примерно при этой же температуре достигается и максимальная доля тепла, переходящего в смолу. Таким образом, температура процесса 630°С является, по-видимому, оптимальной для высокоскоростного разложения черновского угля, тем более, что при этой температуре газ имеет и наибольшую калорийность. На рис. 3 приведены графики динамики газовой выделения в основных опытах. Из них следует, что за первые 5 сек выделяется примерно 60% всего газа (от полученного при выдержке в 20 мин), за 10 сек — 70—75%, а 80—85% суммарного газа выделяется менее чем за 100 сек. Таким образом, длительная выдержка топлива в камере термического разложения не требуется, а по данным Стонакса [2], и нецелесообразна, поскольку в заключительный период выгазовывания, как правило, выделяется низкокалорийный газ.

ВЫВОДЫ

1. Создана оригинальная установка периодического действия для исследования термического разложения топлива при высокоскоростном нагреве твердым теплоносителем. Установка обеспечивает удовлетворительную сходимость материальных балансов и достаточную точность результатов при исследовании выхода и качества продуктов термического разложения, а также весьма чистую картину динамики газовой выделения.

2. Исследован процесс высокоскоростного термического разложения черновского бурого угля в интервале температур от 550 до 640°С. Получены закономерности изменения выхода и качества всех продуктов термического разложения в зависимости от температуры процесса.

3. Для черновского угля до 60% всего газа выделяется за первые 5 сек опыта, за 10 сек — 70—75% газа, а за 100 сек — 80—85%. 90% газа выделяется за 2—4 мин опыта. Таким образом, время пребывания топлива в реакторе энерготехнологической установки может быть ограничено 2—3 минутами.

4. С ростом температуры термического разложения черновского угля выход суммарного газа быстро возрастает, а состав его претерпевает сложные изменения.

5. Исследованный черновский уголь по выходу и качеству получаемых продуктов может быть рекомендован для энерготехнологического использования.

Оптимальная температура термического разложения черновского угля 630°С, при этой температуре наибольшее количество тепла топлива переходит в газ и смолы, а газ имеет наибольшую калорийность (4800 ккал/м³).

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
15/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Ф. Чуханов, Л. Н. Хитрин. Энерготехнологическое использование топлива. Изд-во АН СССР, М., 1956.
2. Я. А. Стонакс, З. Ф. Чуханов. Влияние температуры и времени реагирования на процесс термического разложения торфа при высокоскоростном нагреве. Инженерно-физический журнал, № 9, 1958.

В. П. ОКЛАДНИКОВ,
Е. А. КЛЕПИКОВА, А. С. ГАЛАГАНОВА

ИЗМЕНЕНИЕ СВЯЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ФУСОВ И ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ ЧЕРЕМХОВСКИХ УГЛЕЙ ПРИ РАЗГОНКЕ И ОКИСЛЕНИИ

Для брикетирования каменноугольной мелочи углей Черемховского месторождения была изучена возможность использования тяжелых остатков смол и фусов полукоксования.

Фусы и тяжелые смолы обладают некоторой связующей способностью [1, 2]. Однако для получения брикетов кондиционной прочности необходима присадка этих связующих в значительных количествах (например, фусов до 15%). Кроме того, фусы и тяжелые смолы представляют собой вязкую массу, что затрудняет их шихтовку с углем. Необходимо было найти такие способы обработки, которые позволили бы повысить связующие свойства и облегчить смешивания этих продуктов с углем.

Известно, что перегонка смолы позволяет отогнать легкие фракции, за счет чего повышается удельный вес и в результате возрастает температура размягчения и повышается вязкость связующего. Следовательно, улучшить вяжущую способность фусов и тяжелых смол полукоксования можно путем отгонки легких фракций.

Известно также, что при окислении кислородом воздуха повышается удельный вес и температура размягчения битуминозных продуктов. Работами ряда авторов [3, 4] установлено, что в процессе окисления воздуха в результате действия кислорода некоторая часть масляных фракций переходит в смолы, а смолы при этом полимеризуются и превращаются в асфальтены. Асфальтены, в свою очередь, конденсируются в карбены и карбоиды. Все это улучшает связующие свойства окисляемых продуктов, поскольку тяжелые фракции обладают более высокой склеивающей способностью.

Однако в процессе окисления смолы образуются медленнее, чем асфальтены. В результате относительное содержание смол в окисленных продуктах понижается, а количество асфальтенов, карбенов и карбоидов возрастает. Избыток же этих фракций вызывает потерю пластичности и тем самым снижает вяжущую способность. Следовательно, глубокое окисление может привести к снижению качества связующих веществ, что необходимо учитывать при определении оптимальных режимов окисления связующих.

Исходя из вышеизложенного, в качестве методов, повышающих связующие свойства фусов и тяжелых смол полукоксования, мы приняли отгонку легких фракций и окисление.

Перегонка фусов проводилась после предварительного подсушивания их в течение 2 ч при температуре 80°С. Конечными температурами

отбора легких фракций перегонки были приняты 180, 230 и 270°. Принятие таких относительно низких температур объясняется желанием отогнать наиболее легкие фракции и средние масла, количество которых в смоле фусов составляет около 10%. При этом в смоле фусов сохраняются тяжелые масла, которые при сравнительно большом количестве асфальтенов и механических примесей в фусах должны обеспечить достаточную вязкость, необходимую для сохранения их связующих качеств.

Изменение фракционного состава и температур размягчения остатков представлено в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при повышении температуры отбора легких фракций повышается температура размягчения фусов. При этом они переходят в твердое состояние, что значительно облегчает их шихтовку с углем. С полученными остатками изготавливались брикеты, у которых затем определялась прочность. (Брикетированию подвергалась каменноугольная мелочь Храмцовского разреза Черемховского месторождения крупностью 0—3 мм с содержанием влаги 3,5%. Во всех случаях давление прессования и количество связующего оставались постоянными и были равны соответственно 300 кг/см² и 11%). Показатели прочности брикетов позволяли судить о вяжущей способности остатков.

Наибольшую прочность имели брикеты ($R_{сж} = 90$ кг/см²), полученные с фусами после отгона из них легких фракций до 230° (рис. 1). Более низкая и более высокая конечные температуры перегонки дают ос-

Таблица 1

Конечная температура перегонки, °С	Выход фракций, %	Температура размягчения остатков, по "Книш", °С
180	6,9 (вместе с влагой)	52
230	9,7	55
270	15,7	63

татки с худшими вяжущими качествами ($R_{сж}$ соответственно равно 60,0 и 70,3 кг/см²). Это можно объяснить, вероятно, тем, что в первом случае имеется избыток легких фракций, а во втором — их недостаток.

Фусы, бравшиеся в каждом опыте в количестве 1 кг, помещались в круглодонную колбу и окислялись кислородом воздуха. В процессе окисления они перемешивались механической мешалкой. Окислялись фусы при постоянной температуре, но при различных скоростях продуваемого воздуха и различной продолжительности процесса. Перед окислением они подсушивались при температуре 80° в течение 1,5—2 ч. Температура окисления была 170—180°, расход воздуха изменялся от 0,5 до 6,0 л в минуту. Время реакций окисления принималось равным 1, 2, 3 и 4 ч.

В табл. 2 приведена характеристика окисленных фусов в зависимости от скорости продувки воздуха при постоянной продолжительности реакции окисления, равной 1 ч, а в табл. 3 — в зависимости от различной продолжительности реакции окисления, но при постоянной скорости продувки воздуха, равной 1 л в минуту.

Из таблиц видно, что с увеличением скорости продувки воздуха и продолжительности окисления температура размягчения фусов повы-

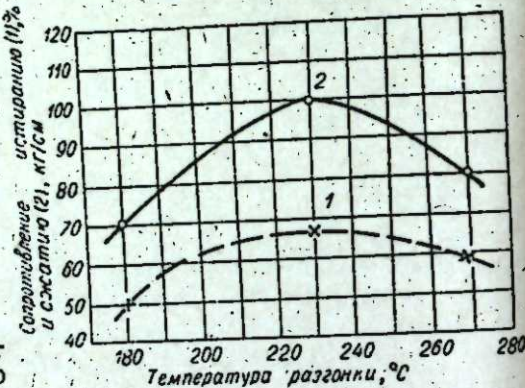


Рис. 1. Влияние режима разгонки фусов на прочность брикетов. Количество фусов — 11%; давление прессования — 300 кг/см².

Таблица 2

Скорость продувки воздуха, л/мин	0,0	0,5	1,0	1,5	3,0	6,0
Температура размягчения, °С	45	49	59	68	97	128

Таблица 3

Продолжительность окисления, ч	1	2	3	4
Температура размягчения, °С	59	76	97	115

шается. Окисленные фусы представляют собой твердый легкодробимый продукт, что без всякого затруднения позволяет смешивать их с углем.

Окисленные фусы были проверены на вяжущую способность. Лучшими связующими свойствами обладают остатки, полученные при окислении в течение 1 ч со скоростью продувки воздуха 0,5 л/мин на 1 кг фусов (рис. 2). Исследования подтверждают предположение о том, что слишком глубокое окисление понижает качество связующих веществ.

Тяжелая смола полукоксования в натуральном виде представляет собой вязкую массу с невысокой связующей способностью и имеет следующие показатели: удельный вес при 20° — 1,08 г/см³, влажность — 0,45%, количество твердых включений — 2,7%, температура застывания — 48°, зола на сухую массу — 0,33%.

Разгонка тяжелой смолы характеризуется следующими выходами фракций:

до 230° — нет,	270—300° — 3,38%,
230—270° — 1,02%,	300—320° — 15,39%,
	потери — 1,47%.

Отгонка легких фракций смолы с целью повышения ее вяжущей способности проводилась до 330, 350, 380 и 400°.

Характеристика полученных остатков приведена в табл. 4.

Таблица 4

Остаток при температуре, °С	Удельный вес, г/см ³	Зольность, %	Температура размягчения, °С	Твердых включений, %
330	1,30	0,7	62,0	1,7
350	1,35	1,0	85,0	2,6
380	1,80	1,1	113,5	7,7
400	1,87	1,3	133,5	14,9

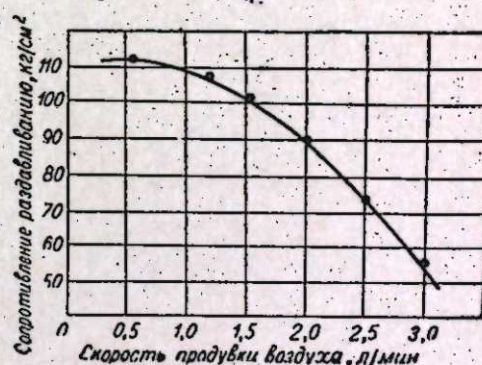


Рис. 2. Влияние режима окисления фусов на прочность брикетов.

Количество фусов — 11%; давление прессования — 300 кг/см²; продолжительность окисления — 1 ч.

Из табл. 4 видно, что с повышением температуры отбора легкой части смолы резко возрастает температура размягчения остатков, что приводит, как указывалось выше, к снижению вяжущей способности. Это подтвердилось тем, что брикеты достаточной прочности были получены лишь с остатками не выше 330° (рис. 3). Повышение температуры отбора легких фракций приводит к ухудшению связующих качеств получаемых остатков. Это можно объяснить тем, что в процессе разгонки из смолы полностью отгоняются средние и тяжелые масла и остаются лишь тяжелые фракции.

В отличие от разгонки при окислении смолы в тяжелые фракции переходит лишь часть легких фракций, и в результате в окисленном остатке имеется достаточное количество их. Поэтому связующие свой-

ства окисленной смолы должны быть выше, чем разогнанной. Для проверки этого положения было проведено окисление исследуемой смолы.

Тяжелая смола полукоксования окислялась по методике, принятой для окисления фусов. Продолжительность и температура реакции окисления оставались во всех случаях постоянными и были равны соответственно 5 ч и 170—180°. Скорость продувки воздухом изменялась от 5,0 до 6,5 л в минуту на 1 кг смолы.

Характеристика остатков окисления тяжелых смол представлена в табл. 5.

Таблица 5

Скорость продувки воздуха, л/мин	0,0	5,0	5,5	6,0	6,5
Температура размягчения остатков окисления по «киш», °С	38,5	63,0	67,0	69,0	73,0

Данные табл. 5 показывают, что по мере увеличения количества продуваемого воздуха в процессе окисления повышается температура размягчения тяжелой смолы полукоксования. Интересно отметить, что в случае окисления тяжелой смолы температура размягчения повышается более плавно и с меньшей скоростью, чем при окислении фусов. При этом время самой реакции окисления значительно больше.

Вяжущая способность тяжелой смолы полукоксования, окисленной до различной глубины, определялась по методике, принятой выше. Было установлено, что с увеличением глубины окисления вяжущая способ-

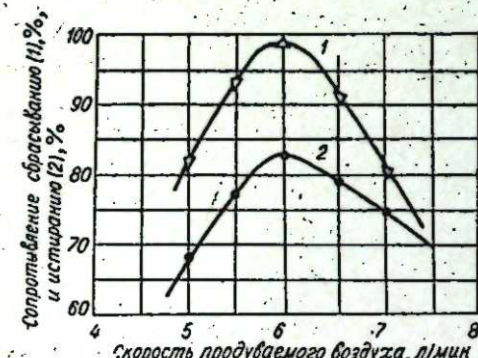


Рис. 4. Влияние режима окисления тяжелой смолы полукоксования на прочность брикетов.

ли, что при одинаковых технологических параметрах брикетирования окисление дает связующие более высокого качества, чем отгонка легких фракций.

Было интересно проследить, какие компоненты, составляющие фусы и тяжелые смолы, влияют на склеивающую способность этих связующих в процессе формирования брикетов. С этой целью в фусах, окисленных

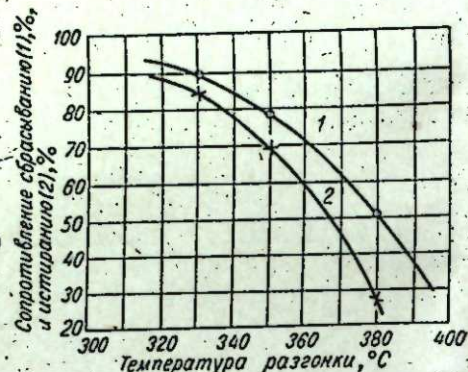


Рис. 3. Влияние режима разгонки тяжелой смолы полукоксования на прочность брикетов.
Количество остатков тяжелой смолы — 8%;
давление прессования — 300 кг/см².

до остатков разгонки тяжелой смолы (табл. 7) претерпевает изменения такого же характера, что и при окислении фусов: содержание органических оснований уменьшается, кислот, фенолов и асфальтенов возрастает. Однако в случае отбора легких фракций изменение содержания органических оснований и кислот в полученных остатках смолы весьма незначительно.

Интересны изменения содержания фенолов и асфальтенов. В остатках, полученных при температуре выше 330 и 350°, содержание фенолов почти не изменяется, но при дальнейшем увеличении температур резко возрастает.

Увеличение содержания в остатках асфальтенов с повышением конечной температуры отбора легких фракций выше 330° протекает весьма интенсивно и вызывает резкое снижение прочности брикетов (см. табл. 7). Необходимую прочность брикетов обеспечили остатки разгонки, содержащие не более 9,4% асфальтенов.

Интересно отметить то, что при окислении фусов, которые состоят

до различной глубины, и в остатках тяжелых смол, полученных при различных температурах отбора легких фракций, был определен групповой состав.

При сопоставлении изменения прочности брикетов и группового состава для одних и тех же связующих устанавливалось влияние изменения группового состава фусов и тяжелых смол на их связующие свойства. Из группового состава каждого связующего определялись органические основания и кислоты, фенолы и асфальтены. Изменение группового состава фусов в процессе их окисления и влияние этого изменения на качество брикетов приведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что с увеличением скорости продувки воздуха и продолжительности окисления, содержание органических кислот, фенолов и асфальтенов возросло. При этом прочность брикетов понизилась. Особенно резкое падение прочности произошло при увеличении скорости продувки воздуха до 3 л/мин. Такое резкое понижение прочности брикетов, вероятно, можно объяснить возрастанием содержания асфальтенов.

Поскольку содержание фенолов в фусах при окислении оставалось практически одинаковым, можно предполагать, что фенолы на склеивающую способность фусов почти не влияют. По данным табл. 6, трудно сказать что-либо о влиянии кислот и оснований на вяжущую способность фусов. Для проверки влияния этих компонентов требуются специальные исследования.

Групповой состав остатков разгонки тяжелой смолы (табл. 7) претерпевает изменения такого же характера, что и при окислении фусов: содержание органических оснований уменьшается, кислот, фенолов и асфальтенов возрастает. Однако в случае отбора легких фракций изменение содержания органических оснований и кислот в полученных остатках смолы весьма незначительно.

Интересны изменения содержания фенолов и асфальтенов. В остатках, полученных при температуре выше 330 и 350°, содержание фенолов почти не изменяется, но при дальнейшем увеличении температур резко возрастает.

Увеличение содержания в остатках асфальтенов с повышением конечной температуры отбора легких фракций выше 330° протекает весьма интенсивно и вызывает резкое снижение прочности брикетов (см. табл. 7). Необходимую прочность брикетов обеспечили остатки разгонки, содержащие не более 9,4% асфальтенов.

Интересно отметить то, что при окислении фусов, которые состоят

Таблица 6

Скорость продувки воздуха, л/мин	Групп. состав фусов, %				Прочность брикетов (сопротивление раздвиганию), кг/см²
	органич. основания	кислоты	фенолы	асфальтены	
Неокислен.	1,7	0,3	15,9	14,8	102,4
0,5	1,6	0,3	15,8	16,0	111,2
1,0	1,4	0,4	15,9	17,8	108,8
1,5	0,8	0,6	16,1	18,1	100,0
3,0	0,7	1,4	16,9	19,7	55,5
6,0	0,5	1,5	17,1	23,1	42,3

Таблица 7

Остаток при температуре, °С	Групп. состав, %				Прочность брикетов	
	органич. основания	кислоты	фенолы	асфальтены	сопротивление раздвиганию, кг/см	сопротивление истиранию, %
Не разогн.	1,40	0,20	11,3	9,3	96,0	86,2
Выше 330	1,40	0,20	11,3	9,4	102,0	84,5
350	1,35	0,35	11,4	13,0	80,6	68,3
380	1,20	0,45	13,0	19,6	62,3	30,2
400	0,90	0,60	18,8	25,2	42,5	22,5

из смеси тяжелой смолы и твердых включений в соотношении 1 : 1, брикеты кондиционной прочности были получены при содержании асфальтенов в фусах, достигающем 18%. При разгонке одной тяжелой смолы содержание асфальтенов в остатке, идущем на получение брикетов такой же прочности, должно быть почти в 2 раза меньше. Это, вероятно, объясняется тем, что в отличие от разгонки в окисленных фусах остаются средние и тяжелые масла (которые дополняют действие избытка асфальтенов).

Следовательно, при выборе операции по предварительной обработке связующих предпочтение следует отдавать окислению, так как большее количество асфальтенов должно благоприятно сказаться на повышении спекающей способности связующих веществ.

ВЫВОДЫ

1. Предварительная обработка фусов и тяжелых смол полукokesования черемховских углей методом окисления и отгона легких фракций позволяет повысить их связующие свойства.
2. За счет окисления и разгонки фусы и тяжелые смолы из пастообразного состояния переходят в твердое, что повышает их способность к измельчению и облегчает шихтовку с углем.
3. Определено, что с повышением температуры легких фракций и увеличением продолжительности окисления фусов и тяжелых смол температура размягчения этих продуктов возрастает. Связующая способность остатков при этом увеличивается, но лишь до определенного предела. С дальнейшим повышением температуры размягчения связующая способность падает.
4. Можно предполагать, что основное влияние на связующую способность фусов и тяжелых смол после окисления и отгонки легких фракций оказывают асфальтены, в меньшей степени влияют фенолы и почти не влияют кислоты и основания.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутский государственный университет
Иркутск

Поступила в редакцию
7/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Окладников. Использование тяжелых смол и фусов полукokesования для производства каменноугольных брикетов. Сб. Коксование углей Иркутского бассейна по новой технологии. Тр. ВСФ СО АН СССР, сер. техн., вып. 11, Иркутск, 1957.
2. Д. М. Аптер, А. Л. Перепелица, В. П. Окладников. О брикетировании мелочи и отходов обогащения углей. Сб. Полукokesование углей Восточной Сибири. Тр. ВСФ СО АН СССР, сер. техн., вып. 9, Иркутск, 1956.
3. Г. З. Звенигородский, Ф. Ф. Брехуненко, В. Н. Крохин. О замене каменноугольного пека в углебрикетном производстве окисленными тяжелыми остатками переработки нефти. Сб. Вопросы обогащения и брикетирования углей, № 9. Углетехиздат, 1953.
4. Г. Д. Крейцер. Асфальты, битумы и пеки. Промстройиздат, 1952.

Л. Н. ЖДАНКОВИЧ, Т. Н. КОМАРОВА

ПОЛУЧЕНИЕ ОФЛЮСОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ ИЗ КОРШУНОВСКИХ КОНЦЕНТРАТОВ

Основным сырьем будущего Тайшетского металлургического комбината является железная руда Коршуновского месторождения Ангара-Илимского железорудного района Восточной Сибири, находящегося в 500 км от г. Тайшета.

В связи с повышенным содержанием кислых окислов в пустой породе переработка коршуновской руды в доменных печах возможна только после тщательного обогащения, связанного с весьма тонким измельчением. При глубоком обогащении, как это предусмотрено проектом Коршуновского горнообогатительного комбината, получается около 60% концентрата, измельченного до частиц размером менее 0,074 мм. Агломерация этого концентрата вследствие плохой газопроницаемости его связана с понижением производительности агломашины [1]. Кроме того, транспортировка пылевидных материалов на далекие расстояния по железной дороге неизбежно приведет к большим потерям.

В связи с этим представляется целесообразным применить к коршуновскому концентрату известный в СССР и за рубежом метод окатышования (гранулирования) с последующим обжигом для получения прочных окатышей (гранул), являющихся хорошим рудным сырьем для доменной плавки.

Известно, что применение даже наполовину окатанной шихты увеличивает производительность доменной печи на 15—20% и снижает расход кокса приблизительно на 15% [2].

Цель настоящего исследования — установить возможность получения достаточно прочных обожженных окатышей из концентрата коршуновской руды и изучить влияние различных факторов на механическую прочность этих окатышей.

Методика исследования. Средняя проба концентрата коршуновской руды была отобрана на обогатительной фабрике Красноярского завода «Сибэлектросталь». Концентрат получали по схеме испытания смешанной балансовой руды. Проба руды для обогащения была отобрана Иркутским геологическим управлением из штолен № 1 и 5 по левому берегу р. Коршунихи.

Полученный концентрат просеивался через сито 0,20 мм для удаления из него различных случайных механических включений (комочки крупной руды и др.). Просеянный концентрат имел в своем составе около 60% класса менее 0,074 мм (остальное не выше 0,2 мм). Такой ситовый состав соответствует предусмотренному проектом Коршуновского горнообогатительного комбината.

В качестве флюса и восстановителя добавлялись известь и кокс, которые также измельчались и просеивались через сито 0,2 мм. Окомкование смеси осуществлялось на чаше лабораторного гранулятора ди-

аметром 400 мм. Число оборотов чаш — 36 об/мин, угол наклона — 15°. Влажность сырых гранул составляла 6—7%.

Обжиг гранул производился в силитовой печи с двухсторонним обогревом в окислительной атмосфере. Гранулы загружались насыпью на специальную решетчатую подставку в холодную печь. Температура печи поднималась до 500° за 30 мин, затем до 700° со скоростью 5 град/мин, после чего скорость нагрева составляла 2,5 град/мин. Конечная температура прокалики — 1200°С.

Обожженные гранулы в количестве 1700 г от каждого опыта подвергались 10-кратному сбрасыванию с высоты 1 м на металлическую плиту. Испытание на истирание производилось в течение 3 мин в лабораторном барабане конструкции И. Н. Николаева диаметром 350 мм с 4 полками внутри. Для определения удельных разрушающих нагрузок применялся гидравлический пресс. Перед испытанием гранулы стачивались с двух сторон до образования двух параллельных плоскостей. Для сырых гранул определялись раздавливающие усилия на один окатыш без предварительной подготовки параллельных плоскостей. Гранулы имели размеры 12—18 мм. Такой размер наиболее полно удовлетворяет требованиям обжига и доменной плавки [3, 4].

Влияние добавки СаО на прочность «сырых» и прокаленных гранул. Лабораторные исследования показали, что гранулы, полученные из концентрата коршунской руды без связующего, в сыром виде имеют прочность на раздавливание 0,9—1,0 кг на один окатыш. Эти же гранулы, прокаленные при температуре 1200°, обладают высокой прочностью на раздавливание и малой истираемостью. Так, остаток на сите 10 мм после 10-кратного сбрасывания и истирания гранул в лабораторном барабане соответственно составил 99,7% и 98,8%. Добавка к концентрату восстановителя значительно снижает прочность на раздавливание сырых гранул.

С целью увеличения прочности сырых гранул в шихту добавлялась известь в виде окиси кальция. В данном случае она являлась не только связующим, но и необходимым компонентом для доменной плавки. При увлажнении шихты в момент грануляции образовывался гидрат окиси кальция, увеличивающий прочность сырых гранул. Количество извести в шихте изменялось от 1 до 3%.

Изменение раздавливающих усилий, сопротивление дроблению и истиранию сырых и прокаленных гранул в зависимости от содержания в исходной шихте окиси кальция показаны на рис. 1. При добавке даже 1% извести прочность сырых гранул заметно возрастает с 0,05 до 0,4 кг, причем рост прочности продолжается по мере увеличения в шихте извести. Сопротивление раздавливанию сырых и прокаленных гранул с увеличением окиси кальция в шихте растет до определенного предела (2,5%), затем начинает уменьшаться. Оптимальное количество извести для получения удовлетворительной прочности сырых и прокаленных гранул составляет 2,0—2,5%.

Обожженные при 1200° гранулы из шихты, содержащей 2% извести, почти не истираются (остаток на сите 10 мм — 98,7%), и при сбрасывании не разрушаются (остаток на сите 10 мм после 10-кратного сбрасывания на металлическую плиту — 98,8%).

Следует отметить, что все опыты по выявлению влияния извести на прочность окатышей проводились на шихте, в состав которой входили, кроме извести, 4% кокса и остальное — концентрат коршунской руды.

Влияние добавки кокса на прочность сырых и прокаленных гранул. Топливом для спекания руды обычно служат

мелкие фракции кокса, антрацита или неспекающегося угля. Чаще всего для этих целей применяют мелкий кокс.

В наших лабораторных опытах в качестве восстановителя в шихту добавлялся кокс тонкого помола. Необходимость тонкого измельчения кокса обусловлена самим процессом гранулирования. Лабораторные опыты показали, что лучшая равномерность и плотность гранул достигается в случае однородного помола отдельных компонентов шихты. Так как руда после ее обогащения достигает максимальной крупности 0,2 мм, то и кокс следует брать этого же помола.

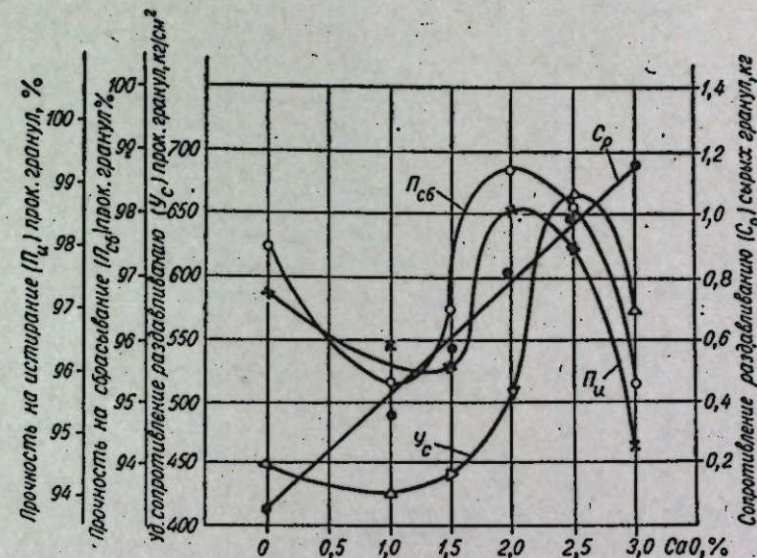


Рис. 1. Влияние добавки СаО на прочность сырых и прокаленных гранул.

Подготовка руд к доменной плавке методом предварительного гранулирования не будет идти в разрез с общим принципом подготовки компонентов шихты по крупности, который заключается в том, чтобы по возможности избегать разрыва в размерах зерен основных ее компонентов.

Опыты по изучению влияния количества кокса в шихте на прочность гранул показали, что по мере увеличения добавки кокса в шихту снижается прочность на раздавливание сырых гранул. Сопротивление истирающим и дробящим усилиям прокаленных гранул уменьшается до определенного предела (25%) содержания кокса в шихте, после чего оно возрастает.

Характер изменения прочностных характеристик гранул при изменении содержания в исходной шихте кокса показан на рис. 2.

Кокс как инертная добавка при низкой температуре по мере его увеличения способствует как бы разрыхлению рудной составляющей шихты в процессе гранулирования. Сопротивление раздавливанию сырых гранул снижается с 1,535 кг до 0,845 кг при изменении содержания кокса от 0 до 4,5%.

Влияние температуры прокалики на прочность гранул. Обжиг комков может производиться в промышленных условиях в различных шахтных печах круглого или прямоугольного сечения [5]. Не исключена возможность обжига их и в других печах (например, вращающихся) или на аглолентах [6]. Получение однородных по размерам окатышей методом гранулирования обеспечит равномерное распределе-

ние тепла, что является основным условием успешного обжига комков.

Температура обжига гранул может колебаться в довольно широких пределах в зависимости от состава шихты и степени насыщенности руды железом. Так, при обжиге некоторых богатых концентратов температуру можно повышать до 1300—1350°, при обжиге концентрата с низкой температурой размягчения она может не превышать 1150°.

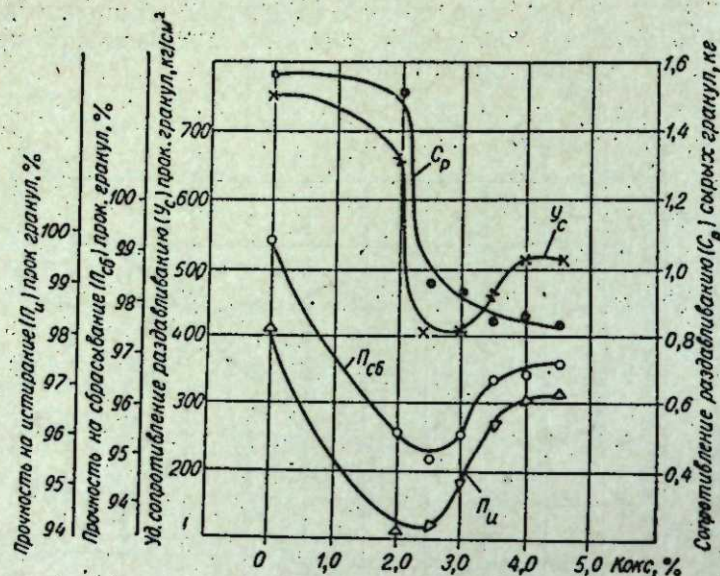


Рис. 2. Влияние добавки кокса на прочность сырых и прокаленных гранул.

При подготовке к плавке коршуновских руд следовало найти оптимальную температуру обжига железорудных гранул.

Результаты предыдущих опытов показали, что оптимальной может быть принята шихта, в состав которой входит 4% кокса, 2% извести, остальное — концентрат коршуновской руды. Все опыты по прокатке гранул проводились на этой шихте. Температура обжига изменялась от 900 до 1300°, при конечной температуре гранулы выдерживались в течение 1 ч.

Опыты показали, что конечная температура нагрева существенно влияет как на прочность окатышей, так и на их структуру. Прокаленные при 900° гранулы имели коричневатый оттенок поверхности, совершенно не проплавленную структуру, и вследствие этого остаток на сите 10 мм после 10-кратного сбрасывания составил только 41%. Остальная часть окатышей полностью разрушилась.

Таким образом, температура прокатки 900° оказалась недостаточной для спекания рудных частичек. Повышение температуры прокатки увеличивает прочность окатышей, однако гранулы, прокаленные при температуре ниже 1200°, во всех случаях обладают низкой механической прочностью и проплавлены плохо. Характер изменения прочностных характеристик гранул, прокаленных при различной температуре, показан на рис. 3.

Кривые, представленные на этом рисунке, показывают, что окатыши, обожженные при 1200°, имеют высокую механическую прочность. Остаток на сите 10 мм после 10-кратного сбрасывания гранул, полученных при этой температуре, составил 96,7% и после истирания в барабане — 97,0%. Структура их хорошо проплавлена. Удельное сопротивление раз-

давлению гранул, обожженных при 1200°, составляет приблизительно 500 кг/см². Гранулы после 7-суточного хранения в воде имели удельное сопротивление раздавливанию 456 кг/см². Влагопоглощение их за этот период составило 5,6%. Такие окатыши транспортабельны в любое время года и, без сомнения, не разрушатся в доменной печи под давлением столба плавильных материалов.

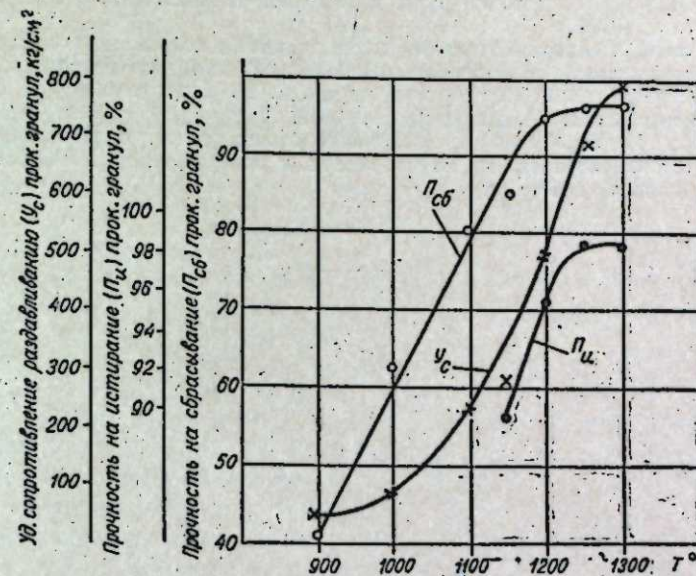


Рис. 3. Влияние температуры прокатки на прочность гранул.

Результаты лабораторных опытов должны быть уточнены в полупромышленных масштабах, включая опытные плавки. Такие опыты позволяют определить экономический эффект внедрения в промышленность Восточной Сибири окомкования коршуновских концентратов с последующим обжигом окатышей.

ВЫВОДЫ

1. В результате лабораторных опытов показана возможность получения прочных офлюсованных окатышей из концентрата коршуновской руды. Изучено влияние добавок извести и кокса на прочность сырых и прокаленных гранул, а также влияние температуры обжига на прочность окатышей, установлена оптимальная температура обжига гранул — 1200°.

2. Лабораторными исследованиями установлено, что оптимальной шихтой для получения прочных офлюсованных окатышей из руды Коршуновского месторождения может быть шихта следующего состава: 94% концентрата коршуновской руды, 2% извести и 4% кокса.

3. Для технико-экономического обоснования предлагаемой схемы переработки коршуновской руды необходимо провести полузаводские испытания с последующими опытными плавками.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск

Поступила в редакцию
5/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Никитин, В. А. Арбузов. Агломерация железных руд. Металлургиздат, 1957.
2. Окомкование железных руд. Экспресс-информация. Сер. металлургия и металлообработка, вып. 33, 1956.
3. Р. Минтроп. Уменьшение расхода кокса и увеличение выплавки чугуна в результате предварительной подготовки руды к доменной плавке. Пробл. современной металлургии, № 5, 1958.
4. А. А. Чечулин. Экспериментальные характеристики сопротивления слоя кокса и агломерата. Бюлл. научн.-техн. информ. ВНИИТ, № 1. Металлургиздат, 1956.
5. Черная металлургия капиталистических стран, ч. II. Подготовка руд к плавке и доменное производство. Металлургиздат, 1957.
6. Д. Г. Хохлов, И. Е. Ручкин. Получение офлюсованных окатышей из соколово-сарбайских концентратов. Тр. научн.-исслед. и проектн. ин-та УРАЛМЕХАНОБР, вып. 7. Свердловск, 1960.

А. Н. КИРГИНЦЕВ

ФЛУКТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БИНАРНОГО РАСТВОРА

Сообщение I

Флуктуации концентрации, по нашему мнению, являются неотъемлемым свойством раствора, поэтому без их учета свойства раствора не могут быть поняты достаточно полно.

Флуктуации концентрации однозначно определяются состоянием раствора. Зная значение термодинамических функций раствора, можно судить о флуктуациях концентрации. Однако на этом пути встречаются существенные затруднения. В статистических методах модель раствора, которой чаще всего является модель Изинга, не характеризуется какими-либо особенностями в отношении флуктуаций концентрации. Поскольку значения термодинамических функций такой модели раствора не могут быть вычислены точно и, кроме того, модели раствора довольно грубо отображают реальные смеси, то и суждение о флуктуациях концентрации на основании таких моделей будет весьма приближенным. Поэтому представляется целесообразным такой метод, когда особенности флуктуаций концентрации заложены уже в самой модели раствора.

В предыдущих работах [1, 2] рассматривались отдельные особенности флуктуаций концентрации. В этом сообщении будет проведен более тщательный анализ основных допущений и основных следствий флуктуационной модели раствора.

В настоящее время широко развиты различные варианты теории «свободного объема» [3], в развитии которых весьма существенную роль сыграли работы Я. И. Френкеля [4]. Согласно теории «свободного объема», каждая молекула движется около одного из узлов решетки в ячейке, размеры которой ограничены соседними молекулами. Объем ячеек всегда превышает собственный объем молекул. Теория «свободного объема» постулирует существование таких ячеек как в чистых веществах, так и в растворах. Однако в растворах существуют некоторые особенности, отсутствующие в чистых веществах. Рассмотрим эти особенности.

В бинарном растворе находятся молекулы двух сортов, и мы вправе постулировать существование ячеек двух сортов. Ячейка первого сорта характеризуется определенным полем сил, обусловленным длительным нахождением в этой ячейке молекулы первого сорта. Ячейка второго сорта также характеризуется определенным полем сил, обусловленным длительным нахождением в ней молекулы второго сорта. Поле сил, характеризующее ячейку первого или второго сорта, может быть неизменным во времени, но может и изменяться. Однако эти изменения будут подчинены определенному закону, одинаковому для всех ячеек одного сорта. Рассмотрим поведение ячейки первого сорта во вре-

мени. Пусть молекула первого сорта, находящаяся вначале в этой ячейке, «выскочит» из ячейки и на ее место «придет» молекула второго сорта. Эта молекула вначале будет находиться под действием поля сил, характерного для ячейки первого сорта. Если молекула второго сорта в рассматриваемой ячейке пробудет достаточно долго, то поле сил перестроится и примет такой же характер, как и в ячейке второго сорта, т. е. ячейка первого сорта превратится в ячейку второго сорта. Для этого молекула в ячейке должна пробыть достаточно долго. Но если молекула второго сорта «выскочит» из рассматриваемой ячейки после истечения какого-то не очень большого времени, то поле сил не изменит своего характера и рассматриваемая ячейка останется ячейкой первого сорта. Под термином «достаточно долго» здесь следует понимать не обязательно достаточно долгое пребывание в ячейке одной молекулы второго сорта. Может оказаться, что среднее время пребывания молекулы в какой-либо ячейке много меньше среднего времени, потребного для перестройки поля сил. Но если молекула второго сорта «выскочит» из ячейки первого сорта, а на ее место «придет» молекула второго же сорта, то это будет равносильно тому, что молекула второго сорта продолжает находиться в этой ячейке.

Из изложенных соображений следует, что ячейки первого сорта могут быть заполнены молекулами второго сорта, а ячейки второго сорта — молекулами первого сорта. В соответствии с этим молекулы первого и второго сорта в бинарном растворе можно разделить на два вида:

1. Молекулы 1,1 — первого сорта, занимающие ячейки первого сорта. Их число в растворе равно N_{11} .

2. Молекулы 1,2 — первого сорта, занимающие ячейки второго сорта. Их число в растворе равно N_{12} .

3. Молекулы 2,2 — второго сорта, занимающие ячейки второго сорта. Их число в растворе равно N_{22} .

4. Молекулы 2,1 — второго сорта, занимающие ячейки первого сорта. Их число в растворе равно N_{21} .

Число ячеек первого сорта в растворе

$$N_{1x} = N_{11} + N_{21}, \quad (1)$$

а число ячеек второго сорта

$$N_{2x} = N_{22} + N_{12}. \quad (2)$$

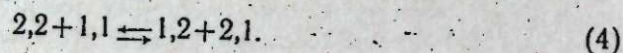
Число молекул первого и второго сорта в растворе

$$N_1 = N_{11} + N_{12}; \quad (3)$$

$$N_2 = N_{22} + N_{21}.$$

Наше положение о двух видах одного рода молекул может быть непосредственно связано с флуктуациями концентрации. Действительно, согласно нашему определению, молекула 1,2 — молекула первого сорта, занимающая ячейку второго сорта. Но чтобы эта ячейка не превратилась в ячейку первого сорта, молекула первого сорта должна находиться в ней в течение не очень долгого времени и после ее ухода в эту ячейку не должна придти молекула первого сорта, т. е. молекула 1,2 — молекула первого сорта, пребывающая малое время в какой-то части раствора. А ведь за счет таких «быстрых» молекул и возникают флуктуации концентрации. Следовательно, молекулы 1,2 (и 2,1) ответственны за возникновение флуктуаций концентрации в растворе.

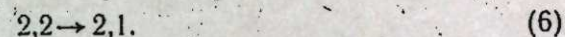
Между ячейками первого и второго сорта происходит обмен молекулами первого и второго сорта:



В результате этого обмена в ячейках первого сорта бывают молекулы второго сорта и в ячейках второго сорта — молекулы первого сорта, что может вызвать превращение ячейки первого сорта в ячейку второго сорта и наоборот. При медленной скорости обмена эти процессы маловероятны. Однако если процесс обмена протекает сравнительно быстро, то при

$$N_{11} > N_{22} \quad (5)$$

молекулы первого сорта в произвольно взятой ячейке второго сорта, участвующей в процессе обмена, будут бывать чаще, чем молекулы второго сорта в ячейках первого сорта. Это будет вызывать превращение части ячеек второго сорта в ячейки первого сорта по схеме



Подобным путем при быстром протекании процесса обмена и при

$$N_{11} < N_{22} \quad (7)$$

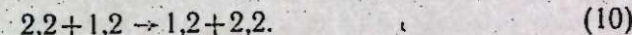
часть ячеек первого сорта будет превращаться в ячейки второго сорта по схеме



В ячейках первого сорта происходит обмен местами молекул



а в ячейках второго сорта



Мы полагаем, что молекулы по ячейкам распределены по закону случая. Тогда при

$$N_{11} > N_{21} \quad (11)$$

в ячейках первого сорта чаще будут бывать молекулы первого сорта, а не молекулы второго сорта. Это означает, что превращение ячейки первого сорта в ячейку второго сорта за счет длительного нахождения в ней молекулы второго сорта будет маловероятным процессом. Напротив, при

$$N_{11} < N_{21} \quad (12)$$

в ячейках первого сорта чаще будут бывать молекулы второго сорта и процесс превращения ячеек первого сорта в ячейки второго сорта, т. е. процесс



будет протекать с большой скоростью. Точно также при

$$N_{22} > N_{12} \quad (14)$$

процесс превращения ячеек второго сорта за счет длительного пребывания в них молекул первого сорта в ячейки первого сорта будет маловероятным. При

$$N_{22} < N_{12} \quad (15)$$

процесс



будет протекать с большей скоростью.

В растворе мы можем выделить три области.

1. Первая область характеризуется условиями:

$$N_{11} > N_{21}, N_{22} > N_{12}. \quad (17)$$

В этой области процесс обмена, выражаемый уравнением (4), протекает с малой скоростью, и поэтому процессы (6) и (8) также протекают с ма-

лой скоростью. В соответствии с условиями (17) с малой скоростью протекают и процессы (13), (16).

2. Вторая область характеризуется условиями

$$N_{11} < N_{21}, N_{22} > N_{12}, N_{11} > N_{22}. \quad (18)$$

В этой области процесс обмена, выражаемый уравнением (4), протекает с большой скоростью, что в соответствии с условиями (18) приводит к протеканию с большой скоростью процессов

$$2,2 \rightarrow 2,1 \text{ и } 2,1 \rightarrow 2,2. \quad (19)$$

3. В третьей области

$$N_{11} > N_{21}, N_{22} < N_{12}, N_{22} > N_{11}. \quad (20)$$

Здесь процесс обмена, выражаемый уравнением (4), протекает также с большой скоростью, что в соответствии с условиями (20) приводит к протеканию с большой скоростью процессов

$$1,1 \rightarrow 1,2 \text{ и } 1,2 \rightarrow 1,1. \quad (21)$$

Нетрудно видеть, что другие случаи

$$N_{11} < N_{21}, N_{22} > N_{12}, N_{11} < N_{22}, \quad (22)$$

$$N_{11} > N_{21}, N_{22} < N_{12}, N_{11} > N_{22} \quad (23)$$

исключены. Действительно, если бы соблюдались первые два неравенства (22), то в растворе с большой скоростью протекал бы процесс (13), но если бы соблюдалось последнее неравенство в (22), то в растворе с большой скоростью протекал бы процесс (8). Одновременное протекание этих процессов вывело бы раствор из состояния равновесия. Подобным образом можно доказать невозможность осуществления условия (23). Исключен также случай, когда

$$N_{11} < N_{21}, N_{22} < N_{12}. \quad (24)$$

Если бы в растворе соблюдалось условие (24), то с большой скоростью протекали бы процессы (13) и (16). Для их компенсации должен быстро протекать процесс обмена (4). Но поскольку в общем случае $N_{11} > N_{22}$ или $N_{11} < N_{22}$, то быстрое протекание процесса (4) вызовет протекание только процесса (6) или только процесса (8), что вызовет также нарушение состояния равновесия в растворе.

Перейдем теперь к вычислению энтропии смешения. Энтропия смешения раствора определяется числом перестановок структурных единиц. Процесс обмена (4) вызывает изменение вида структурных единиц, и поэтому он должен быть исключен из рассмотрения. Процессы (9) и (10), напротив, во всех случаях должны учитываться при вычислении энтропии смешения. Процесс (9) означает перестановки молекул первого и второго сорта в ячейках первого сорта, а процесс (10) — означает перестановки молекул первого и второго сорта в ячейках второго сорта. Число перестановок молекула 1,1 — молекула 2,1

$$W_{12} = \frac{(N_{11} + N_{21})!}{N_{11}! N_{21}!}, \quad (25)$$

а число перестановок молекула 2,2 — молекула 1,2

$$W_{21} = \frac{(N_{22} + N_{12})!}{N_{22}! N_{12}!}. \quad (26)$$

Во второй области, помимо процессов (9) и (10), протекают еще процессы (19), которые вместе могут быть записаны так:

$$2,2 + 2,1 \rightarrow 2,1 + 2,2. \quad (27)$$

Последний процесс означает перестановки ячеек первого и второго сорта без перестановки молекул второго сорта. Число таких перестановок

$$W_2 = \frac{(N_{22} + N_{21})!}{N_{22}! N_{21}!}. \quad (28)$$

В третьей области, помимо процессов (9) и (10), протекают процессы (21), которые вместе могут быть записаны так:

$$1,1 + 1,2 \rightarrow 1,2 + 1,1. \quad (29)$$

Последний процесс означает перестановки ячеек первого и второго сорта без перестановки молекул первого сорта. Число таких перестановок

$$W_1 = \frac{(N_{11} + N_{12})!}{N_{11}! N_{12}!}. \quad (30)$$

Обозначим через $\Delta S'$, $\Delta S''$ и $\Delta S'''$ энтропию смешения в первой, второй и третьей областях. Тогда

$$\Delta S' = \frac{R}{N} (\ln W_{12} + \ln W_{21}); \quad (31)$$

$$\Delta S'' = \frac{R}{N} (\ln W_{12} + \ln W_{21} + \ln W_2); \quad (32)$$

$$\Delta S''' = \frac{R}{N} (\ln W_{12} + \ln W_{21} + \ln W_1); \quad (33)$$

а с применением формулы Стирлинга

$$-\Delta S' = \frac{R}{N} \left(N_{11} \ln \frac{N_{11}}{N_{11} + N_{21}} + N_{21} \ln \frac{N_{21}}{N_{11} + N_{21}} + N_{22} \ln \frac{N_{22}}{N_{22} + N_{12}} + N_{12} \ln \frac{N_{12}}{N_{22} + N_{12}} \right); \quad (34)$$

$$-\Delta S'' = \frac{R}{N} \left(N_{11} \ln \frac{N_{11}}{N_{11} + N_{12}} + N_{21} \ln \frac{N_{21}}{N_{11} + N_{21}} + N_{22} \ln \frac{N_{22}}{N_{22} + N_{12}} + N_{12} \ln \frac{N_{12}}{N_{22} + N_{12}} + N_{22} \ln \frac{N_{22}}{N_{22} + N_{21}} + N_{21} \ln \frac{N_{21}}{N_{22} + N_{21}} \right); \quad (35)$$

$$-\Delta S''' = \frac{R}{N} \left(N_{11} \ln \frac{N_{11}}{N_{11} + N_{21}} + N_{21} \ln \frac{N_{21}}{N_{11} + N_{21}} + N_{22} \ln \frac{N_{22}}{N_{22} + N_{12}} + N_{12} \ln \frac{N_{12}}{N_{22} + N_{12}} + N_{11} \ln \frac{N_{11}}{N_{11} + N_{12}} + N_{12} \ln \frac{N_{12}}{N_{11} + N_{12}} \right). \quad (36)$$

В работах [1, 2] рассматривались свойства первой области. Анализ условий равновесия в этом случае приводит к соотношениям:

$$\frac{N_{12}}{N_{11}} = \eta_{12} \frac{N_{22} + N_{21}}{N_{11} + N_{21}}; \quad (37)$$

$$\frac{N_{21}}{N_{22}} = \eta_{21} \frac{N_{11} + N_{21}}{N_{22} + N_{12}};$$

$$\frac{1}{\gamma_1} = b_{11} (x_1 + \beta_{12} x_2);$$

$$\frac{1}{\gamma_2} = b_{22} (x_2 + \beta_{21} x_1); \quad (38)$$

В этих выражениях γ_1 и γ_2 означают коэффициенты активности первого и второго компонентов, а

$$\eta_{12} = \exp \left[\frac{\omega_{11} - \omega_{12}}{RT} \right]; \quad (39)$$

$$\eta_{21} = \exp \left[\frac{\omega_{22} - \omega_{21}}{RT} \right];$$

$$b_{11} = \exp \left[-\frac{\omega_{11}}{RT} \right]; \quad b_{22} = \exp \left[-\frac{\omega_{22}}{RT} \right]; \quad (40)$$

$$\beta_{12} = \eta_{12} + \frac{N_{21} - N_{12}}{N_2} (1 - \eta_{12}); \quad (41)$$

$$\beta_{21} = \eta_{21} + \frac{N_{12} - N_{21}}{N_1} (1 - \eta_{21});$$

$$\omega_{11} = \frac{\partial E}{\partial m_{11}} - E_{10}; \quad \omega_{22} = \frac{\partial E}{\partial m_{22}} - E_{20}; \quad (42)$$

$$\omega_{12} = \frac{\partial E}{\partial m_{12}} - E_{10}; \quad \omega_{21} = \frac{\partial E}{\partial m_{21}} - E_{20}.$$

В обозначениях (39—42) m_{11} , m_{22} , m_{12} и m_{21} означают число молекул 1,1; 2,2; 1,2 и 2,1 в растворе в молях; E — энергия раствора; E_{10} и E_{20} — молярная энергия чистых первого и второго веществ. Отметим, что здесь мы применяем несколько иные обозначения, чем в работах [1, 2]. Кроме того, уравнения (38) являются точными уравнениями (здесь не использовано допущение (8) работы [1]), и поэтому параметры β_{12} и β_{21} имеют иное выражение, чем в работе [1].

Если мы проанализируем условия равновесия для второй области, то получим:

$$\frac{N_{12}}{N_{11}} = \eta_{12} \frac{N_{22} + N_{12}}{N_{11} + N_{21}}; \quad (43)$$

$$\left(\frac{N_{21}}{N_{22}} \right)^2 = \eta_{21} \frac{N_{11} + N_{21}}{N_{22} + N_{12}};$$

$$\frac{1}{\gamma_1} = b_{11} (x_1 + \beta_{12} x_2); \quad (44)$$

$$\frac{1}{\gamma_2} = b_{22} x_2 \left(\frac{N_{22} + N_{12}}{N_{22}} + \frac{N_{11} + N_{21}}{N_{21}} \right).$$

Для третьей области

$$\left(\frac{N_{12}}{N_{11}} \right)^2 = \eta_{12} \frac{N_{22} + N_{12}}{N_{11} + N_{21}}; \quad (45)$$

$$\frac{N_{21}}{N_{22}} = \eta_{21} \frac{N_{11} + N_{21}}{N_{22} + N_{12}};$$

$$\frac{1}{\gamma_1} = b_{11} x_1 \left(\frac{N_{11} + N_{21}}{N_{11}} + \frac{N_{22} + N_{12}}{N_{12}} \right); \quad (46)$$

$$\frac{1}{\gamma_2} = b_{22} (x_2 + \beta_{21} x_1).$$

Обратимся теперь к уточнению расположения областей 1, 2 и 3 на диаграмме температура — состав. Обращаясь к первым двум неравенствам (18), получаем:

$$N_{11} + N_{12} < N_{22} + N_{21} \quad (47)$$

или

$$N_1 < N_2, \quad (48)$$

т. е. вторая область примыкает к чистому второму веществу. Аналогичным путем для третьей области

$$N_1 > N_2, \quad (49)$$

т. е. третья область примыкает к чистому первому веществу.

Области 2 и 3 отделены друг от друга кривой, в точках которой $N_{11} = N_{21}$, $N_{22} = N_{12}$, т. е. $N_1 = N_2$. Следовательно, если на диаграмме температура — состав мы предположим существование линии $N_{11} = N_{21}$ и $N_{22} = N_{12}$, то это будет прямая, параллельная оси ординат с абсциссой $x_1 = x_2 = 0,5$. Однако мы можем предположить, что на диаграмме температура — состав существуют две кривые. В точках первой кривой $N_{11} = N_{21}$, а в точках второй — $N_{22} = N_{12}$. Тогда мы получим диаграмму, показанную на рис. 1. Заштрихованная область означает сосуществова-

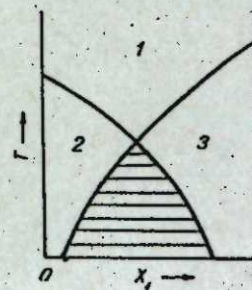


Рис. 1. Схематическое изображение расположения кривых фазовых переходов второго рода на диаграмме растворимости с верхней критической точкой.

ние областей 2 и 3. Легко видеть, что эта диаграмма тождественна диаграмме растворимости с верхней критической температурой, причем критическая температура определяется точкой пересечения кривых $N_{11} = N_{21}$ и $N_{22} = N_{12}$. Следовательно, области 1, 2 и 3 будут фазами раствора.

Положим, что в нашей модели раствора всегда

$$N_{11}N_{22} > N_{12}N_{21}. \quad (50)$$

Это неравенство позволит сделать ряд важных выводов.

Рассмотрим вторую область. Запишем соотношения (43) в таком виде:

$$\eta_{12} = \frac{1 + \frac{N_{21}}{N_{11}}}{1 + \frac{N_{22}}{N_{12}}}, \quad (51)$$

$$\frac{N_{22}}{N_{21}} \eta_{21} = \frac{1 + \frac{N_{12}}{N_{22}}}{1 + \frac{N_{11}}{N_{21}}}.$$

Поскольку в соответствии с (49)

$$\frac{N_{21}}{N_{11}} < \frac{N_{22}}{N_{12}}, \quad (52)$$

то из (50) получаем:

$$\eta_{12} < 1, \quad \frac{N_{22}}{N_{21}} \eta_{21} < 1. \quad (53)$$

Неравенство $N_{21} > N_{11}$ обуславливает протекание процесса $2,1 \rightarrow 2,2$, а неравенство $N_{11} > N_{22}$ обуславливает протекание процесса $2,2 \rightarrow 2,1$. В среднем эти процессы протекают с одинаковой скоростью. Поэтому неравенства $N_{21} > N_{11}$ и $N_{11} > N_{22}$ должны быть одного порядка, т. е.

$$\frac{N_{21}}{N_{11}} \approx \frac{N_{11}}{N_{22}}, \quad (54)$$

и

$$\frac{N_{21}}{N_{22}} \approx \left(\frac{N_{11}}{N_{22}} \right)^2. \quad (55)$$

Запишем последнее из уравнений (43) в таком виде:

$$\eta_{121} = \frac{\left(\frac{N_{21}}{N_{22}} \right)^2}{\frac{N_{21}}{N_{11}} + \frac{N_{21}}{N_{22}}} \left(1 + \frac{N_{12}}{N_{22}} \right). \quad (56)$$

С учетом (53) и (54)

$$\eta_{121} \approx \frac{\left(\frac{N_{11}}{N_{22}} \right)^3}{1 + \frac{N_{11}}{N_{22}}} \left(1 + \frac{N_{12}}{N_{22}} \right). \quad (57)$$

В соответствии с последним неравенством (18)

$$\frac{N_{11}}{N_{22}} > 1, \quad (58)$$

а при

$$\frac{N_{11}}{N_{22}} > 1,325 \quad (59)$$

первый множитель в правой части уравнения (57) больше единицы. Второй множитель всегда больше единицы. Поэтому можно полагать, что в фазе 2 величина η_{21} больше единицы. Следовательно, для второй области (фазы)

$$\eta_{12} < 1, \eta_{21} > 1. \quad (60)$$

Аналогичным путем для третьей области (фазы)

$$\eta_{12} > 1, \eta_{21} < 1. \quad (61)$$

Запишем соотношения (37) в таком виде:

$$\eta_{12} = \frac{1 + \frac{N_{21}}{N_{11}}}{1 + \frac{N_{22}}{N_{12}}}, \quad (62)$$

$$\eta_{21} = \frac{1 + \frac{N_{12}}{N_{22}}}{1 + \frac{N_{11}}{N_{21}}}.$$

Учитывая неравенства (17), для первой области (фазы) находим

$$\eta_{12} < 1, \eta_{21} < 1. \quad (63)$$

Рассмотрим переходы между фазами. При переходе от фазы 2 к фазе 1 из сравнения (63) с (60) и (17) с (18) получаем:

$$\eta_{21} = 1, N_{11} = N_{21}. \quad (64)$$

Точки фазовых переходов, определяемые условиями (64), есть особые точки. Действительно, равенство $N_{11} = N_{21}$ при хаотичном расположении молекул первого и второго сорта в ячейках первого сорта будет означать, что ячейки одинаково часто занимаются молекулами первого и второго сорта и понятие «ячейка первого сорта» становится неопределенным. Далее, из соотношений (42) можно видеть, что величина ω_{22} равна энергии, затрачиваемой на перенос 1 моля молекул второго сорта из чистого второго вещества в раствор, при этом переносе молекула второго сорта должна стать молекулой 2,2. Величина ω_{21} равна энергии, затрачиваемой на перенос 1 моля молекул второго сорта из чистого второго вещества в раствор, при этом переносе молекула второго сорта должна стать молекулой 2,1. Разность $\omega_{22} - \omega_{21}$ равна энергии, которую нужно затратить на превращение в растворе 1 моля молекул 2,1 в молекулы 2,2, т. е. эта разность равна энергии, затрачиваемой в процессе $2,1 \rightarrow 2,2$. Равенство η_{21} единице (или, что то же, $\omega_{22} - \omega_{21} = 0$) означает, что на превращение молекул 2,1 в молекулы 2,2 энергия не затрачивается, т. е. молекулы 2,1 и 2,2 энергетически неразличимы. Указанные особенности приводят к выводу, что энтропия смешения раствора в точках, определяемых условиями (64), носит совершенно иной характер, чем в окрестностях этих точек. Это и дает нам право отождествить эти точки с точками фазовых переходов.

Отличия фаз 1 и 2, 1 и 3 связаны прежде всего с различием в закономерностях построения энтропий смешения этих фаз. Можно положить, что энергия раствора для всех фаз описывается одним уравнением. Тогда зависимость параметров b_{11} , b_{22} , η_{12} и η_{21} от состава раствора для всех фаз также будет описываться одним уравнением. Если мы сравним теперь (38) и (44), то увидим, что зависимость коэффициента активности первого компонента от состава раствора в первой и второй фазах описывается одним уравнением, а второго компонента — разными уравнениями. Последнее означает, что в точке сосуществования фаз 1 и 2 обычные условия химического равновесия

$$\mu_1 = \mu_1, \mu_2 = \mu_2 \quad (65)$$

меняют свой характер. Первое равенство уже не будет уравнением, а будет тождеством. Второе же равенство останется уравнением, т. е. в точке сосуществования фаз 1 и 2

$$\mu_1 = \mu_1, \mu_2 = \mu_2. \quad (66)$$

При переходе от фазы 1 к фазе 3

$$\eta_{12} = 1, N_{22} = N_{12}. \quad (67)$$

При переходе от фазы 2 к фазе 3

$$\eta_{12} = 1, \eta_{21} = 1, N_{11} = N_{21}, N_{22} = N_{12}. \quad (68)$$

и этот переход происходит не при одном составе системы, а в интервале составов, где фазы 2 и 3 сосуществуют.

Таким образом, в бинарном растворе фазовые переходы могут быть двух видов:

1. При фазовом переходе обе величины η_{12} и η_{21} становятся равными единице и $N_{11} = N_{21}$, $N_{22} = N_{12}$.

2. При фазовом переходе одна из величины η_{12} или η_{21} становится равной единице и $N_{22} = N_{12}$ или $N_{11} = N_{21}$.

Переход первого вида мы отождествляем с фазовым переходом первого рода, а переход второго вида — с фазовым переходом второго ро-

да [2]. Тогда к критической точке примыкают кривые фазовых переходов второго рода, как это показано на рис. 1.

Отметим, что отождествление перехода второго вида с фазовым переходом второго рода есть наше допущение, и из флуктуационной модели раствора это допущение не следует. В теории критических явлений В. К. Семенченко [5, 6] допускается тождественность критических явлений и фазовых переходов второго рода. По Семенченко, к критической точке примыкают кривые закритических фазовых переходов (ложные фазовые переходы второго рода). Если мы отождествим фазовые переходы второго вида с ложными фазовыми переходами второго рода Семенченко, то наша точка зрения совпадет с выводами Семенченко. Фазовые переходы с точки зрения флуктуационной модели раствора рассматривались нами в работе [2]. Однако в указанной работе не были учтены особенности фаз 2 и 3, а также неправильно были отождествлены параметры η и β , что привело к неточному расположению фаз на диаграмме растворимости. Отметим также, что второй тип расположения кривых фазовых переходов второго рода, рассмотренный в работе [2], противоречит существованию флуктуационной модели раствора. Действительно, в указанном типе кривые фазовых переходов в части диаграммы совпадают. Но выше было показано, что совместный ход кривых фазовых переходов второго рода дает прямую, параллельную оси ординат. Последнее противоречиво.

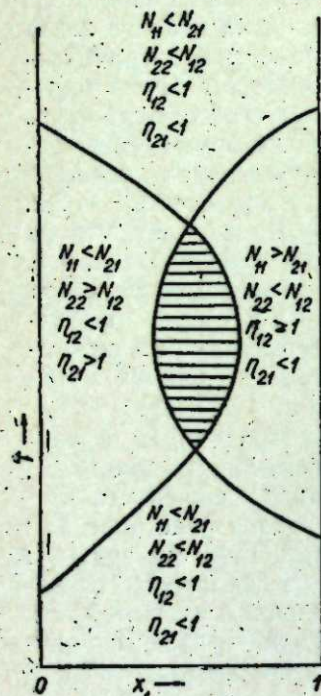


Рис. 2. Схематическое изображение расположения кривых фазовых переходов второго рода на диаграмме растворимости с верхней и нижней критической точкой.

что эффект, обусловленный прохождением через кривую фазовых переходов второго рода, может быть различным и, по-видимому, экспериментально не всегда может быть замечен.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
7/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Киргинцев. Журн. физ. хим., 33, 813 (1959).
2. А. Н. Киргинцев. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 11 (1959).
3. М. И. Шахпаронов. Введение в молекулярную теорию растворов. Гостехиздат, М., 1956.
4. Я. И. Френкель. Кинетическая теория жидкостей. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1945.
5. В. К. Семенченко. Журн. физ. хим., 21, 1461 (1947).
6. В. К. Семенченко. В сб. Применение ультразвука к исследованию вещества, вып. III, изд-во МОПИ, М., 1956.

В. К. ВАЛЬЦЕВ,
Е. Д. ОЗИАШВИЛИ, Л. К. СОЛОВЬЕВ

ЗОННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НЕКОТОРЫХ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ

Зависимость между атомным весом редкоземельных элементов и их распределением в конце слитка в процессе зонной кристаллизации в нитрате аммония установлена нами из исследования распределения индивидуальных редкоземельных элементов. В конце слитка концентрируются наиболее тяжелые элементы. Чем больше атомный вес элемента, тем больше концентрация его в конце слитка после проведения процесса кристаллизации.

В практике разделения и очистки редкоземельных элементов приходится иметь дело не с индивидуальными элементами, а смесями элементов. Поэтому зависимость между атомным весом элемента и его распределением вследствие взаимовлияния редкоземельных элементов может оказаться более сложной, чем ранее установленная. Природа растворителя также влияет на распределение элементов в процессе зонной кристаллизации.

В настоящем сообщении излагаются некоторые данные по зонной кристаллизации сложных редкоземельных смесей в низкотемпературных расплавах нитрата и роданида аммония и в высокотемпературных расплавах хлоридов магния и бария.

Экспериментальная часть

Аппаратурное оформление и методика зонной кристаллизации в низкотемпературных расплавах нитрата аммония описаны ранее [1].

В нитрат и роданид аммония редкие земли вводились в виде окислов. Высокая растворяющая способность расплава роданида аммония отмечалась ранее [2].

Первая часть слитка была размером 150 мм при общей длине слитка 700 мм. Концентрация редких земель в первой части слитка в пересчете на окислы составляла 1 г окислов на 10 г соли. Вторая часть слитка состояла из соли без редкоземельных элементов.

Аппаратура зонной кристаллизации из расплавленных хлоридов магния и бария состояла из кварцевой трубки со шлифом и краном. Через кран откачивался воздух из реакционного пространства, а затем производился выпуск инертного газа. Нагреватель состоял из двух силитовых стержней, помещенных в кожух из пеношамота. Мощность на нагревателях регулировалась вручную автотрансформатором.

Исходным продуктом получения хлоридов редкоземельных элементов являлись окислы. Хлорирование окислов проводилось по методике [3]. Хлористый магний был синтезирован путем хлорирования магниевой стружки газообразным хлором при 700°С. Хлористый барий — реактивный, перекристаллизованный.

Сплав хлоридов готовился следующим способом. Хлористый магний или хлористый барий помещались в алуновыи тигель и расплавились в печи при температуре, не превышающей температуры плавления соли на 50°. При этой температуре, которая также являлась температурой процесса кристаллизации, в расплавленных слоях растворялись хлориды редкоземельных элементов. Плав солей выливался затем в молибденовую лодочку и затвердевал в ней. Длина первой части слитка равнялась 150 мм при общей длине слитка 600 мм. Концентрация хлоридов редкоземельных элементов в первой части слитка составляла 1 г хлоридов редких земель на 10 г хлорида магния или бария.

Зонная кристаллизация редкоземельных элементов в высокотемпературных расплавах производилась в неоднородных слитках. Скорость движения зоны равнялась 5 см/час. После 6—9 проходов расплавленной зоной слиток разрезался на 5—6 равных частей. Редкие земли анализировались спектрографическим способом*.

Результаты опытов

Зонной кристаллизации в расплавленных солях нитрата и роданида аммония, хлоридах магния и бария подвергались две специально приготовленные смеси соединений редкоземельных элементов. Состав первой смеси, %: лантан — 2,5, празеодим — 8,11, неодим — 86,84, самарий — 2,3. Состав второй смеси, %: празеодим — 3,66, самарий — 29,3, европий — 1,0, гадолиний — 24,3, диспрозий — 5,77, гольмий — 0,5, эрбий — 4,7, лантан, тербий, иттербий — менее 1%, иттрий — 25,2.

Результаты кристаллизации в нитрате аммония первой смеси (неодимовый концентрат) и второй смеси (самариевый концентрат) приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты распределения редкоземельных элементов неодимового концентрата после 6 проходов расплавленной зоной в нитрате аммония

Части слитка	Концентрация в частях слитка, вес. %			
	лантан	празеодим	самарий	неодим
1	2,69	6,72	3,22	87,4
2	1,82	8,85	4,74	84,6
3	1,7	9,35	3,95	85,00
4	1,54	6,97	4,48	87,00
5	1,84	7,28	3,6	87,7
6	1,9	7,72	3,68	86,7

Таблица 2

Результаты распределения редкоземельных элементов самариевого концентрата в нитрате аммония после 12 проходов расплавленной зоной

Части слитка	Концентрация в частях слитка, вес. %				
	1	2	3	4	5
Празеодим	4,05	4,13	3,23	3,52	2,87
Неодим	0,69	0,70	0,81	0,87	0,83
Самарий	31,00	31,70	33,70	35,60	33,80
Европий	0,9	0,92	0,84	0,94	1,00
Гадолиний	23,4	25,00	18,80	22,0	17,00
Диспрозий	6,60	7,85	6,92	6,00	7,55
Гольмий	0,39	0,44	0,41	0,48	0,37
Эрбий	5,40	6,03	5,73	5,70	5,00
Иттрий	28,2	26,00	29,60	24,90	31,70

Результаты кристаллизации показывают, что значительного движения элементов в процессе не происходит. Однако распределение элементов за некоторым исключением подчиняется следующему правилу: более тяжелые элементы концентрируются в конце слитка (например, самарий в неодимовом концентрате, диспрозий, эрбий в самариевом концентрате). В самариевом концентрате самарий в отличие от гадоли-

* Анализ выполнен Р. Р. Швангирадзе.

ния ведет себя, как дальние лантаниды. Иттрий следует за тяжелыми элементами, т. е. концентрируется в конце слитка.

В роданистом аммонии самарий, как наиболее тяжелый элемент неодимового концентрата, концентрируется в конце слитка, т. е. следует обычному правилу (табл. 3).

Опыты по кристаллизации редкоземельных концентратов из расплавленных хлоридов магния и бария имели качественный характер, тем не менее они позволяют сделать некоторые выводы. Например, для процесса кристаллизации хлоридов редкоземельных элементов неодимового концентрата наблюдается лишь движение лантана в хлористом магнии.

Таблица 3

Некоторые результаты распределения редкоземельных элементов неодимового концентрата после 9 проходов расплавленной зоной в роданистом аммонии

Элементы		Концентрация, вес. %			
		празеодим	неодим	самарий	лантан
Состав исходного концентрата		11,1	84,0	2,1	2,76
Части слитка	5	8,6	82,00	7,38	2,7
	6	7,67	82,5	7,1	2,72

Следует отметить, что кристаллические решетки хлоридов лантана и магния подобны и относятся к гексагональному типу. В хлориде бария (моноклинная решетка) изменение соотношения концентрации элементов в частях слитка отсутствует.

Иначе ведут себя редкоземельные элементы самариевого концентрата в хлоридах магния и бария. В хлористом барии в конце слитка концентрируются тяжелые элементы: диспрозий, гольмий, эрбий. В хлористом магнии редкоземельные элементы, стоящие в ряду семейства вслед за европием, также концентрируются в конце слитка. Следовательно, в отличие от элементов неодимового концентрата элементы самариевого концентрата следуют обычному правилу распределения. Однако такие элементы самариевого концентрата, как европий, тербий и иттербий, т. е. элементы, способные проявлять разные валентности, как правило, концентрируются в начале слитка. Движение этих элементов в процессе кристаллизации сложного самариевого концентрата настолько значительно, что может, видимо, позволить в дальнейшем использовать этот процесс для очистки самариевого концентрата от примесей европия, тербия и иттербия.

Обсуждение результатов

1. Нитрат и роданид аммония вызывают интерес, поскольку имеют невысокие температуры плавления, что позволяет упростить аппаратное оформление процесса, заменить такие дорогостоящие материалы, как кварц и молибденовая жезь, обычным термостойким стеклом.

Высокая гигроскопичность хлоридов редкоземельных элементов требует специальных мер при работе с ними. Большая активность хлоридов

при высокой температуре не позволяет применять дешевые материалы, что сильно удорожает и усложняет аппаратное оформление процесса.

2. Распределение редкоземельных элементов самариевого концентрата, в состав которого входят как представители иттриевой, так и представители цериевой групп, в процессе зонной кристаллизации их из расплавов хлоридов магния и бария следует правилу концентрации наиболее тяжелых элементов в конце слитка.

Известно, что распределение малых количеств примесей в основном веществе в процессе зонной кристаллизации достаточно полно объясняется из диаграммы плавкости примесь — основное вещество. Примеси, имеющие более высокие температуры плавления в сравнении с температурами плавления других примесей, концентрируются в начале слитка. В конце слитка концентрируются более легкоплавкие примеси. Это правило может оказаться справедливым и для более концентрированных расплавленных растворов, если примесь и основное вещество дают равновесную диаграмму эвтектического типа.

Из недавно опубликованных работ И. С. Морозова и сотрудников [4, 5] стало известно, что хлориды некоторых элементов цериевой группы с хлоридами щелочноземельных элементов дают равновесные диаграммы эвтектического типа. Это позволяет нам воспользоваться упомянутым выше правилом.

Если проследить за температурами плавления хлоридов редкоземельных элементов по ряду семейства, то оказывается, что температуры плавления тяжелых лантанидов значительно меньше, чем легких лантанидов. Этим объясняется концентрирование элементов иттриевой группы в конце слитка. Очень незначительное движение элементов цериевой группы в процессе кристаллизации неодимового концентрата из расплавов хлоридов магния и бария можно объяснить слабым различием температур плавления хлоридов редкоземельных элементов цериевой группы.

Между тем имеются случаи, которые не объяснимы правилом распределения примесей в основном веществе. Например, температура плавления хлоридов тербия и гадолиния меньше температуры плавления хлорида диспрозия, однако тербий и гадолий в процессе кристаллизации из хлорида бария концентрируются в начале слитка, а диспрозий — в конце.

3. Из данных по распределению элементов неодимового концентрата в аммонийных солях нитрата и роданида видно, что соотношение концентраций элементов относительно исходного соотношения изменяется в незначительной степени. Так, концентрация лантана уменьшается в конце слитка менее чем на 1% относительно исходного соотношения. Настолько же в этом опыте увеличивается концентрация самария в конце слитка (см. табл. 1). В несколько большей степени изменяется соотношение концентраций элементов неодимового концентрата в роданистом аммонии и элементов самариевого концентрата в нитрате аммония (см. табл. 2 и 3).

Поскольку количественные данные по распределению редкоземельных элементов в хлоридах магния и бария отсутствуют, не представляется возможным количественно сравнить результаты процессов при высоких температурах с подобными результатами в низкотемпературных расплавах нитрата и роданида аммония. Однако можно утверждать, что при высоких температурах соотношения концентраций элементов, например, самариевого концентрата, претерпевают более значительные изменения, чем аналогичные изменения в низкотемпературных расплавах

солей. Так, в процессе кристаллизации самариевого концентрата в хлориде магния получена фракция из предпоследней части слитка, в которой совершенно отсутствовали такие элементы, как европий, тербий, иттербий.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
30/IX 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Вальцев, Е. Г. Аввакумов, М. Ф. Пырьев. Изв. СО АН СССР, № 6, 71 (1961).
2. В. К. Вальцев, Е. Д. Озидшвили. Изв. СО АН СССР, № 6, 59 (1960).
3. H. Reed, B. S. Hopkins. J. Amer. Chim. Soc., 57, 1159 (1935).
4. И. С. Морозов, З. Н. Шевцова, Л. В. Ключкина. Журн. неорг. химии, 2, 1639 (1957).
5. Сунь Инь-Чжу, И. С. Морозов. Журн. неорг. химии, 3, вып. 8, 1914 (1958).

Н. Н. СЕМЕНОВ, Т. В. ЗАБОЛОЦКИИ

О ПОВЕДЕНИИ УГЛЕКИСЛОГО ЛИТИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ

Углекислый литий Li_2CO_3 является одним из наиболее распространенных соединений лития, выпускаемых промышленностью. Практически он используется главным образом в различных керамических производствах [1], где при нагревании реагирует с другими компонентами исходных шихт. В настоящее время имеется отчетливая тенденция к расширению областей его применения наряду с другими соединениями лития. Поэтому возникла необходимость в более детальном изучении свойств этого соединения при нагревании до высоких температур.

Согласно литературным данным, при нагревании заметная диссоциация карбоната лития начинается с температуры 600°C [2—4]; упругость паров диссоциации составляет при 610° 1 мм рт. ст., при 723° — 4 мм рт. ст. [3] и т. д. По экстраполированным данным упругость диссоциации Li_2CO_3 достигает 760 мм рт. ст. при температуре 1270 — 1300° [3].

Относительно температуры плавления углекислого лития в литературе имеется много разноречивых данных; указываются различные температуры — от 618 до 735°C [5—10]. Более достоверными, по нашему мнению, следует считать данные Т. В. Роде [4], которая путем одновременной съемки термической и газовольнометрической кривой установила, что при нагревании углекислого лития эндотермический эффект в интервале 708 — 728° имеет две стадии: температура окончания первой стадии эндотермического эффекта (723°) соответствует плавлению вещества, а продолжение эффекта до 728° вызвано быстрой кратковременной интенсификацией выделения CO_2 , следующей сразу же за плавлением. Автор полагает, что начало резкого эндотермического эффекта при 708° объясняется диссоциацией Li_2CO_3 . Однако это предположение плохо согласуется с ходом газовольнометрической кривой, на которой при этой температуре перегиба не наблюдается. Вместе с тем газовольнометрическая кривая показывает, что к моменту достижения температуры 708° часть углекислого лития продиссоциировала и в веществе уже содержится некоторое количество Li_2O . Все это заставляет предполагать иное происхождение начала эндотермического эффекта при 708° . Найденная Т. В. Роде температура (точка) плавления 723° ; по существу, должна быть отнесена к линии ликвидуса в системе Li_2CO_3 — Li_2O .

Методика работы

В процессе изучения поведения углекислого лития при нагревании мы пользовались усовершенствованным вариантом [11] так называемого комплексного дифференциального термического анализа [12].

Исследуемые образцы брикетировались при давлении 5 кг/см^2 . Скорость подъема температуры при термическом исследовании, как во всех других случаях, равнялась 13 град/мин .

Аппаратура и методика для газовольнометрических определений были аналогичны описанным Л. Г. Бергом [13].

Измерения электропроводности осуществлялись на установке, схема которой представлена на рис. 1. Одним из условий опыта являлось сохранение постоянным расстояния между электродами. Перед началом опыта вещество со вставленными в него электродами уплотнялось вручную. Измерения производились на частоте 50 гц ; при регистрации показаний миллиамперметра электропечь кратковременно отключалась. О хорошей воспроизводимости результатов опыта свидетельствовал тот факт, что крайние значения полученных результатов отклонялись от среднего значения не более чем на 10% .

Для работы применялся углекислый литий квалификации х. ч. во всех случаях, кроме тех, которые специально оговорены. Он предварительно просушивался при температуре 300° в течение 3 ч. Примесь Na_2O , определенная пламеннофотометрическим методом, составляла $0,003\%$ в углекислом литии квалификации х. ч. и $0,185\%$ в углекислом литии квалификации ч. д. а.

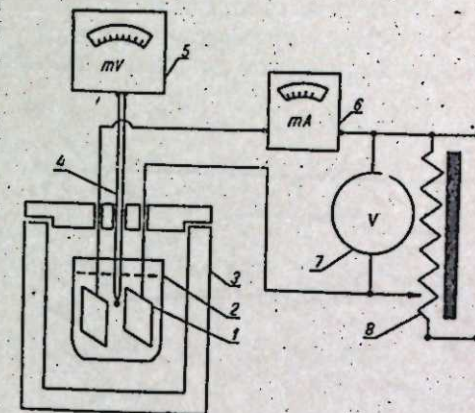


Рис. 1. Схема установки для измерения электропроводности.

1 — платиновые электроды, 2 — корундовый тигель, 3 — электропечь, 4 — Pt—Pt/Rh термopара, 5 — милливольтметр, 6 — миллиамперметр, 7 — вольтметр, 8 — реостат сопротивления.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлена комплексная термограмма углекислого лития. Одновременно на термограмму нанесены результаты измерения электропроводности.

Первый экзотермический эффект на дифференциальной термической кривой при 166° совпадает с началом увеличения линейного размера брикетированного образца. Возможно предположить, что здесь имеет место полиморфное превращение карбоната лития, о котором до этого времени в литературе не упоминалось. Следует отметить, что для карбонатов натрия и калия установлено несколько температурных точек, в которых происходят полиморфные превращения; при этом, на кривой изменения линейных размеров наблюдаются такие же положительные отклонения, как и в нашем случае.

Начало отрицательного отклонения на кривой изменения линейных размеров при 467° следует объяснить процессами спекания. Температура начала спекания, как известно, в ряде случаев совпадает с температурой появления микроколичеств жидкой фазы эвтектического или какого-либо другого происхождения. Так, в системе Li_2CO_3 — Na_2CO_3 жидкая фаза эвтектического происхождения возникает при температуре около 500° [14]. Примененный нами углекислый литий содержал незначительную примесь углекислых солей других щелочных металлов, поэтому микроколичества жидкой фазы в нем должны появляться при температуре ни-

же 500°. Последнее подтверждается как началом интенсивной усадки (см. рис. 2), так и появлением при указанной температуре заметной электропроводности (рис. 3).

При температуре около 600° начинается некоторая потеря веса, соответствующая медленной диссоциации Li_2CO_3 (см. рис. 2).

Рост электропроводности в интервале до 712° связан с постепенным увеличением количества жидкой фазы, образующейся за счет присутствия карбонатов других щелочных металлов, а также с увеличением

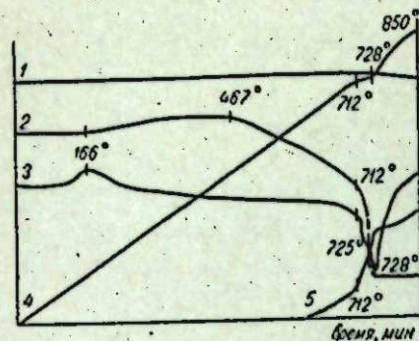


Рис. 2. Комплексная дифференциальная термограмма и электропроводность Li_2CO_3 .

1 — потери веса, 2 — изменение линейных размеров, 3 — дифференциальная термическая кривая, 4 — простая термическая кривая, 5 — электропроводность.

проводимости при повышении температуры. Одной из причин постепенно ускоряющегося спекания и связанной с этим усадки образца является, очевидно, увеличение количества жидкой фазы.

При температуре 712° изменяется угол наклона простой и дифференциальной термических кривых, кривой изменения линейных размеров образца и одновременно кривой электропроводности. Как уже указывалось ранее, начало эффекта при этой температуре объяснялось диссоциацией Li_2CO_3 .

Рассмотрение наших данных приводит к выводу о том, что при 712° достигается температура линии солидуса в двойной системе $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{—Li}_2\text{O}$ и начинается плавление. Это подтверждается резким увеличением усадки образца и ростом электропроводности. Значительного ускорения диссоциации, как это видно из кривой потерь веса, при данной температуре не происходит.

Температура линии ликвидуса достигается при 725°, что отмечается некоторым переломом в ходе дифференциальной термической кривой, очень быстрым последующим увеличением электропроводности, а также почти мгновенным переходом к минимальному, в дальнейшем не меняющемуся значению на кривой изменения линейных размеров образца.

Продолжение эндотермического эффекта на дифференциальной кривой до температуры 728° мы, как и Т. В. Роде, относим к интенсификации выделения CO_2 . Поскольку на гравиметрической кривой нашей комплексной термограммы этот процесс не отражен вследствие, очевидно, малой чувствительности метода, нами было произведено газовольмометрическим методом определение количества CO_2 , выделяющегося при нагревании укрупненной навески.

Результаты этих определений представлены в таблице и на рис. 4.

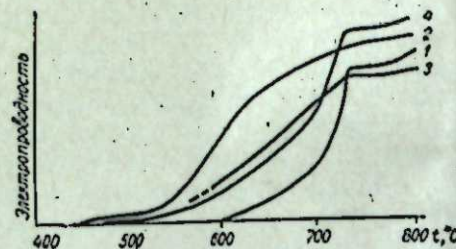


Рис. 3. Электропроводность Li_2CO_3 при нагревании и охлаждении.

1 — Li_2CO_3 марки X. Ч., нагрев, 2 — то же, охлаждение, 3 — Li_2CO_3 марки X. Ч., предварительно расплавленный, нагрев, 4 — Li_2CO_3 марки Ч. Д. А., нагрев.

Таким образом, в нашем случае имеет место кратковременная интенсификация выделения CO_2 в области, близкой к температуре плавления. По данным Т. В. Роде, объем выделившегося углекислого газа после начала плавления составляет большую величину. Это расхождение можно объяснить влиянием значительного содержания примесей, составляющих в ее опытах 0,91%.

Выделение CO_2 при нагревании углекислого лития (навеска 1,923 г)

Температура, °C	600	650	700	750	800	820
Колич. CO_2 , выделившегося при нагревании, мл	0,8	1,8	3,6	8,6	14,9	19,3
То же, в г	0,0016	0,0035	0,0075	0,0169	0,0293	0,0378
То же, в % от содержания CO_2 в исходном веществе	0,14	0,30	0,66	1,48	2,57	3,30

Сам факт интенсификации выделения CO_2 сразу же после плавления, на наш взгляд, следовало бы сопоставить с механизмом термической диссоциации карбонатов, предложенным О. А. Есиным и П. В. Гельдом

[15], согласно которому на первой стадии разложения углекислый газ переходит из состояния химически связанного в адсорбированное. В процессе плавления, очевидно, происходит кратковременная интенсификация выделения CO_2 за счет высвобождения адсорбированной части CO_2 .

В заключение отметим, что цифры, полученные нами для температурного интервала плавления углекислого лития (712—725°), в известной мере относительны и могут в той или иной степени варьировать в зависимости от скорости нагрева, наличия примесей и других факторов, влияющих на количественный состав

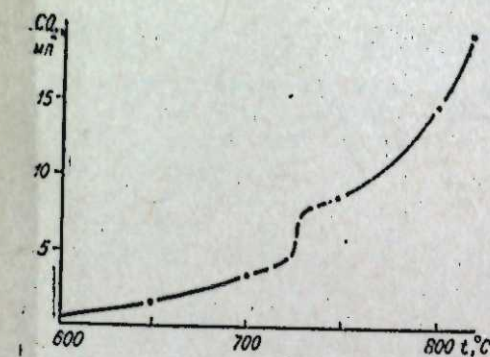


Рис. 4. Выделение CO_2 при нагревании углекислого лития.

возникающей бинарной системы $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{—Li}_2\text{O}$.

ВЫВОДЫ

1. Проведено изучение поведения углекислого лития при нагревании методом комплексного дифференциального термического анализа, методом измерения электропроводности и газовольмометрическим методом.
2. Полученные результаты исследований свидетельствуют о вероятности полиморфного превращения углекислого лития при температуре 166°.
3. Показано, что за счет примесей углекислых солей других щелочных металлов в углекислом литии при температуре около 470° появляются микроколичества жидкой фазы. При этой же температуре становится заметным процесс спекания.

4. Плавление углекислого лития происходит в температурном интервале 712—725°, обусловленном диссоциацией Li_2CO_3 и образованием двойной системы $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{—Li}_2\text{O}$.

5. Подтверждено, что при плавлении имеет место кратковременная интенсификация выделения углекислого газа.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
20/V 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Коган. Литий. Области освоенного и возможного применения. М., 1960.
2. W. Kroll, A. Schlehten. Metals Technol., 14 (4), 2179 (1947). В сб. Литий. Изд. иностр. лит., М., 1954.
3. J. Johnston. Zeit. f. phys. Chem., 62, 339 (1908).
4. Т. В. Роде. Докл. АН СССР, ХСІ, № 2, 313 (1953).
5. W. Ramsay, N. Eumorphopoulos. Phil. Mag. J. Sci., (5), 41, 364 (1896).
6. Carnelley, J. Chem. Soc., 33, 279 (1878).
7. M. Amadori, Atti d. reale acad. Linc., (5), II, 66 (1912).
8. H. Le Chatelier. Compt. rend., 118, 350, 709 (1894).
9. K. Hüttner, G. Tammann. Zeit. f. anorg. Chem., 43, 215 (1905).
10. Е. И. Маслова, И. С. Лилеев. Изв. СО АН СССР, № 1, 63 (1958).
11. Л. К. Яковлев. Бюлл. «За технический прогресс», № 4-5 (1957).
12. Э. К. Келер, А. К. Кузнецов. Докл. АН СССР, 88, 6, 1031 (1948).
13. Л. Г. Берг. Скоростной количественный фазовый анализ. Изд. АН СССР, М., 1952.
14. W. Skalijs, Schriften der königsberger Gelehrten Gessellschaft Naturwissenschaftliche Klasse. 5 Jahr, Hf. 6 (1928).
15. О. А. Есин, П. В. Гельд. Физическая химия пиromеталлургических процессов, ч. 1. Metallurgizdat, Свердловск—Москва, 1950, стр. 261.

И. В. ФРИШБЕРГ, А. С. МИКУЛИНСКИЙ

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ СИЛИКОТЕРМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА МАГНИЯ

Среди электротермических методов получения магния наиболее полно изучено восстановление магнийсодержащего сырья ферросилицием. Реакция проходит при 1200°С и остаточном давлении в системе 0,1—0,8 мм рт. ст. с образованием твердого остатка и металлического магния. Пары магния конденсируются в плотный слиток в зоне температур 475—550°. Обладая всеми преимуществами термических методов перед электролитическими, силикотермический способ позволяет к тому же использовать в качестве сырья доломит вместо дефицитного магнезита.

За рубежом этот способ нашел промышленное применение в печах системы Пиджена. Они представляют собой жаропрочные реторты с наружным обогревом. Получаемый в них магний несколько дороже электролитического, что, по нашему мнению, объясняется малой производительностью реторт, большой их стоимостью и периодичностью работы. Периодические вращающиеся, качающиеся и другие типы шахтных печей для получения магния опробовались в Биттерфельде в Германии. Об их испытании писал один из участников работ — Х. Зелигер [1]. Нагреватели в печах угольные (излучающий электрод) или молибденовые. Процесс осуществлялся как в вакууме, так и в токе водорода. При этом большим недостатком последнего метода, как сообщает Х. Зелигер, являлся низкий выход металла. Дневная производительность печей составляла от 30 до 60 кг магния. В Италии в 40-х годах была пущена самая крупная вакуумная установка производительностью до 1000 т металла в год. Она состояла из 3 реакционных печей мощностью 600 квт. Однако Х. Зелигер считает, что при таком уровне техники более выгодным для производства магния в больших масштабах остается электролиз. Значительным шагом в повышении технико-экономических показателей термических способов получения магния явился переход к непрерывному процессу. Он описан в монографии по металлургии магния [2].

Серия вакуумных печей непрерывного действия была разработана в Советском Союзе [3, 4] (речь о них пойдет ниже). Опыты в печи непрерывного действия описаны Д. Риттером [5]. Реакционная зона нагревалась графитовыми излучающими электродами. Брикетный остаток разгружался с помощью поворачивающихся колосников. Пары магния, проходя через пылеуловительную камеру, конденсировались в жидкий металл, удаляемый с помощью барометрической трубы.

В 1958 г. ФРГ запатентовала непрерывный способ металлургического восстановления магнийсодержащего сырья в вакуумной печи с одним или несколькими электродами сопротивления, с дисковым распределителем, удаляющим остатки шихты в твердом состоянии, и выпуском

жидкого металла через барометрический столб расплавленного магния [6].

Другое технологическое направление силикотермического способа производства магния состоит в проведении реакции восстановления с жидкими шлаками. Такой процесс можно осуществлять в печах, аналогичных электроруднотермическим. Руднотермические печи — аппараты непрерывного действия — могут обеспечить большую производительность. Перспектива восстановления в них магнийсодержащего сырья с жидкими шлаками даст возможность иметь высокий к. п. д. печи, большую мощность единичного агрегата, позволит полнее использовать рабочий объем шахты и автоматически регулировать температуру в печи. Кроме того, упрощается технологическая схема вследствие упразднения части операций, связанных с подготовкой сырья.

Опыты по восстановлению доломита ферросилицием с жидкими шлаками в атмосфере водорода в дуговой печи проводились еще в 1935 г. [7]. Они показали, что выход металла по остатку удовлетворителен, но большая часть паров магния конденсируется в виде порошка. В дальнейшем те же эксперименты были поставлены в вакууме (1—2 мм рт. ст.) [8] в специально сконструированной модельной лабораторной печи [3, 4]. В вакууме 85—90% паров магния конденсировалось в компактный осадок. Предложения восстанавливать доломит ферросилицием с жидкими шлаками высказаны в патентах [9, 10].

Ф. Е. Блок и Т. Т. Кэмпбелл [11] подробно описали силикотермическое получение магния с жидкими шлаками при атмосферном давлении (инертный газ — гелий). Они исследовали зависимость между скоростью реакции и температурой и нашли, что оптимальной является температура 1750—1800°С. Магниевые пары конденсировались посредством пропускания парогазовой смеси через подобные дождю капли расплавленного магния, для чего применялся специально находящийся в камере насос. Температура конденсации паров магния 700°С. Доля компактного металла в конденсате не определялась. Способ проверялся авторами в дуговой герметической печи и в печи с излучающим электродом. Никаких значительных практических результатов получено не было.

Создание непрерывной вакуумной технологии силикотермического способа предусматривает организацию трех операций без нарушения режима работы печи: 1) загрузки шихты, 2) удаления остатков реакции, 3) удаления конденсата.

Первая задача наиболее проста. Для загрузки шихты практически удовлетворительными оказались и шнековый питатель и система бункеров с вакуумными шиберами [3, 4]. Значительно сложнее выгружать твердый остаток, не нарушая вакуума печи.

Ни в сообщении [5], ни в предложении [6] не приводятся данные о работоспособности поворачивающихся колосников и дискового распределителя. Что касается выпуска в вакууме жидких шлаков вместо твердого остатка, то есть все основания считать возможным решение этой задачи. Однако связанные с ней серьезные трудности в настоящее время еще не преодолены.

Применение барометрического столба жидкого металла или нескольких съемных конденсаторов для удаления конденсата вызывает значительные технические неудобства. Осуществление же процесса силикотермического получения магния при атмосферном давлении снимает трудности, связанные с выпуском шлаков и с удалением конденсата. Поэтому, сравнивая вакуумную и невакуумную технологию, следовало бы отдать предпочтение последней.

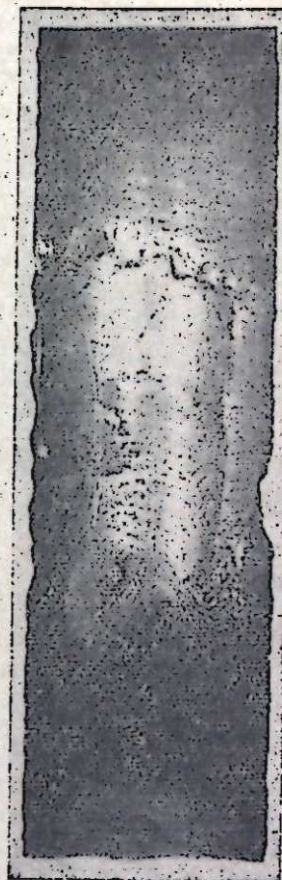
Однако не надо полагать, что проведение технологического процес-

са при атмосферном давлении одинаково выгодно для всех термических методов получения магния. К технологии каждого способа в отдельности должен быть особый подход. Например, в карботермическом восстановлении магнийсодержащего сырья в связи с созданием насосов большой производительности перспективен переход от атмосферного режима давлений к вакууму [12].

Получение магния в инертных газах при атмосферном давлении изучено крайне недостаточно. Технологию останавливает, помимо высоких температур, отсутствие данных о выходах металла, годного для переплавления. Известно, что рыхлый порошковатый возгон переплавлять трудно: он сгорает в большом количестве, а магниевая пыль может на воздухе самовоспламениться. Ф. Е. Блок и Т. Т. Кэмпбелл [11] в дуговой печи имели удовлетворительный выход магния по остатку, большую скорость реакции восстановления, но не определили долю компактного металла в конденсате, а в лабораторных опытах наряду с плотным осадком получили значительные количества дросса. Используемая ими сложная конструкция конденсатора как будто мало обоснована. Но в основе описанных в литературе [13, 14] способов конденсации магниевых паров при давлениях, близких к атмосферному, лежит тот же принцип. Чем вызвано такое усложнение конденсаторов, каков выход компактного металла в них, почему при попытке конденсировать магний, так же, как в вакууме, но с большими остаточными давлениями получается много дросса? Эти вопросы можно сформулировать и иначе: возможно ли иметь компактный осадок конденсацией магниевых паров при атмосферном давлении и при каких условиях? Решение этой задачи поможет решить и другую: идти ли в силикотермической технологии по линии вакуума или отказаться от него и работать при атмосферном давлении.

Влияние условий конденсации на качество получаемого твердого магния исследовалось И. И. Бетчерманом и Л. М. Пидженом [15]. Они выявили зависимость структуры твердого конденсата от остаточного давления аргона в системе. Давление варьировалось от 0,1 до 17 мм рт. ст. при температуре конденсации 700°С. Бетчерман и Пиджен нашли, что при этой температуре и давлениях выше 17 мм рт. ст. образуются порошкообразные возгоны, в то время как при 0,1 мм рт. ст. осадок плотный. Изменение структуры конденсатов они объясняют разным градиентом концентраций у поверхности конденсации, на установление которого влияет остаточное давление аргона в системе.

Эта статья не проясняет возможности и условий конденсации компактных осадков при атмосферном давлении. Правда, авторы отмечают, что с повышением температуры конденсации верхний предел остаточного давления дендритной области возрастает. Однако в опытах они оперируют давлением, не превышающим 17 мм рт. ст. А вывод, сделанный в результате проведенной работы, ориентирует технологов только на вакуум не ниже 0,1 мм рт. ст. Такое же резюме сделано в моногра-



Разрез конденсационной трубки после опыта.

фин по металлургии магния [2]. В ней рекомендуется для получения компактного конденсата иметь давление в системе 0,5—0,8 мм рт. ст., а температуру 550—475° С.

Нами был поставлен ряд опытов по конденсации паров металлического магния в смеси с аргоном при атмосферном давлении и повышенных температурах (900—1000° С).

В качестве конденсатора использовалась стальная вертикальная трубка; источником магниевых паров служил нагретый расплав металла, испаряемое количество которого составляло 10 г. Опыты проводились без тока инертного газа, давление в системе поддерживалось постоянно равным 1 атм. Разрез конденсационной трубки после опыта показан на рисунке. В конденсаторе ясно различаются две зоны с разным качеством осадка. Первая представляет собой монолитно стекающий магний, вторая — мелкие капли диаметром от 2 до 0,1 мм, плохо связанные с поверхностью конденсатора. Ниже второй зоны было собрано незначительное количество пыли. Во всех опытах выход компактного металла (без капель) составлял не менее 80—85%. Таким образом, получение компактного магния при атмосферном давлении оказалось возможным.

ВЫВОДЫ

1. Одним из наиболее перспективных направлений в развитии силикотермического способа получения магния является проведение процесса в печах рудотермического типа с жидкими шлаками.
2. Решение технологической и аппаратурной схемы силикотермического способа зависит от давления в системе; процесс может проводиться либо в вакууме, либо при 1 атм.
3. Опытами, выполненными при атмосферном давлении в системе, показана возможность конденсации паров магния в осадок, компактная часть которого составляет не менее 80—85%.

Уральский филиал АН СССР
Свердловск

Поступила в редакцию
30/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Seliger. Freiburger forschungsh., Bd. 34, 1959.
2. Х. Л. Стрелец, А. Ю. Тайц, Б. С. Гуляницкий. Металлургия магния. Металлургиздат, М., 1960.
3. А. С. Микулинский, А. П. Селянский, А. Г. Полубоярцев. Высокопроизводительные вакуумные печи непрерывного действия. Применение вакуума в металлургии. Изд. АН СССР, М., 1960.
4. А. С. Микулинский, А. П. Селянский. Тр. УНИХИМ, вып. 5, 1958.
5. D. Ritter. Erfahrungen mit einem neuen elektrischen Magnesium-Ofen. IV Congres international D'Electrothermie, Stressa, 1959.
6. Патент ФРГ, 1023233, 1958.
7. А. С. Микулинский. Восстановление окиси магния разными реагентами. Дисс., УПИ, Свердловск, 1937.
8. А. С. Микулинский, Ф. С. Марон. Тр. УНИХИМ, вып. 7, 1958.
9. Патент Британии, 543652, 1942.
10. Патент Франции, 966388, 1950.
11. F. E. Block, T. T. Campbell. U. S. Bur. Mines Report. Investigations, 5275, 1956.
12. Е. И. Хазанов. Тр. Вост-Сиб. фил. АН СССР, вып. 24, 1959.
13. Патент США, 2381403, 1945.
14. Патент США, 2558744, 1951.
15. I. I. Betcherman, L. M. Pidgeon. Can. Min. Met. Bull., 44, № 475, 1951.

Г. В. КРЫЛОВ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ ЛЕСНЫХ НАУК В СССР И В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Большое внимание будет уделено охране и рациональному использованию лесных, водных и других природных богатств, их восстановлению и умножению.

(Из Программы КПСС)

Н. С. Хрущев в докладе «О Программе Коммунистической партии Советского Союза», сделанном 18 октября 1961 г. на XXII съезде КПСС, отмечал: «Наука все больше становится производительной силой, а производство — технологическим применением современной науки. Как неоднократно подчеркивал В. И. Ленин, без новейшей техники, без новых научных открытий коммунизма построить нельзя» [1, стр. 146]. Говоря о необходимости дополнить соответствующий раздел Программы КПСС особым пунктом об охране природы, о правильном использовании природных богатств, Н. С. Хрущев отметил: «Идя к коммунизму, мы должны заботливо охранять природу, разумно, по-хозяйски пользоваться ее ресурсами, восстанавливать и умножать природные богатства наших лесов, рек и морей» [1, стр. 213].

Как известно, в ряде разделов Программы записаны мероприятия по рациональному использованию природных ресурсов, и лесов в частности.

В разделе о науке имеются указания, предусматривающие совершенствование комплексного использования природных богатств. В Законе об охране природы в РСФСР, принятом в 1960 г., сказано, что в период развернутого строительства коммунизма повышается интенсивность вовлечения в хозяйственный оборот природных ресурсов страны, восстановление которых должно осуществляться на основе принципа расширенного воспроизводства. В Законе подчеркнута разносторонняя значимость лесов. «Леса подлежат охране и регулированию использования как источники древесины и другого технического сырья, пищевых и кормовых продуктов, как места обитания полезных животных и растений, как важная часть географической среды, имеющая водоохранное, водорегулирующее, почвозащитное, полезащитное, климатическое, оздоровительное и культурно-эстетическое значение» [2]. Поэтому ведение лесного хозяйства должно осуществляться, исходя не только из полного удовлетворения потребности народного хозяйства и населения в древесине, но и из необходимости сбережения и возобновления лесов для будущих поколений человечества. Этот великий принцип, принятый в нашей стране и ряде государств социалистического лагеря, качественно отличен от практики хищнического уничтожения лесов в колониальных и капиталистических странах, отмеченных огромным ростом эрозии почв, обмелением и исчезновением рек, сопровождаемыми засухами и голодом населения. Как известно, Ф. Энгельс, указывая, что все наше господство над природой состоит в том, что мы умеем познавать ее законы и правильно их

применять, приводя примеры далеко идущих, часто непредвиденных последствий при вмешательстве в природу без учета существующей взаимосвязи [3].

За последние тысячелетия лесная площадь мира сократилась наполовину. Основной причиной этого была деятельность человека, который вел наступление на лес из-за потребности в площади для земледелия и скотоводства, в строительном материале и топливе. По свидетельству Геродота, Вавилон, одно из богатейших государств древности, был окружен лесами и садами. Урожай зерна здесь составлял сам-триста. Теперь это песчаная пустыня с жарким климатом. Северная Африка, Иордания, Иран, Ирак, Афганистан, Средняя Азия и Китай, а также Палестина, Сирия, Малая Азия, Греция, Италия и Испания в прошлом, 3—5 тысяч лет назад, были богаты лесами. Из 2 млрд. га исчезнувших лесов мира только в Китае площадь уничтоженных лесов оценивается в 200 млн. га.

Во многих областях земного шара, где леса были выжжены или вырублены, весь плодородный слой почвы оказался смытым водными потоками. Массовое уничтожение лесов продолжается в настоящее время, несмотря на ограничительные законодательства в ряде стран. Особенно резко за последнее столетие площадь лесов сократилась в Северной Америке. По данным советского лесовода В. Г. Нестерова, в США уничтожено не менее 120 млн. га, а посажено за это время только 5720 тыс. га [4]. В ряде стран уже широкие массы населения осознали важность сохранения определенной нормы лесов. Выступивший на IV Мировом лесном конгрессе в 1954 г. губернатор провинции Уаттар Прадеш К. М. Мунши отметил, что в Индии приобрел популярность лозунг «Дерево означает воду, вода означает хлеб, а хлеб означает жизнь» [5]. Между тем ежегодный прирост древесины во всем мире составляет примерно 1,6 млрд. м³, тогда как добывается ее от 2,2 до 2,6 млрд. м³, или иначе ежегодно вырубается лесов на 50% больше, чем это можно делать. Из числа уничтоженных человеком лесов за последнее тысячелетие 400 млн. га можно было бы восстановить за счет стоимости пятидесяти дней второй мировой войны [6].

Вместе с тем с древнейших времен людей занимали вопросы искусства разведения леса. О хозяйственных мероприятиях по пользованию лесами и их восстановлению говорится в ряде книг древнего Китая, написанных в 9—4 вв. до н. э. [7, 8], в Византийской сельскохозяйственной энциклопедии X в. [9] и других источниках. В России государственное значение лесов подчеркивалось в указах Петра I, а также в книге И. Т. Посошкова «О скудости и богатстве», написанной в 1724 г., в работах М. В. Ломоносова, А. А. Нартова, А. Т. Болотова, в Германии — в трудах Г. Котты и Г. Гартига, во Франции — Б. Лоренца и А. Парада и т. д. Все эти работы касались либо способов рубок и лесоразведения, либо отдельных приемов выращивания леса, его охранения и сбережения.

Создателем науки о лесе — лесоведения является русский ученый Г. Ф. Морозов (1867—1920). В своем классическом труде «Учение о лесе» [10] он писал, что лесоводство — это дитя нужды. Пока леса было много, отсутствовала забота о его восстановлении. В отличие от других видов природопользования лесоводство ставит задачу «в самом процессе пользования лесом находить и средства к его возобновлению». Но для этого надо знать сложную и динамическую природу леса. Изучением ее и занимается лесоведение, являющееся научной основой лесоводства или практики лесного хозяйства. Лесоведение, по Г. Ф. Морозову, включает в себя три составные части: 1) биологию лесных пород; 2) биологию насаждений; 3) биологию типов леса. Рассматривая лес как явление гео-

графическое, он подчеркивал историчность процессов развития леса, анализировал его защитные функции.

Сформулировав целостное учение о лесе в начале XX в., Г. Ф. Морозов не избежал в нем некоторой идеализации девственного, нетронутого хозяйственной деятельностью человека леса.

Как правильно отмечает В. Г. Нестеров [11, стр. 8], в природе есть определенная целесообразность, т. е. соответствие между свойствами сообщества растений и условиями его среды, но нет идеальной гармонии. Иллюстрацией этому может служить пример массового размножения в 1955—1956 гг. сибирского шелкопряда на площади 4,5 млн. га леса, приведшее к гибели многих темнохвойных лесов Сибири. Как установил Н. Г. Коломиец, такие вспышки размножения насекомых возникают при изменении режима влажности воздуха в лесу.

Соприженность организма и среды в ценозах при обычных гидротермических условиях атмосферы и почвы — характерное свойство леса, обеспечивающее его устойчивость по отношению к занимаемой территории и естественную возобновляемость. Но как только эти обычные для леса условия отклоняются в какую-либо сторону, происходит резкое изменение в жизни леса и нарушение цикла его развития.

За последние 20 лет в лесоведении произошли крупные сдвиги, в которых проявилось благотворное влияние мичуринского учения и более глубокое изучение условий среды и жизни растительных и животных организмов. Это влияние способствовало углублению изучения породного состава лесов и биоэкологии древесных пород, внедрению селекции в лесоводство, начиная от работ С. А. Самофала и Н. П. Кобранова и кончая работами селекционеров А. С. Яблокова, С. С. Пятницкого, А. В. Альбенского и др. В этот период получили известность подробные дендрологические сводки о древесных породах СССР [12] и ряд учебников по дендрологии — Ф. Л. Щепотьева, Б. В. Гроздова, С. С. Пятницкого. Изданы также сводки о лиственных древесных породах Дальнего Востока А. А. Цымека, хвойных породах СССР О. Г. Каппера, лиственных СССР Н. В. Дылиса, декоративных формах древесных пород А. И. Колесникова, биологии древесных пород А. П. Шиманюка. Издаются «Дендрофлора Кавказа» (2 тома) под редакцией акад. В. З. Гулисашвили, аналогичные работы по Украине, Казахстану и т. д.

Из многочисленных зарубежных работ нужно указать на капитальные сводки А. Редера [13], К. Рубнера [14] и переведенное на русский язык руководство Х. Эйзенрейха [15].

Следует заметить, что широкое применение аэрофотосъемки (особенно спектрально-анализной, двухцветной) [16, 17] значительно облегчило выявление ценных лесов, изучение ареалов древесных пород на больших пространствах Сибири [18, 19] и позволило получать сравнимые данные по фенологии и характеру пространственного размещения деревьев на отдаленных и часто труднодоступных территориях.

В итоге изучения основных древесных пород СССР выявились значительные внутривидовые отличия отдельных биотипов и экотипов по скорости роста (у кедра, сосны, лиственницы, ели и т. д.), солестойкости (у сосны, березы, осины), смолоносности (у сосны, кедра, лиственницы), урожайности семян. Некоторые успехи достигнуты в преодолении времени в лесоводстве путем выделения в природе быстрорастущих форм и получения гибридов, отличающихся гетерозисом. В будущем в этой области можно ожидать еще более ощутимых результатов. Изучение онтогенеза отдельных видов позволило выделить в жизни древесных пород шесть возрастных стадий или этапов. У большинства пород изучены стадийные изменения потребности организмов к условиям жизни (свету, влаге,

теплу, минеральному составу почв), что позволило дифференцировать лесоводственные приемы ухода за лесом.

Частью биологии древесных пород является лесное семеноведение, изучающее плодоношение и формирование урожаев в древостое в зависимости от биологии породы, стадии развития, зонально-типологической среды и метеорологических условий. Это направление получило теоретическое обоснование благодаря исследованиям А. П. Тольского [20] и затем было развито в работах Л. Ф. Правдина, А. С. Яблокова, А. А. Молчанова, М. М. Вересина, Е. Г. Мининой, Т. П. Некрасовой.

К биологии древесных пород тесно примыкает древесное семеноведение, а также фитопатология, развитию которых в СССР способствовали работы С. И. Ванина [21, 22] и Л. М. Перельгина [23].

В настоящее время лесоведение в СССР развивается в двух направлениях: лесоводственно-биологическом (В. Е. Вихров, А. Т. Вакин) и физико-техническом (Ю. М. Иванов, В. А. Баженов, П. Н. Хухрянский, Н. Л. Леонтьев и др.). Оба эти направления тесно переплетаются и, взаимно дополняя друг друга, оказывают влияние на развитие соответствующих исследований за рубежом.

Биология насаждений или естественных древостоев подробно была освещена в труде «Учение о лесе» Г. Ф. Морозова, переведенном на ряд европейских языков и использованном в работах немецкого профессора К. Рубнера, чешского ученого Л. Чермака, американского исследователя Беккера и др. Огромный материал о русских лесах содержится в недавно изданном руководстве Н. С. Нестерова [24], а также в капитальном курсе «Общего лесоводства» М. Е. Ткаченко. Много нового материала приведено в учебнике «Лесоводство» В. П. Тимофеева и Н. В. Дылиса, учебнике В. Г. Нестерова, руководствах Л. И. Яшнова, Э. Э. Керна, В. В. Гумана, М. В. Колпикова и других. Влияние света и влаги в жизни древесных пород показано в работе Л. И. Иванова [25]. Гидрологическая роль леса, с использованием данных многолетних наблюдений на стационарах в различных зонах Европейской части СССР, детально освещена в монографии А. А. Молчанова [26]. В другой его работе показаны взаимоотношения между лесом и климатом [27].

Кроме того, за последние годы изданы монографии, посвященные отдельным лесным формациям, например кедровым лесам СССР В. А. Поварницына, кедровым лесам Дальнего Востока Б. П. Колесникова, кедрово-широколиственным лесам Дальнего Востока К. П. Соловьева, чернопихтово-широколиственным лесам Южного Приморья Н. Г. Васильева, лиственничным лесам Якутии Л. К. Позднякова, сосновым лесам СССР А. П. Шиманюка, дубравам СССР под редакцией А. В. Тюрина, И. Д. Юркевича, А. Б. Жукова, К. Б. Лосницкого и т. д.

Изучение жизни древостоев с использованием методов лесной таксации, физиологии, экологии, физики и метеорологии получило значительное развитие в СССР, эти материалы легли в основу ряда рекомендаций по лесоводству как в нашей стране, так и за рубежом.

Изучение типов леса, получившее теоретическое обоснование в работе Г. Ф. Морозова «Учение о типах насаждений» (1931), в дальнейшем было развито в трудах В. Н. Сукачева. Его «Краткое руководство к исследованию типов лесов» завоевало широкую известность не только среди лесоводов, но и геоботаников, почвоведов, географов. Наряду с типологией В. Н. Сукачева на юге СССР использовалась типология Е. В. Алексеева, П. С. Погребняка и Д. В. Воробьева. В последнее время В. Г. Нестеровым предложено свое, так называемое биоэкологическое направление. Подробный перечень типологических работ приведен Н. Е. Кабановым [29]. Развитие идей лесной типологии и формулировка

типа леса как типа лесного биогеоценоза и типа лесорастительных условий на Всесоюзном совещании в 1950 г. [30], а также последующие методические работы В. Н. Сукачева в 1958—1960 гг. позволили, с одной стороны, широко внедрить типологический метод познания лесов в практику лесоустройства, а с другой вызвать большой интерес на IV Всемирном лесном конгрессе в Индии в 1954 г. Советской делегации было поручено разработать методическое пособие для проведения типологических работ в ряде стран.

Как указывает В. Н. Сукачев, «Атмосфера, материнская горная порода, почва и вода атмосферы и грунта являются как бы первичным материалом биогеоценоза, а растения, животные и микроорганизмы служат трансформаторами и аппаратами обмена веществом и энергией». При этом почва суммирует в себе результаты биогеоценологических процессов [31, стр. 10]. Очевидно, что растения, так же как и почва, не только трансформируют, но и вырабатывают ряд защитных веществ, познание которых человеком и овладение процессами их образования откроет большие перспективы для медицины и создания санитарных условий жизни человека (антибиотики, фитонциды, зооциды, отрицательные ионы и т. д.). В связи с этим заслуживает внимания сводка Г. Грюммера [32], освещающая часть взаимоотношений в биогеоценозе — взаимное влияние (главным образом биохимическое) между высшими растениями.

В последние годы учение о биогеоценозах (или «экосистемах», «эпигенах», «биохорах», «биомах») все больше занимает ученых разных стран. На специальном симпозиуме IX Международного ботанического конгресса в Канаде в 1959 г. было заслушано 15 докладов, в которых признавалась важность разработки единых основ для различных лесотипологических направлений. Только в 1960 г. опубликовано восемь крупных работ представителей различных школ (Канады, Германии, Франции, Швейцарии, Англии, Швеции, Финляндии и т. д.) [33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40], в которых отмечается возможность объединения их на базе биогеоценологической школы В. Н. Сукачева.

Из учения о типах леса в СССР выделилось учение И. С. Мелехова о типах вырубок [41], а также представления о принципах классификации типов леса [42] и возобновительных периодах для древесных пород в зависимости от зонально-типологических условий и характера малых климатических (гидротермических) циклов и эпигеногенетических процессов [43]. К лесной типологии близко примыкает география лесов и лесных ресурсов. В ней в последние годы в СССР получила развитие теория лесорастительного районирования, в основу которой были положены высказывания Г. Ф. Морозова о географической неоднородности лесов, В. В. Докучаева — о зонах природы, И. П. Герасимова — о фациальности почвенных зон и В. Л. Комарова — о задачах лесного районирования и особенностях лесовосстановления в зависимости от зональных условий [44]. На основе этой теории была предложена методика лесорастительного районирования для Европейской части СССР [45], а также система лесорастительных единиц [46] и на ее основе в 1955 г. проведено лесорастительное районирование Западной Сибири [47], а затем всей Сибири и Дальнего Востока [48].

Лесорастительное районирование в совокупности с типами леса позволило выявить районы и участки наибольшей биологической продуктивности, приуроченные к климатической оси оптимума соотношения тепла и влаги, и рекомендовать для Сибири и Дальнего Востока зональные основы ведения лесного хозяйства, т. е. выбор главной древесной породы, систем рубок и способов лесовосстановления и улучшения лесов. Вслед за изданием ряда работ о лесных ресурсах Дальнего Востока, Урала, ли-

ственничных, сосновых, кедровых, пихтовых лесов СССР, лесов Украины, Белоруссии, Прибалтики, Кавказа недавно опубликована монография о лесах СССР, приводящая лесоводственную характеристику лесов в разрезе природных зон, отдельных формаций и типов леса [49].

Из сводок, освещающих географию лесов зарубежных стран, в последнее время опубликована на русском языке обстоятельная монография, во введении к которой П. В. Васильевым дана характеристика ресурсов и лесопотребления в СССР, а также в европейских и азиатских странах социализма [50].

По заготовке древесины СССР занимает одно из первых мест в мире, обогнав США и все страны Европы. При приросте древесины в 853 млн. м³ в 1958 г. было заготовлено 376 млн. м³ (что составляет 25% от мирового производства) и намечено на 1965 г. заготовить и вывезти 415 млн. м³. Советский Союз занял первое место также по лесопилению (27% мирового лесопиления), но отстает от США по выработке фанеры (88,8%), целлюлозы (14%), бумаги (15,3%), картона, выпуску плит и фурфуrolа. Для того, чтобы ликвидировать это отставание и удовлетворить растущие потребности страны в древесине и разнообразных продуктах ее переработки, необходимо резко улучшить использование древесины, что наилучшим образом решается путем комплексной переработки древесины. Этот путь в значительной степени позволит удовлетворить потребности страны при небольшом увеличении объема лесозаготовок (до 530 млн. м³ к 1980 г.).

Экономисты предполагают, что древесина на долгие годы в ряде стран сохранит свое значение как топливо, строительный материал и все шире будет использоваться как полимерное сырье. Если к концу второй мировой войны из древесины вырабатывалось до 5 тыс. видов изделий, то теперь их количество возросло до 20 тысяч. С каждым годом увеличивается использование других компонентов леса, особенно хвой для приготовления витаминных кормов, смол, эфиров, кислот и т. д. В течение будущего 20-летия возрастет изготовление прессованных изделий, древесных плит, фанеры, витаминных концентратов, кормовых дрожжей, глюкозы, глицерина, фурфуrolа, синтетической камфары, целлюлозы, бумаги, картона, канифоли и скипидара.

Интересны цифры экономической значимости лесных продуктов в целом по СССР, приводимые А. М. Правдиным [51]. Задача науки найти более действенные и эффективные способы использования лесных ресурсов и их быстрого восстановления в лучшем качестве и значительно больших количествах.

Крупное теоретическое и хозяйственное значение имеет разработка проблемы повышения продуктивности лесов в Европейской части СССР, проведенная Институтом леса АН СССР совместно с институтами республиканских Академий наук, работниками филиалов Академии наук СССР, а также отраслевыми научно-исследовательскими институтами при участии производственных организаций и управлений лесного хозяйства под общим руководством акад. В. Н. Сукачева и проф. П. В. Васильева. Итоги этой большой работы обобщены в четырехтомном издании «Проблемы повышения продуктивности лесов» (1959—1961).

По существу это издание является современным обобщением лучшего опыта советского лесоводства на базе научных исследований.

Следует отметить, что ряд вопросов лесоведения и лесоводства, изучающихся в связи с проблемой повышения продуктивности лесов, освещены в специальных сборниках докладов советских ученых на V Всемирном лесном конгрессе в Сиэтле (США) в 1960 г. [52] и по вопросам лесной экономики и повышения продуктивности лесного хозяйства в странах

народной демократии на совещании в Москве в 1958 г. представителей лесной науки Китая, демократической Германии, Польши, Чехословакии, Болгарии, Венгрии и Румынии [53].

Одной из частных, но важных проблем советского лесоводства является проблема комплексного использования и воспроизводства кедровых лесов. Биологическая сложность этой проблемы заключается в том, что кедр, являясь зоохорной древесной породой, связан через свои семена (орешки) с жизнью нескольких десятков видов грызунов, птиц, пушных зверей, насекомых, моллюсков и т. д. Его возобновление в естественных условиях осуществляется при содействии специализированной птицы — тонкоклювой кедровки, являющейся одновременно заметным потребителем урожая семян. В то же время кедровые орехи, содержащие 60—65% жира, ряд витаминов, крахмал и белок, являются ценным пищевым продуктом для человека на протяжении многих столетий. Потенциальные ресурсы урожая кедровых орехов в стране в благоприятные годы определяются количеством 1,5—2 млн. т. Кедр, будучи древесной породой третичного происхождения, за миллионы лет своего существования широко распространился в ряде подзон сибирской тайги как на равнине, так и в горах и продолжает в современную эпоху расширять свой естественный ареал. Большинство кедровых лесов представлено разновозрастными древостоями нескольких поколений, что затрудняет применение каких-то общих лесоводственных мероприятий. Если учесть, что сибирский кедр, по последним данным, занимает площадь около 36 млн. га и образует более 50 типов леса, урожай его семян формируется 26 месяцев, включая 3 вегетационных сезона и две зимы, и что кедр имеет большое значение как кормовая база пушных зверей, ценное смолоносное дерево с древесиной, используемой для выработки карандашей, аккумуляторного шпона и мебели, то сложность всей проблемы станет очевидной. В последние годы Правительство РСФСР поручило организовать промысловой кооперации ряд комплексных кедровых хозяйств и создало в Горном Алтае опытный кедровый леспромхоз. Проведенная в 1959 г. Всероссийская конференция по проблеме кедров в Новосибирске подвела итоги ее изученности и наметила направление дальнейших исследований и организационно-хозяйственных мероприятий [54].

Из вопросов классического лесоводства теория рубок главного и промежуточного пользования получила в СССР свое дальнейшее развитие как для различных древесных пород, так и для разных лесорастительных зон и категорий лесов. Подробно эти вопросы освещены в трудах М. Е. Ткаченко, И. С. Мелехова [55], В. З. Гулисашили [56], а также в монографии В. Г. Нестерова, в которой приведены сравнительные характеристики применяемых рубок в СССР и в различных странах Европы [11].

В Советском Союзе ежегодно вырубается около 2—2,5 млн. га лесов, из которых большая доля приходится на сплошные концентрированные лесосеки, а в Сибири также на условно-сплошные рубки. Изучением хода естественного возобновления и разработкой шкал оценок успешности этого процесса занимаются работники ЦНИИЛХ, ВНИИЛМ, СибНИИЛХЭ, Отдела леса Биологического института СО АН СССР, лаборатории лесоведения Дальне-Восточного филиала СО АН СССР и т. д. На основе изучения естественного возобновления рубок имеется возможность ответить на главный вопрос лесоводства: где необходимо искусственное возобновление, а где можно ориентироваться на естественное зарастание. Для последнего большое значение имеет сохранение на лесосеках подростов в процессе рубки и трележки древесины. Многими советскими лесоводами был положительно оценен и распространен в ряде

областей и краев патристический почин костромского бригадира лесоруба Г. В. Денисова по сохранению подроста на лесосеке путем применения специальных подкладочных бревен для трелевки стволов.

Дальнейшее совершенствование систем рубок должно идти в направлении сохранения защитных свойств лесных площадей, возможности снятия лесного урожая с применением типовых машин; быстрого и дешевого способа восстановления вырубок наиболее продуктивными и ценными древесными породами.

Поскольку в текущее семилетие основное развитие лесозаготовок будет идти в восточных районах страны и здесь в среднем ежегодно намечено вырубать 125—150 млн. м³ на площади 1,2—1,3 млн. га [57] очень важно продумать наиболее эффективные способы рубок для каждой древесной породы, в разрезе отдельных лесорастительных регионов и разных категорий площадей. Для группово-разновозрастных сосняков Забайкалья и Приангарья следует продолжить применение сплошно-куртинных рубок, предложенных сибирскими лесоводами. Для пихтовых лесов Западной и Средней Сибири более целесообразны урегулированные условно-сплошные рубки от диаметра 14—16 см, а в дальнейшем, через 10—15 лет, двух-, трехприемные постепенные рубки. Аналогичные рубки лесоводственно целесообразны и для спелых кедровых древостоев за пределами орехопромысловых участков. В Сибири, вслед за интенсивной эксплуатацией, должны получить дальнейшее распространение на значительных площадях комплексные рубки ухода, применяемые лесоводами лесостепных приобских боров Новосибирской области и Алтайского края.

В таксации и лесоустройстве в СССР получили широкую известность исследования А. В. Тюрина по составлению всеобщих таблиц хода роста насаждений; М. Е. Ткаченко — таблиц единых видовых чисел; Н. В. Третьякова — учение об элементах леса; Н. П. Анучина — номографический метод определения запасов; И. М. Науменко — методика определения текущего прироста; В. К. Захарова — усовершенствование метода пробных площадей; Н. Н. Чикилевского — в области улучшения техники лесоустроительных работ; С. В. Белова — нормы точности учета запаса лесов. На 1959—1965 гг. намечено осуществить лесоустройство на площади 262 млн. га. Для его успешного проведения необходимо дальнейшее усовершенствование таксационных приборов и инструментов на базе использования телевизионной и электронно-вычислительной техники.

В целях улучшения организации лесного хозяйства должны быть использованы принципы советского экономического учения о лесе, разработанные В. И. Переходом [58], классификация интенсивности лесопользования А. А. Цымека [59] и принципы планомерного развития лесного хозяйства, обобщенные в курсе «Экономика лесного хозяйства СССР» [60], а также «Экономика лесозаготовительной промышленности СССР» [61]. Это будет способствовать осуществлению задач комплексного и наиболее рационального использования лесного сырья с созданием постоянно действующих предприятий, а также постепенному улучшению географии лесов и лесистости страны.

Повышение продуктивности лесов и борьба с потерями в лесном хозяйстве тесно связаны с вопросами разболачивания и осушения лесов, профилактики и борьбы с лесными пожарами, прогнозами и борьбой с массовыми вредными лесными насекомыми.

Вопросам разболачивания и осушения лесов в СССР посвящены теоретические исследования А. Д. Дубаха, А. Л. Кошечева, Х. А. Писарькова, Н. И. Пьявченко, С. Х. Будыки, М. П. Елпатьевского, Л. П. Смоляка, К. К. Буша, Е. Д. Сабо и С. Э. Вомперского. В результате этих исследований разработаны теоретические основы типологии заболочен-

ных лесов, динамики заболачивания и разболачивания и технологии осушения. Н. И. Пьявченко в Западной Сибири начаты опыты применения взрывного способа для проложения осушительных канав.

В результате работ И. С. Мелехова и В. Г. Нестерова в СССР созданы теоретические основы лесной пирологии и разработаны шкалы пожарной опасности, которые используются при патрулировании лесов с самолетов и вертолетов. Отставание в теоретическом отношении имеется по активному тушению лесных пожаров эффективными и дешевыми средствами. Начаты опыты по применению взрывного способа и активных смазывающих жидкостей.

В области лесной энтомологии и лесозащиты разработаны методы учета повреждений леса и лесоматериалов от насекомых и грибных болезней. В последние годы крупные работы по изучению массовых лесных вредителей проведены В. Н. Старком, А. И. Ильинским, В. И. Гусевым, М. Н. Римским-Корсаковым, А. В. Яценковским, В. Я. Шиперовичем, И. В. Тропиным, С. С. Прозоровым, А. И. Куренцовым, Д. Н. Фроловым и Н. Г. Коломийцем. Последним исследователем, помимо изучения биологии наиболее опасных вредных насекомых (сибирского шелкопряда, усачей, пядениц, пилильщиков), усовершенствованы способы прогноза и применения массовой борьбы путем авиаопрыскивания масляной эмульсией дуста ДДТ, а также разработаны (совместно с И. А. Терсковым) методы применения ловушек с лампами ультрафиолетового света и начаты вместе с А. Б. Гукасяном в Западной Сибири опыты по микробиологической борьбе (в Восточной Сибири аналогичные работы были проведены Е. В. Талалаевым).

Лесные культуры и лесные мелiorации на территории СССР начали проводиться почти 150 лет назад [62]. После больших засух 1860—1890 гг. идеи защитного степного лесоразведения были развиты в трудах В. В. Докучаева, А. И. Воейкова, Д. И. Менделеева, а в советский период — Г. Н. Высоцкого [63], Н. И. Суса, Н. Н. Степанова, Б. И. Логгинова [64] и многих других русских лесоводов и агролесомелиораторов. Теория создания лесных культур и лесных мелiorаций получила отражение в новом учебнике В. В. Огневского и Н. И. Рубцова [65].

Обобщению опыта культур лиственницы много лет посвятил В. П. Тимофеев. Анализ столетнего опыта выращивания высокопродуктивных дубрав на Украине провел А. Г. Солдатов. Заложение промышленных культур тополей в Белоруссии освещено в исследованиях К. Ф. Мирона. Агротехнике выращивания лесных культур уделено большое внимание в работах В. Э. Шмидта и Б. И. Гаврилова, организация лесосеменных хозяйств освещается в руководстве В. И. Перехода, И. Д. Юркевича и Л. П. Смоляка. Двадцатилетний опыт проведения аэросева лесных семян хвойных пород на вырубках и гарях в таежной зоне изложен в брошюре И. А. Григорьева, С. А. Полежаева, А. П. Пестерева. Опыт разведения кедра в Архангельской области обобщен Ф. Б. Орловым и В. П. Тарабриным, а ход роста культур кедра, сосны, лиственницы в различных малолесных районах Сибири проанализирован в статьях В. В. Огневского (младшего), С. И. Кабалина и В. Н. Габеева.

Рекомендации по созданию лесных культур на Дальнем Востоке составлены Г. А. Трегубовым. Опыт посева саксаула в Казахстане показан К. А. Пашиковским, а лесоразведение в предгорьях Узбекистана — В. М. Савичем.

Уже это перечисление показывает, что лесоводственная наука в СССР накопила значительный материал, позволяющий правильно оценить достижения и ошибки прошлого и дать рекомендации на будущее. За 1844—1917 гг. в России произведены посевы и посадки леса на пло-

щади около 900 тыс. га. За 1918—1958 г. — 9162 тыс. га. В текущее десятилетие на 1959—1965 гг. лесные культуры составят 4,6 млн. га и содействуют естественному возобновлению свыше 5 млн. га [52, 57]. Намечено облесить невозобновившиеся лесосеки, пустоши и гари в лесах первой группы в районах Центра, Поволжья, Юга и в лесостепной зоне Западной Сибири. С каждым годом в лесных культурах будет возрастать удельный вес быстрорастущих, орехоплодовых и технически ценных древесных пород: тополей, лиственниц, кедра, сосны, орехов, бархата амурского, ясени, ели, берез, а на Кавказе — эвкалиптов, пробкового дуба и др.

Большим достижением советского лесоводства является создание в степной и лесостепной зонах государственных защитных лесных полос общей протяженностью 2800 км. Работы по защитному лесоразведению охватывают создание системы полезащитных лесных полос в степной и лесостепной зонах, насаждение защитных полос вдоль железных и шоссейных дорог, рек и каналов, озеленение городов и населенных пунктов, противоэрозионные посадки по оврагам, крутым склонам, террасам и т. д. На основе массовых наблюдений, проведенных в 1954 и 1956 гг., установлена средняя прибавка урожая зерновых культур с поля, защищенного лесными полосами, в 2,2 ц на га. В зависимости от типа почв и высоты выращенных лесных полос 1 га защитной полосы предохраняет от выдувания плодородных частиц и излишнего испарения влаги 10 га поля в степной зоне и 15—20 га — в лесостепной. В условиях целинных земель Западной Сибири и Казахстана наиболее эффективны лесные полосы из тополя, березы и лиственницы, имеющие небольшое число рядов (5—7) и хорошо продуваемые в зимнее время, что способствует равномерному снеготолжению на полях. Влияние лесных полос на урожай начинает сказываться через 4—5 лет, а при использовании крупномерного посадочного материала, например тополевых кольев или саженцев, выращенных в питомниках с поливом, — через 2—3 года и продолжается в течение 20 и более лет.

Большое значение для правильного природопользования имеет установление нормы оптимальной лесистости. По мнению В. Г. Нестерова, она может быть принята равной 25—30%. А. А. Молчанов для Европейской части СССР ее определяет в 30—40%. По нашим данным, оптимальная лесистость различных зон Западной Сибири должна составлять: для лесотундровой равнинной зоны — 25%, лесной или таежной равнинной зоны — 30%, лесостепной зоны — 20—25%, степной зоны (без учета площади ленточных боров) — 10%, для горно-лесного пояса Алтая — 40%. Оптимальная лесистость в дальнейшем должна устанавливаться в зависимости от рельефа и зоны для каждого района, области, края и вместе со списком рекомендуемых древесных пород служить основой при разработке генерального плана лесного хозяйства.

Размеры лесоразведения в СССР могут быть сопоставимы только с работами, развернутыми на территории Китая, где поставлена задача в ближайшие 10—15 лет удвоить площадь лесов и довести среднюю лесистость страны до 20%. На основе разведения быстрорастущих древесных пород добиться через 30 лет средних запасов древесины на 1 га до 200 м³ в северных районах. Для усиления руководства лесными науками в КНР создана Академия лесных наук, которая координирует и контролирует все научные исследования в стране, ведущиеся в области лесного хозяйства и лесной промышленности.

Иначе дело обстоит в США. Несмотря на понимание важности вопроса борьбы с эрозией при помощи лесных насаждений и восстановления вырубленных ценных лесов [66], в США за время существования государства было создано лесных культур округленно 6 млн. га. В Шве-

нии за 1905—1935 гг. посажено лесов 188 тыс. га, в Англии за 1919—1938 гг. — 136 тыс. га.

В последние годы во многих странах разработаны планы искусственного расширения лесных площадей. Так, на IV Мировом лесном конгрессе был доложен план лесоразведения на 25 лет (1950—1975 гг.) в следующих размерах: Швеция — 1740 тыс. га, Югославия — 1400, Франция — 1200, Великобритания — 600, Португалия — 370, Италия — 300, Ирландия — 250, Австрия — 200, Западная Германия — 200, Турция — 125, Бельгия — 65, Испания — 40, Нидерланды — 25, Швейцария — 10 тыс. га. Констатируя внушительность этих цифр, конгресс в то же время отметил их недостаточность по сравнению с потребностью в древесине и рекомендовал увеличить объем работ по лесоразведению в Европе не менее чем в полтора раза [67].

Подводя итоги, заметим, что современный комплекс наук о лесе и его использовании для нужд человека достиг такого уровня, когда можно рекомендовать практическому лесоводству систему организационно-технических мероприятий, позволяющих не только сохранять леса, но и значительно расширять их для защиты почв от эрозии и дефляции, сохранения водных источников от быстрого испарения, преобразования поверхностного стока во внутригрунтовой, а также в интересах охраны и улучшения здоровья самого человека.

Прошедшие в последние годы два мировых лесных конгресса (1954, 1960) и проведенные ФАО при ООН «исследования по лесоводству и продукции леса» показали достигнутый уровень лесных наук в разных странах и направления их дальнейшего развития. Наиболее важными из них являются: развитие лесной генетики и селекции с целью использования лучших форм древесных пород и выведения новых, обладающих заданными полезными свойствами; изучение природного единства — лесных биогеоценозов с целью глубокого познания их жизни и разностороннего использования леса; развитие работ по сохранению и сбережению лесов; рациональное использование древесины, а также всей лесной продукции, лесных отходов; увеличение работ по разведению леса в пустынных, полупустынных и степных условиях; улучшение методов ухода за лесом; мелиорация деградированных и непродуктивных лесных площадей и пустующих земель с использованием ценных лесных экзотов; усиление пропаганды лесных знаний и привлечение широкой общественности к делу сбережения лесов и охраны диких животных. Вместе с тем должны совершенствоваться методы и приборы для изучения лесов, а также способы и пути замены древесины и других лесных продуктов, иными источниками сырья [67, 68, 69]. На конгрессах был отмечен значительный прогресс в разных отраслях лесных наук, а также в лесном хозяйстве и лесной промышленности СССР.

Советское лесоведение, базирующееся на мичуринской биологии, занимает одно из первых мест в мире. Монографическое описание всех древесно-кустарниковых пород СССР, дополненное в будущем биохимической характеристикой, позволит дать надежную основу для выбора древесных пород в различные категории насаждений.

Передовое материалистическое учение о типах леса и их динамике в зависимости от изменения среды становится теоретической основой для основных лесохозяйственных мероприятий в СССР.

Советские лесоводы разрабатывают учение об онтогенетических фазах, или стадиях развития древостоев, дифференцированных в возрастном отношении по породам, что позволяет дать лесохозяйственные рекомендации по рубкам ухода, главному пользованию, санитарной защите, сбору семян и т. д. Одновременно таксаторы изучают строение и

закономерности формирования прироста и запаса древесины в разновозрастных сложных древостоях, к которым относится большинство кедровых, пихтовых, лиственничных лесов СССР. Лесоводы и биохимики развивают учение о биологической полезности деревьев и леса на основе познания природы витаминов, фитонцидов и зооцидов и их взаимодействия с человеком. В СССР развито учение о специализации лесоподстига и зонально-типологических основах улучшения лесов (аналогично ему приняты лесоводственные рекомендации в КНР) и ведутся исследования оптимального процента лесистости в разрезе районов.

Усиленно развивается учение о гидрологической роли леса и защитном лесоразведении. Разрабатывается лесная пирология, лесозащитная и лесная экономика. Для развития этих научных направлений необходимо дальнейшее усиление работы проблемных советов и улучшение координации исследований, проведение глубоких комплексных исследований с участием лесоводов, почвоведов, зоологов, микробиологов, биологов, климатологов и геоморфологов с привлечением экономистов и физиков, оснащением лабораторий приборами для спектрографического и биофизического анализа, а также аппаратами для биометрии, картометрии, рентгенографии, математической статистики и т. д.

Наряду с отмеченными достижениями у нас имеется отставание от шведского лесоведения по теории выявления признаков «плюс-деревьев» и научным основам массовой селекции.

От США мы отстаем в области химической защиты лесоматериалов, химической окорки и применения аэрозолей избирательного действия (нет ядохимикатов избирательного действия, нет разногабаритной аппаратуры). Имеется отставание и по пирологии, особенно по части массовых способов тушения лесных пожаров. Слабо развивается лесная энтомология, и особенно защита хвойных молодняков от массовых вредителей. Плохо обстоит дело с изучением гербицидов и арборицидов для борьбы с нежелательной растительностью. В сравнении со Швецией и Западной Германией у нас мало современной аппаратуры для семеноводческих, дендрологических, биохимических массовых анализов и т. д.

Обмен делегациями между разными странами, совместные совещания и конгрессы позволили выявить сильные и слабые места в лесоведении и лесоводстве.

Если в СССР достигнуты крупные успехи в лесоведении и научном лесоводстве (разработка методов ведения хозяйства), то в практике эти достижения используются крайне слабо. Биологический состав пород в современных лесах не везде удовлетворяет требованиям будущего коммунистического общества. Имеется еще много пустырей, прогалин, неудобных мест и т. д. Поэтому советским лесоводам в сотрудничестве с лесоводами других социалистических стран необходимо вести работы по внедрению в практику достижений науки, так и, особенно, по усилению роли лесных наук в разделах, которые обеспечивают повышение плодородия полей, увеличение защитных функций леса, Коммунистическое общество должно располагать лесами в оптимальном количестве и такого биологического состава и эстетического ландшафта, чтобы они наиболее полно содействовали расцвету творчества и создавали обстановку для здоровой и долголетней жизни будущих поколений.

Теперь в СССР в области лесных наук работает около 1600 ученых. Из них около 500 человек работает в Сибири и на Дальнем Востоке. Наряду с развитием Института леса и древесины в Красноярске необходимо усиливать отделы и лаборатории леса в Новосибирске, Иркутске, Якутске, Владивостоке. Кроме того, должна быть создана сеть зона-

ных стационаров и решены вопросы подготовки кадров сибирских лесоводов в Новосибирском университете. Было бы целесообразным организовать в Новосибирске или Красноярске одногодичные курсы подготовки лесоводов из числа окончивших университеты и лесные институты, пополняя их знания в области лесной типологии, лесной географии и современных методов исследований. Сосредоточение 80% лесных ресурсов СССР в Сибири и тенденция развития здесь лесопользования и лесоразведения требует дальнейшего увеличения объема лесных исследований с тем, чтобы они соответствовали уровню и темпам задач, поставленных в Программе КПСС на XXII съезде нашей партии.

Отдел леса и лесомелиорации
Биологического института
Сибирского отделения
АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
15/II 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Хрушев, О Программе Коммунистической партии Советского Союза. Сб. Материалы XXII съезда КПСС. М., 1961.
2. Закон об охране природы в РСФСР. М., 1960.
3. Ф. Энгельс, Диалектика природы. Собр. соч., т. 20, М., 1961.
4. В. Г. Нестеров, О лесах США и хозяйстве в них. Обществ. заочн. ин-т НТО лесной промышленности. М., 1961.
5. В. Н. Сукачев, IV Мировой лесной конгресс в Индии и участие в нем советских ученых. Сообщ. Ин-та леса АН СССР, вып. 7, М., 1957.
6. К. Г. Удековен, Лесоводство — мировая проблема. «Курьер Юнеско», № 11, 1961.
7. Ма Цзи. Леса Китая. Сб. Леса и почвы Китая. Изд. иностр. лит., М., 1955.
8. А. В. Ненарокомов, Лесное хозяйство Китая. Гослесбумиздат, М.—Л., 1957.
9. Геопоники, Византийская сельскохозяйственная энциклопедия X века. Изд. АН СССР, М.—Л., 1960.
10. Г. Ф. Морозов, Учение о лесе. Изд. 7. М.—Л., 1949.
11. В. Г. Нестеров, Вопросы современного лесоводства. Сельхозиздат, М., 1961.
12. Деревья и кустарники СССР. тт. I—VI, под ред. С. Я. Соколова. Изд. АН СССР, М., 1949—1961.
13. A. Rehder, Manual of cultivated trees and shrubs Hardy in North America. New York, M.—c. Millan company, 1949.
14. Rubner, Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. Neumann verlag, Radebeul und Berlin, 1953.
15. Х. Эйзенрейх, Быстрорастущие древесные породы. Изд. иностр. лит., М., 1959.
16. Г. Г. Самойлович, Применение авиации и аэрофотосъемки в лесном хозяйстве. Гослесбумиздат, М.—Л., 1953.
17. С. В. Белов, Аэрофотосъемка лесов. Изд. АН СССР, М.—Л., 1959.
18. Н. В. Дылис, Лиственница Восточной Сибири и Дальнего Востока. Изд. АН СССР, М., 1961.
19. Г. В. Крылов, Леса Западной Сибири. Изд. АН СССР, М., 1961.
20. А. П. Тольский, Лесное семеноведение. М., 1923.
21. С. И. Вагин, Древесиноведение. Гослесбумиздат, М.—Л., 1949.
22. С. И. Вагин, Лесная фитопатология. Изд. 4, Гослесбумиздат, М.—Л., 1955.
23. Л. М. Перелыгин, Древесиноведение. Гослесбумиздат, М.—Л., 1949.
24. Н. С. Нестеров, Очерки по лесоведению. Сельхозиздат, М., 1960.
25. Л. А. Иванов, Свет и влага в жизни наших древесных пород. М., 1946.
26. А. А. Молчанов, Гидрологическая роль леса. Изд. АН СССР, М., 1960.
27. А. А. Молчанов, Лес и климат. Изд. АН СССР, М., 1961.
28. В. Н. Сукачев, Краткое руководство к исследованию типов лесов. Сельхозхоз изд., М.—Л., 1931.
29. Н. Е. Кабанов, Изучение лесов СССР. Бюлл. Московского о-ва испытателей природы, т. LV, вып. I, М., 1950.
30. В. Н. Сукачев, Основные принципы лесной типологии. Тр. совещания по лесн. типологии. Изд. АН СССР, М., 1951.
31. В. Н. Сукачев, Лесная биогеоценология и ее лесохозяйственное значение. М., 1958.
32. Г. Грюммер, Взаимное влияние высших растений — аллелопатия. Изд-во иностр. лит., М., 1957.
33. Lintean Andre, Va-t-il un terrain d'entente possible entre les différentes écoles au sujet de la classification des types forestiers? «Silva fennica», 105, 1960.

34. Ellenberg Heinz, Können wir eine gemeinsame Plattform für die verschiedenen Schulen in der Waldtypen-klassifikation finden? «Silva fennica», 105, 1960.
35. A. Scamoni, Können wir eine gemeinsame Grundlage für die verschiedenen Schulen der Waldtypenklassifikation finden? «Silva fennica», 105, 1960.
36. Krajina Vladimir J., Can we find a common platform for the different Schools of forest type classification? «Silva fennica», 105, 1960.
37. J. S. Rowe, Can we find a common platform for the different Schools of forest type classification? «Silva fennica», 105, 1960.
38. Aichinger Erwin, Können wir eine gemeinsame Plattform für die verschiedenen Schulen in der Waldtypenklassifikation? «Silva fennica», 105, 1960.
39. Arnborg Tore, Can we find a common platform for the different Schools of forest type classification? «Silva fennica», 105, 1960.
40. Kujala Viljo, Can we find a common platform for the different Schools of forest type classification? «Silva fennica», 105, 1960.
41. И. С. Мелехов, Основы типологии вырубок. Сб. Ин-та леса и лесохимии АН СССР, Архангельск, 1959.
42. Г. В. Крылов, Классификация лесов Западной Сибири. Тр. по лесн. хоз. Сибири, вып. 5, СО АН СССР, Новосибирск, 1960.
43. Г. В. Крылов, Краткий очерк развития научных исследований по лесной тематике за период с 1946 по 1957 г. в Западно-Сибирском филиале АН СССР. Тр. по лес. хоз. Западной Сибири, вып. 3, ЗСФАН и НТО леспром, Новосибирск, 1957.
44. В. Л. Комаров, Предисловие. Тр. Ин-та по изучению леса АН СССР, Л., 1933.
45. Б. И. Иваненко, Методика лесорастительного районирования. ВНИИЛМ, М., 1960.
46. Г. В. Крылов, Принципы и схема лесорастительного районирования Западной Сибири. Изв. Восточных фил. АН СССР, № 3, Новосибирск, 1957.
47. Г. В. Крылов, Пути улучшения лесов Сибири. Новосибирск, 1955.
48. Г. В. Крылов, Леса Сибири и Дальнего Востока. Гослесбумиздат, М.—Л., 1960.
49. В. П. Цепляев, Леса СССР. Сельхозиздат, М., 1961.
50. География лесных ресурсов земного шара. Под ред. П. В. Васильева и П. Б. Виллера. Изд. иностр. лит., М., 1960.
51. А. М. Правдин, Экономическая роль лесов и некоторые вопросы использования лесных богатств Сибири и Дальнего Востока. Изв. СО АН СССР, № 9, Новосибирск, 1961.
52. Вопросы лесоведения и лесоводства (Докл. на V Всемирном лесном конгрессе). Гл. ред. проф. А. Б. Жуков. АН СССР, М., 1960.
53. Вопросы экономики и повышения продуктивности лесного хозяйства в странах народной демократии. Предисловие и редакция проф. П. В. Васильева. Гослесбумиздат, М.—Л., 1960.
54. Проблемы кедр. Тр. по лесн. хоз. Сибири. Вып. 6, СО АН, ВАСХНИЛ, НТО леспром, Новосибирск, 1960.
55. И. С. Мелехов, Очерк развития науки о лесе в России. Изд. АН СССР, М., 1957.
56. В. З. Гулисашвили, Горное лесоводство. Гослесбумиздат, М.—Л., 1956.
57. Д. Т. Ковалин, Лесное хозяйство СССР в 1959—1965 гг. Гослесбумиздат, М.—Л., 1959.
58. В. И. Переход, Основы экономики лесоводства. Госсельхозиздат УССР, Киев, 1958.
59. А. А. Цыпек, Лесоэкономические районы Дальнего Востока. Хабаровск, 1959.
60. П. В. Васильев, И. В. Воронин, Г. П. Мотовилов, Е. Я. Судачков, Экономика лесного хозяйства СССР. Гослесбумиздат, М.—Л., 1959.
61. Н. А. Балагуров, М. И. Салтыков, Экономика лесозаготовительной промышленности СССР. Гослесбумиздат, М.—Л., 1959.
62. Г. В. Крылов, Первые научные работы по лесоразведению в России. «Лес и степь», № 6, 1952.
63. Г. Н. Высоцкий, Избранные труды. Сельхозгиз, М., 1960.
64. Б. И. Логгинов, Основы полезащитного лесоразведения. Изд. Укр. Академии сельхоз. наук, Киев, 1961.
65. В. В. Огневский, Н. И. Рубцов, Лесные культуры и лесные мелiorации. Изд-во Высшая школа, М., 1960.
66. Richard E. Mc Ardle, The Forest Service's First Fifty Years. Journal of Forestry, V. 53, Number 2, 1955.
67. Г. П. Мотовилов, Вопросы продуктивности лесов на IV Мировом лесном конгрессе. Сообщения Ин-та леса АН СССР, вып. 7, М., 1957.
68. И. С. Мелехов, Успехи науки о лесе (Всемирный лесной Конгресс). «Природа», № 2, 1961.
69. А. Б. Жуков, Современное состояние лесоводства в странах Европы. Вопросы современного развития лесного хозяйства. М., 1959.

И. Е. БЫКОВ

БЫСТРОКАПАЮЩИЕ ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКИЕ КАПИЛЛЯРЫ

Быстрокапающие капилляры в последние годы широко применяются в полярнографической практике. Хотя измерения с их помощью выполняются в условиях, несколько отличающихся от условий, в которых полностью справедливы основные полярнографические уравнения, они во многих случаях очень полезны. Применение быстрокапающих капилляров рекомендовано: 1) при необходимости использовать максимальную чувствительность короткопериодных гальванометров [1, 2]; 2) для определения повышенных концентраций вещества [3]; 3) для определения элементов в присутствии других элементов, восстанавливающихся при более положительных потенциалах [1, 2]; 4) в производной и разностной полярнографии [4]; 5) при работе с движущимися растворами [5], что, в частности, облегчает проведение амперометрических титрований; 6) в полярнографии с ускоренной автоматической регистрацией (рапид-полярнография) [6, 7]; 7) с целью увеличения чувствительности и разрешающей способности полярнографа [8]; 8) при желании исключить влияние эффекта обеднения [7].

Быстрокапающие капилляры не следует отождествлять с капиллярами с принудительным или контролируемым капанием, хотя у всех этих групп есть общие стороны. К быстрокапающим капиллярам можно отнести все капилляры, период капания которых меньше, чем минимальный период капания, еще способный обеспечить диффузионный характер предельного тока. Однако наибольший практический интерес представляют капилляры с периодами капания в пределах 1—0,03 сек. Струйчатый электрод формально можно рассматривать как устройство, в котором осуществлено истечение ртути с нулевым значением периода капания. Однако по своей конструкции и свойствам он значительно отличается от быстрокапающих капилляров. Величины периода капания быстрокапающих капилляров, обычно выражаемые дробными числами, часто удобно заменять соответствующими частотами.

Описано довольно много видов быстрокапающих капилляров. Ниже предлагается их классификация, основанная на различиях в способах ускорения капания.

I. Капилляры с параметрами, измененными в направлении, обеспечивающем ускоренное развитие капли:

- 1) капилляры с увеличенным радиусом канала;
- 2) укороченные капилляры;
- 3) капилляры с повышенным давлением в них ртути, достигаемым при помощи:
 - а) увеличения столба ртути,
 - б) увеличения давления газа над ртутью [9],
 - в) действия центробежной силы [10, 11].

II. Капилляры, работающие в условиях каплеобразования, благоприятствующих формированию мелких и частых капель:

1) капилляры, частично [12] или полностью [5] помещенные в горизонтальное положение;

2) капилляры с устьем, деформированным путем:

а) царапая стекла абразивами [5];

б) скалывая стекла при давлении иглой (предложено автором);

3) капилляры с ограничителями капания:

а) съёмными [1];

б) составляющими одно целое с капилляром [13];

4) вибрирующие капилляры [14].

III. Капилляры с отрывом капли, контролируемым при помощи внешних периодически действующих кратковременных импульсов:

1) электростатических [15];

2) механических:

а) срезание капель [16];

б) встряхивание и удар [15, 17, 18 и др.].

Для I группы капилляров период капания (τ) является функцией радиуса (r), длины (l) капилляра и давления ртути (p). С уменьшением τ масса ртути, вытекающая в 1 сек (m), увеличивается, и при значительном учащении капания с помощью этих способов отдельные капли ртути сливаются в сплошную струю. Замыкающие группу вращающиеся капилляры обладают некоторыми особенностями капилляров II группы и, таким образом, являются промежуточными по свойствам.

Капилляры II группы позволяют достичь большой частоты капания при незначительном изменении m . Величина τ до известной степени зависит от r , l и p , но определяется главным образом особым режимом образования капель. Высокая эффективность капилляров этой группы сочетается с простотой аппаратуры.

Употребление термина «ограничители капания» вместо «лопаточка», «язычок» и т. п. представляется более правильным, так как, во-первых, этот термин отражает более глубокую особенность определяемого устройства, чем термины, применяемые в настоящее время; во-вторых, опыт показал, что внешняя форма этого устройства может быть весьма различна. Безусловно, непригодны только конфигурации, запирающие выход ртути из капилляра или не позволяющие подвести поверхность ограничителя к капле ртути до необходимой близости.

В капиллярах III группы величина τ устанавливается экспериментатором с помощью различных более или менее сложных приспособлений и является в широких пределах независимой от r , l , p . Достоинством капилляров этой группы (а также некоторых капилляров предыдущей группы) является независимость τ от потенциала электрода. При прекращении воздействия импульсов быстрокапающие капилляры III группы автоматически превращаются в обычные (аналогичные переходы возможны также у капилляров, отнесенных к рубрикам I, 3; II, 1; II, 3а и особенно II, 4).

Для принудительного отрыва капли с помощью механических импульсов необходимо тем большее усилие, чем на более ранней стадии ее жизни оно прилагается. Если частота импульсов велика, мощность отдельного импульса может оказаться недостаточной для отрыва только что образовавшейся капли. Эта капля будет продолжать расти до тех пор, пока ее вес и энергия движения, сообщаемая импульсом, не окажутся в состоянии преодолеть силу поверхностного натяжения и оторвать каплю. В этом случае капание ртути будет происходить с некоторой собственной частотой, которая будет больше частоты свободного капания ртути из данного капилляра и меньше частоты вынуждающих импульсов. Для капилляров, работающих в подобном вибрирующем ре-

жиме, в соответствии со сказанным характерно не постоянство периода капания, как для капилляров III группы, капающих с частотой внешних импульсов, а постоянство веса, следовательно, и размеров капель, сохраняющихся при различных p и m (см. табл. 2). Такая особенность присуща и капиллярам с ограничителями капания [1]. Поскольку вибрирующие капилляры, обладающие некоторыми свойствами капилляров III группы, включены во II группу.

Основное достоинство быстрокапающих капилляров, обуславливающее их практическую ценность, заключается в их способности значительно уменьшать осцилляции тока. Необходимая степень уменьшения устанавливается эмпирически. Легче и обоснованнее найти период капания капилляров, обеспечивающий достаточное уменьшение осцилляций, исходя из некоторых положений теории колебаний. Осцилляции совершаются в соответствии с периодом капания капилляра (τ), так как влияние периода качаний зеркала гальванометра (T), имеющее место сразу же после включения гальванометра, быстро падает.

В соответствии с теорией колебаний [19, 20] и принятыми в полярнографии обозначениями можно записать:

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{T^2}{\tau^2}\right)^2 + 4b^2 \frac{T^2}{\tau^2}}}, \quad (1)$$

где a — максимальная амплитуда вынужденных колебаний (осцилляций);

a_0 — отклонение гальванометра при постоянном токе в отсутствие осцилляций;

b — коэффициент, связанный с силами торможения колебаний зеркала гальванометра, при критическом режиме гальванометра равный единице.

Из выражения (1) следует, что амплитуда осцилляций пропорциональна измеряемому току и уменьшается с ростом периода качания зеркала гальванометра и с уменьшением периода капания. При $\frac{a}{a_0} > 1$ точные измерения становятся невозможными, при $\frac{a}{a_0} < 0,001$ осцилляции практически исчезают.

У быстрокапающих капилляров величина τ мала и, следовательно, отношение $\frac{T}{\tau}$, а тем более $\frac{T^2}{\tau^2}$ велико. В подкоренном выражении $\frac{T^2}{\tau^2} \gg 1, \left(\frac{T^2}{\tau^2}\right)^2 \gg \frac{T^2}{\tau^2}$, а величина b близка к единице, так как в полярнографических установках режим гальванометров выбирается близким к критическому. Поэтому уравнение (1) можно значительно упростить и записать в форме:

$$\frac{a}{a_0} = \left(\frac{\tau}{T}\right). \quad (2)$$

Следовательно, для быстрокапающих капилляров отношение максимальной амплитуды осцилляций к измеряемому току равно квадрату отношения периода капания к периоду качания зеркала. В логарифмических координатах зависимость (2) графически выражается прямой линией. Таким образом, быстрое капание не устраняет полностью осцилляций, но может уменьшить их до весьма малых размеров, которые можно задать заранее и оценить с помощью выражения (2).

Капилляры II группы представляют большой интерес благодаря своей многочисленности, простоте изготовления, большой скорости капания и разнообразию принципов, лежащих в основе их действия. Это побудило нас провести сравнительное испытание некоторых из них. От термометрической трубки с диаметром канала около 0,08 мм было отрезано три куса. Конец одного из них был согнут под прямым углом, по Смолеру [12]. Из другого изготовлен зонкованный капилляр (см. ниже). Третий кусок был последовательно использован в качестве капилляра с ограничителем обычного, вибрирующего и шлифованного капилляров. Все капилляры имели длину 15 см.

Стекло не является единственно приемлемым материалом для ограничителей капания. Мы наблюдали ускорение капания при соприкосновении капли ртути с поверхностью керамики, дерева, металлов, пластмасс, парафина и др. Это позволяет изготавливать съемные ограничители капания без стеклодувных операций, что является благоприятным условием для расширения их применения. Однако припайка стеклянного ограничителя делает систему более жесткой и малогабаритной и обеспечивает высокую устойчивость работы капилляра. Поэтому мы работали с припаянными ограничителями.

Вибрирующий режим создавался путем прикрепления капилляра к якори электрического звонка, работавшего от городской сети переменного тока через понижающий трансформатор. Колебания были направлены перпендикулярно капилляру и вследствие незначительности их амплитуды не поддавались визуальному наблюдению.

Техника приготовления шлифованного капилляра несколько отличалась от описанной Карчмером [5], что отражено и в названии капилляра. В наших опытах капавший конец отрезка капиллярной трубки шлифовался наждачным кругом. Шлифование дает капилляры с частотой капания ртути, изменяющейся в сравнительно узких пределах. Изменение размеров абразивных зерен мало отражается на результатах. Попытка заменить шлифование травлением фтористыми соединениями оказалась безуспешной.

К шлифованному капилляру близок другой изученный капилляр, у которого стекло по краю канала обламывалась с помощью стальной иглы и который мы, по аналогии со сходной операцией из области металлообработки, назвали зонкованным. Период капания капилляров этого рода колеблется в более широких пределах и в большей степени поддается регулированию, чем у шлифованных капилляров.

С прямоугольным капилляром Смолера были поставлены только отдельные опыты, учитывая, что величины периода капания этого капилляра довольно велики и, следовательно, особенности, свойственные быстрокапающим капиллярам, у него выражены слабее.

Все полярнографические измерения выполнены на полярнографе визуального типа, изготовленного экспериментальными мастерскими УФАН СССР. Результаты измерений приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 1—4.

Важнейшим параметром быстрокапающих капилляров, определяющим другие их особенности, является период капания. Для его измерения применялся прием, рекомендованный П. Н. Терещенко [13]: счет капель, вытекших в течение известного отрезка времени на поверхность, движущуюся под капилляром. В результате этого движения капли падают на некотором расстоянии одна от другой. О величинах τ быстрокапающих капилляров дает представление рис. 1, составленный по нашим измерениям и литературным данным.

Таблица 1

Предельные токи кадмия при различных условиях опыта

Сд, мм	NH ₄ OH, М	NH ₄ Cl, М	Na ₂ SO ₃ , М	Желатин, %	Высота столба ртути, см	I _д , мка, в опыте с капилляром				
						обыч-ным	шлифован-ным	зонкован-ным	с ограничителем	вибрирующим
0,178	1	1	0,1	0,01	25	1,29	0,51	0,37	0,53	0,69
0,178	1	1	0,1	0,01	55	2,02	0,90	0,78	0,94	1,12
0,089	1	1	0,1	0,01	40	0,85	0,37	0,28	0,37	0,48
0,178	1	1	0,1	0,01	40	1,70	0,74	0,55	0,75	0,94
0,356	1	1	0,1	0,01	40	3,45	1,50	1,08	1,52	1,93
0,534	1	1	0,1	0,01	40	5,11	2,28	1,56	2,25	2,92
0,178	1	1	0,1	0,1	40	1,68	0,81	0,58	0,71	0,90
0,178	1	1	0,1	0	40	1,70	0,77	0,53	0,78	1,06
0,178	0,1	0,1	0,1	0,01	40	1,63	0,74	0,53	0,71	0,87

Периоды капания капилляров III группы задаются экспериментатором и, следовательно, в пределах опыта постоянны. Выше уже отмечалось постоянство размеров капель ртути, вытекающих из капилляров с ограничителями и вибрирующих капилляров. У всех этих капилляров период капания независим от потенциала капельного электрода.

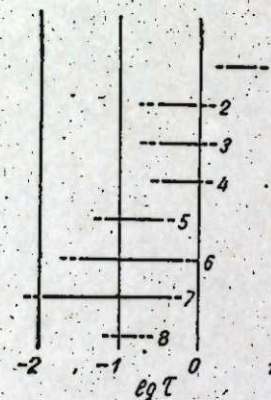


Рис. 1. Частота капания быстрокапающих капилляров.

Капилляры: 1 — обычные, 2 — быстрокапающие I гр.; 3 — быстрокапающие III гр.; 4 — прямоугольные; 5 — шлифованные; 6 — зонкованные; 7 — с ограничителем; 8 — вибрирующие.

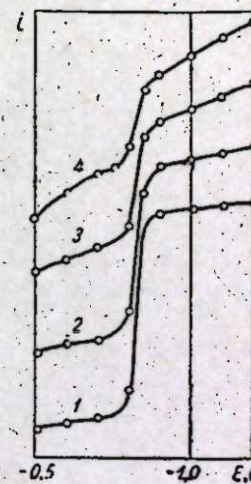


Рис. 2. Волны кадмия при разной скорости капания ртути.

Состав электролита: Cd — 0,18 мМ; NH₄OH — 1 М; NH₄Cl — 1 М; Na₂SO₃ — 0,1 М. 1 — обычный капилляр; τ = 2,67 сек; 2, 3, 4 — зонкованный капилляр; τ соответственно 0,79, 0,11 и 0,04 сек.

Основой для аналитического применения всех испытанных быстрокапающих капилляров является то, что все они, как и обычные полярнографические капилляры, обеспечивают образование предельных токов восстанавливающихся или окисляющихся на электроде веществ, величина которых пропорциональна концентрации этих веществ. Предельные токи, полученные при помощи быстрокапающих капилляров, меньше, а остаточные токи больше, чем полученные с обычными капиллярами. Эти особенности являются недостатками с точки зрения аналитического использования капилляров. Однако при малых величинах периода капа-

согласно которому при уменьшении величины периода капания капилляра потенциал полуволны необратимой волны должен смещаться в сторону отрицательных потенциалов. При $\tau < 2$ сек количественная зависимость не соблюдалась вследствие нарушения нормальной диффузии ионов. Я. Гейровский [23], работая со струйчатым ртутным электродом, наблюдал случаи изменения формы полярмографических волн и даже их неоявления на полярмограмме. Он объясняет это тем, что продолжительность соприкосновения между поверхностью электрода и восстанавливающимся или окисляющимся веществом на струйчатом электроде уменьшается в сотни раз по сравнению с обычной.

Быстрое капание также значительно сокращает длительность контакта между электродом и веществом. В наших опытах происходило сокращение в 10—40 раз. Несомненно, это нашло отражение в отклонениях полученных кривых от кривых, наблюдаемых при работе с обычными капиллярами.

Как размешивание раствора, так и уменьшение времени соприкосновения между каплей ртути и деполаризатором, конечно, неспособны сделать обратные волны необратимыми. Однако оба эти фактора ослабляют лимитирующее влияние диффузии и облегчают проявление других замедленных стадий электродного процесса. Поэтому отношение обратимых волн (например, меди, кадмия и таллия в аммиачном растворе) и необратимых (например, никеля, цинка, селена и теллура в том же растворе) к ускорению капания настолько различно, что его можно использовать в качестве вспомогательного средства для их распознавания.

В заключение даем сравнительную оценку испытанных быстрокапающих капилляров.

Капилляры с деформированным устьем (шлифованный, зенкованный) отличаются наибольшей легкостью изготовления и наименьшими размерами, но меньшей устойчивостью в работе.

Капилляры с припаянным ограничителем обладают наиболее широкими пределами изменения периода капания, постоянным размером капели и более высокой устойчивостью, но их ограничитель хрупок.

У вибрирующих капилляров капля также постоянного размера; эти капилляры легко превращаются в обычные и наоборот, но в режиме быстрого капания нуждаются в дополнительном устройстве — вибраторе.

Уральский филиал АН СССР,
Свердловск

Поступила в редакцию
25/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Скобец, Н. С. Кавецкий. Завод. лабор., XV, 11, 1299 (1949).
2. Т. В. Арефьева, Л. Б. Гинзбург, М. И. Троицкая, С. Ю. Файнберг. Сб. Современные методы анализа в металлургии. Металлургиздат, М., 1955.
3. Д. П. Щербов, И. И. Сагалович. Сб. Химич. и физико-химич. методы анализа минерального сырья. Госгеолтехиздат, М., 1955.
4. Е. М. Скобец, В. Д. Скобец. Завод. лабор., XIX, 6, 644 (1953).
5. J. H. Karchmer. Anal. Chem., 31, 4, 502, 509 (1959).
6. S. Wolf. Angew. Chem., 72, 13, 449 (1960).
7. Р. Кальвода, И. Смолер. Завод. лабор., XXVII, 5, 549 (1961).
8. С. Б. Цфасман. Завод. лабор., XXVI, 9, 1064 (1960).
9. О. Несвадба. Sborn. I. mezinárodn. polarogr. Sjezdu, III, 757, Praha, 1951.
10. J. M. Kolthoff, Y. Okinaka. Anal. Chim. acta, 18, 1—2, 83 (1958).
11. N. Такака, Т. Коизуми, Т. Мурауама, М. Кодاما, Y. Сакума. Anal. Chim. acta, 18, 1—2, 97 (1958).

12. И. Смолер. Сб. чехослов. хим. работ, XIX, 238 (1954).
13. П. Н. Терещенко. Завод. лабор., XXIV, 2, 223 (1958).
14. D. A. Bergman, P. S. Saunders, R. J. Winzler. Anal. Chem., 23, 7, 1040 (1957).
15. L. Airey, A. A. Smales. Analyst, 75, 891, 287 (1950).
16. S. Stankoviansky. Chem. Zvesti, 133 (1948), 266 (1949). Цит. по Е. М. Скобец, В. Д. Скобец. Завод. лабор., XXIII, 2, 167 (1957).
17. П. Н. Терещенко. Завод. лабор., XIV, 11, 1319 (1948).
18. Z. Zagórski, S. Olszanski. Przem. chem., XI (34), 12, 693 (1955).
19. И. М. Бабаков. Теория колебаний. Гостехиздат, М., 1958.
20. Э. Мейер, К. Мердер. Зеркальные гальванометры и приборы со световым указателем. Госэнергоиздат, М.—Л., 1959.
21. N. Такака, R. Таматумши, М. Кодاما. Anal. Chim. acta, 20, 6, 573 (1959).
22. А. Г. Стромберг, К. Р. Воронова. Ж. физ. хим., XXXIII, 2, 318 (1959).
23. Я. Гейровский. Техника полярмографического исследования. ИЛ, М., 1951.

В. П. ПАНФИЛОВ

К ВОПРОСУ О ДОСТУПНОСТИ РАСТЕНИЯМ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

В почвенной гидрологии к настоящему времени установлено, что закономерности передвижения и доступность растениям воды, находящейся в почве в различных состояниях, неодинаковы [1—6]. В природных условиях верхний предел оптимального увлажнения почв, при котором обеспечивается высокая подвижность и доступность почвенной влаги, определяется их полевой (наименьшей) влагоемкостью. Нижним пределом интервала доступной растениям влаги является влажность завядания. Запас почвенной влаги между этими величинами является основным источником водоснабжения растений.

По вопросу о доступности для растений почвенной влаги в интервале от полевой влагоемкости до влажности завядания высказывались различные точки зрения [3—5, 7—9]. Некоторые исследователи [7, 8] считают, что в этом интервале вода одинаково доступна для растений. Советскими учеными [3, 5, 6] доказано, что степень доступности воды в пределах указанного интервала неодинакова. Установлено также, что нижний предел оптимального увлажнения соответствует не влажности завядания, а лежит значительно выше этой величины и что, следовательно, в интервале от влажности завядания до полевой влагоемкости имеется еще одна критическая влажность, по обе стороны которой физические свойства и биологическая ценность почвенной влаги различны.

Так, по данным С. Н. Рыжова [6], рост и развитие хлопчатника сильно задерживается из-за недостатка воды еще до наступления влажности завядания. Установленная им нижняя граница оптимальной влажности тяжелосуглинистого серозема равна примерно 70% полевой влагоемкости и названа М. М. Абрамовой влажностью разрыва капиллярной связи [1], при которой нарушается сплошность в системе капиллярных пор, заполненных влагой, а подвижность и доступность влаги резко меняются.

Установление этой важной в характеристике водных свойств почв предельной величины представляет существенную задачу.

В 1953—1958 гг. Биологическим институтом Сибирского отделения АН СССР в Кулундинской степи, на орошаемом участке колхоза с. Ключи Ключевского района Алтайского края, проводились опыты по установлению оптимального режима влажности почв для различных сельскохозяйственных культур. Почва опытного поля каштановая, по механическому составу супесчаная, иловато-песчаная. Полевая влагоемкость ее 12,8% (в слое 0—50 см), а влажность завядания 3,6% от сухой навески. Такие почвы занимают большие площади в Центральной Кулунде, а также на Павлодарском плато и Прииртышской пониженной равнине.

Кратко охарактеризуем морфологическое строение профиля каштановой почвы — объекта наших исследований.

- Гор. А_{пах}, 0,18 см — серый с каштановым оттенком, сухой, рыхлый, комковато-пылеватой структуры, супесчаный. Редкая корневая система. Много неразложившихся растительных остатков. Переход в гор. АВ постепенный.
- Гор. АВ, 18—42 см — светло-серый с пятнами светло-бурого цвета, сухой, уплотненный, комковатый, супесчаный. Встречается мелкая галька, редко — сусликовины темно-серого цвета. Редкая корневая система. Переход в гор. В заметный.
- Гор. В, 42—80 см — светло-бурый, редко — потеки серо-бурого цвета. Сухой, уплотненный, комковатый, супесчаный. Часто встречаются крупный песок и галька. Единичная корневая система. Переход в гор. С_к заметный.
- Гор. С_к, 80—175 см — неравномерно окрашенный: белесо-серый с пятнами и потеками белого и буровато-серого цвета. Часто встречается галька. В нижней части ясно выражена слоистость (прослой песка и супеси). Сухой, очень плотный. Редко встречаются отмершие корневые остатки. Переход в гор. Д₁ заметный. Вскипает от HCl.
- Гор. Д₁, 175—212 см — серо-бурый слоистый песок. Заметны прослой крупного песка и супеси. Встречается галька. Свежий, слабо уплотненный. Переход в гор. Д₂ постепенный.
- Гор. Д₂, 212—280 см — неравномерно окрашенный: на общем фоне песка с галькой темно-бурого цвета выделяются пятна песка серого, зеленовато-серого цвета. В верхней части редко встречаются тонкие линзы оглеенного песка с галькой. Слабо уплотнен, сырой. Переход в гор. Д₃ заметный.
- Гор. Д₃, 280 см — серо-зеленый среднезернистый песок. Слабо уплотнен, сырой. Переход в гор. Д₃ заметный по отсутствию вскипания.
- Гор. Д₃, 280 см — серо-зеленый среднезернистый песок. Мокрый, рыхлый. Редко встречается мелкая галька. От HCl не вскипает. С глубины 310 см сочится вода.

В связи с рассматриваемым в настоящем сообщении вопросом остановимся на некоторых данных наблюдений за водным режимом каштановой почвы. На рис. 1 показано распределение влаги по профилю почвы в разные сроки после полива на вариантах без растений и под яровой пшеницей. Через сутки после полива нормой 550 м³/га верхний слой почвы 0—70 см был насыщен до полевой влагоемкости. С глубиной влажность почвы резко падала, доходя в слое 90—120 см до влажности завядания. Таким образом, после полива влага в почве удерживалась в капиллярно-подвешенном состоянии.

Следует отметить, что именно в этой форме накапливается и западается влага и в неорошаемых каштановых почвах. Поэтому выяснение характера передвижения капиллярно-подвешенной влаги при испарении представляет определенный интерес.

Через одиннадцать дней после полива на вариантах без растений влажность почвы уменьшилась. Часть влаги передвинулась вниз, на что указывает некоторое увеличение влажности почвы в слое 75—110 см. В нижних горизонтах влажность осталась без изменений. Следовательно, большая часть капиллярно-подвешенной влаги передвинулась вверх и испарилась. Передвижение капиллярно-подвешенной влаги вверх в процессе испарения происходит в жидкой форме [1, 2].

Верхний слой почвы мощностью около 6 см подвергается исключительно сильному иссушению до величины, меньшей, чем влажность завядания. Поэтому передвижение влаги в жидкой форме происходит, по видимому, вплоть до верхнего 6-сантиметрового слоя, который является слоем испаряющим, где влага передвигается преимущественно в парообразной форме.

Определение влажности почвы в последующие сроки (17 и 26 июня) показало, что установившаяся после одиннадцатидневного испарения влажность, равная в среднем 9% от веса почвы, в дальнейшем в течение 10 и 20 дней меняется очень мало. Несколько повышенное содержание влаги в верхнем 5—15-сантиметровом слое, отмеченное 26 июня, объясняется тем, что 24 июня, т. е. незадолго перед определением, был сильный дождь (15,3 мм).

Исходя из этого, можно полагать, что влажность почвы, равная в среднем 9%, служит каким-то пределом, при котором передвижение капиллярно-подвешенной влаги к испаряющему слою резко замедляется, не смотря на наличие градиентов влажности как снизу, так и сверху. При этой влажности полностью или почти полностью прекращается капиллярное передвижение влаги. Это объясняется тем, что влага, содержа-

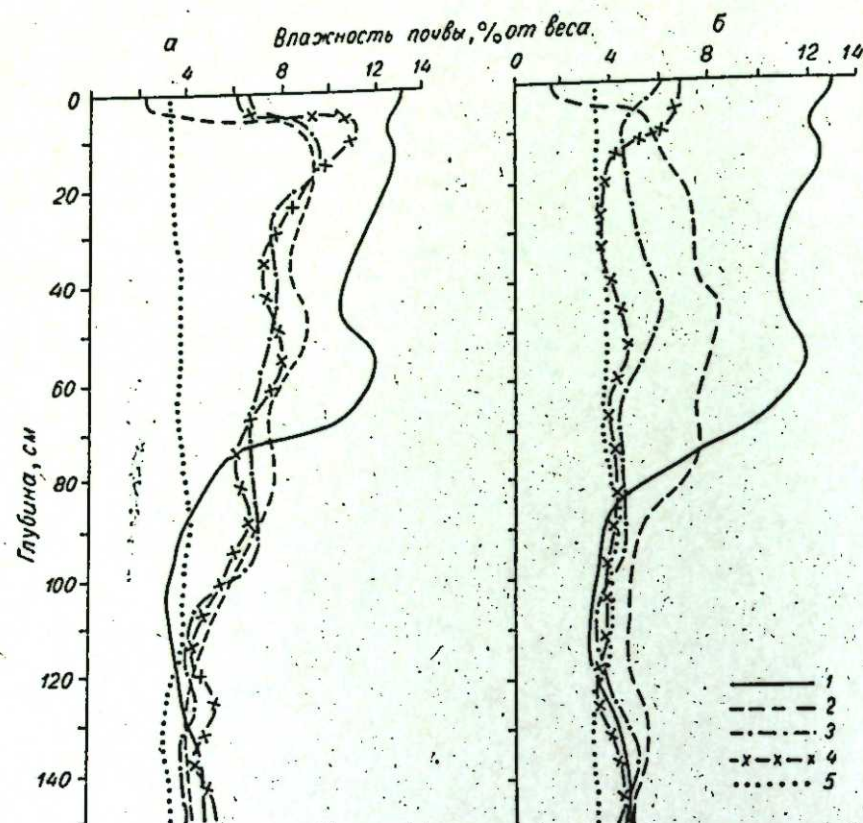


Рис. 1. Распределение влаги по профилю орошаемой каштановой почвы в 1957 г.

(а — без растений, б — под яровой пшеницей) в сроки: 1 — 27 мая — через сутки после полива, 2 — 7 июня — через 11 суток после полива, 3 — 17 июня — через 21 сутки после полива, 4 — 28 июня — через 30 суток после полива, 5 — влажность завядания.

щаяся в почве, перестает составлять связную систему и разделяется на ряд мелких разобщенных скоплений [1, 10]. Связь между этими разобщенными водными участками осуществляется лишь через пленочную воду, в силу чего восходящее движение влаги если и продолжается, то крайне медленно.

Весьма важно было выяснить, является ли установленная в полевых условиях для супесчаной каштановой почвы влажность разрыва капиллярной связи тем нижним пределом оптимального увлажнения почвы, при котором резко снижается не только подвижность, в чем нет сомнения, но и доступность влаги для растений.

Сопоставляя кривые распределения влаги по профилю почвы под пшеницей в те же сроки (см. рис. 1, б); видим, что расходование влаги под пшеницей идет совершенно иначе, чем в вариантах без растений.

В то время как в варианте без растений кривая влажности за одиннадцать дней сдвинулась влево в слое 0—80 см в среднем на 3,7% под

пшеницей она передвинулась на 5,3%. При этом следует учесть, что под пшеницей в отличие от вариантов без растений передвижение влаги вглубь за пределы 80 см почти не наблюдалось.

В дальнейшем кривая распределения влаги под пшеницей сдвигается влево значительно сильнее, достигая к 26 июня, в пределах почти всего профиля почвы, влажности завядания. До конца вегетации на этих вариантах было проведено еще два полива. Урожай яровой пшеницы составил 19,5 ц/га.

Полученные данные показывают, во-первых, что в вариантах с растениями под влиянием десугрирующей деятельности корневой системы растений почва иссушается значительно быстрее и глубже, чем под влиянием физического испарения. Во-вторых, эти данные позволяют предполагать, что в легких каштановых почвах доступность влаги в интервале от полевой влагоемкости до влажности разрыва капиллярной связи и даже меньшей остается достаточно высокой и что нижний предел оптимального увлажнения лежит ниже, чем влажность разрыва капиллярной связи.

Некоторые исследователи в своих работах также отмечают, что в легких по механическому составу почвах нижняя граница оптимальной влажности лежит ниже, чем в тяжелых почвах. Так, например, А. В. Николаев [11] по данным опытов с хлопчатником приходит к выводу, что на легких почвах можно снижать влажность до 60% от полевой влагоемкости без ущерба для урожая. Опыты А. М. Алпатьева [12] показали возможность снижения влажности супесчаных почв до 50% от полевой влагоемкости без снижения урожая картофеля и проса.

Вместе с тем в отдельных работах имеются и другие указания. Например, В. Е. Еременко [13] указывает, что «чем легче механический состав почв, тем выше лежит граница допустимой влажности перед поливами и чем тяжелее почвы по механическому составу, тем ниже лежит эта граница».

Ввиду практической важности разрешения вопроса о нижнем пределе оптимального увлажнения почвы нами в 1958 г. был поставлен дополнительно вегетационный опыт в четырехкратной повторности по следующей схеме. В сосуды помещалось в среднем по 1000 г каштановой почвы. Для создания вполне определенных градиентов влажности почва перед набивкой в сосуды доводилась до различного, в соответствии со схемой опыта, увлажнения и в нее высаживались проклюнувшиеся семена яровой пшеницы. Варианты увлажнения почвы в опыте приведены в таблице.

Варианты увлажнения почвы в вегетационном опыте

Степень увлажнения почвы	в % от полевой влагоемкости	90	80	70	60	50	40
	в % от веса почвы	11,2	10,0	8,8	7,5	6,3	5,1
Содержание доступной влаги (за вычетом влажности завядания)		7,8	6,6	5,4	4,1	2,9	1,7

Для создания благоприятных питательных условий в почву вносилось в растворенном виде по 0,6 г $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ в каждый сосуд. Развитие растений до начала опыта происходило на свету и продолжалось 20—21 день, т. е. до начала выхода в трубку. По истечении этого срока в сосудах

при прореживании было оставлено по 7 растений и поверхность почвы была залита мастикой. После этого половина сосудов каждого варианта оставалась без полива, в то время как полив остальных продолжался. Поливные сосуды служили в дальнейшем контролем. Для учета транспирации опытные и контрольные сосуды ежедневно или даже два раза в день взвешивались. Измерения интенсивности транспирации велись до глубокого завядания растений в опытных (неполивных) сосудах. Опыт велся в тени.

Прежде чем переходить к обсуждению полученных результатов, необходимо отметить, что в сосудах, увлажненных до 90, 80, 70, 60 и 50% от полевой влагоемкости, были получены полные и хорошие всходы яровой пшеницы. Между тем как в сосудах, увлажненных до 40% от полевой

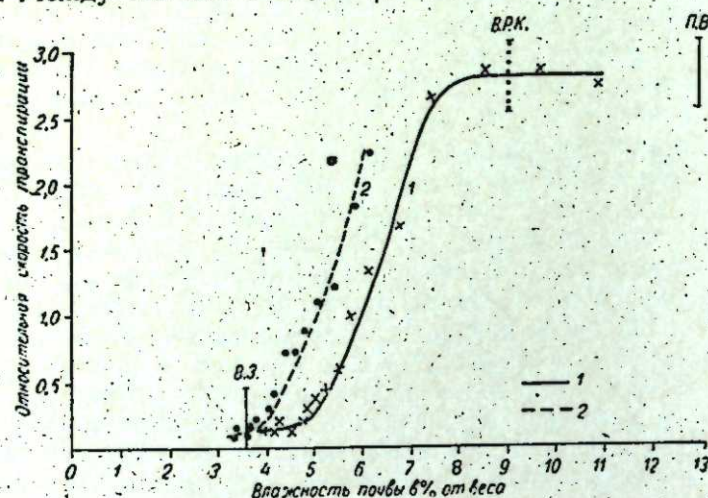


Рис. 2. Изменение относительной скорости транспирации воды растениями в зависимости от влажности почвы:
1 — вариант 90% полевой влагоемкости, 2 — 50% полевой влагоемкости. ВЗ — влажность завядания, ВРК — влажность разрыва капиллярной связи, ПВ — полевая влагоемкость.

влагоемкости, всходы были очень изреженные и слабые: из 26 высаженных семян взошло только 8. По-видимому, для исследуемой почвы минимальная влажность, необходимая для питания семян и появления полноценных всходов яровой пшеницы, равная 6,3% от веса почвы (50% от полевой влагоемкости) или близка к ней.

Полученные данные обрабатывались так, чтобы получить изменение относительной скорости транспирации. Последняя одновременно является и относительной скоростью иссушения почвы, а также мерой доступности для растений почвенной влаги в зависимости от изменяющейся влажности почвы. За меру относительной транспирации принято уменьшение влажности почвы в сосудах в процентах (среднее для двух параллельных сосудов) за время, соответствующее испарению контрольными сосудами 20 см³ воды. Полученные таким образом данные для вариантов 90 и 50% от полевой влагоемкости изображены графически на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что в интервале влажности от полевой влагоемкости до влажности 7,5% (60% от полевой влагоемкости) не происходит заметного уменьшения скорости транспирации. В дальнейшем по мере понижения влажности почвы скорость транспирации быстро уменьшается, достигая наименьшего значения при влажности завя-

дания или близкой к ней. При влажности завядания скорость транспирации в 15—20 раз меньше, чем при влажности, близкой к полевой влагоемкости.

Интересно также отметить, что на варианте 50% от полевой влагоемкости скорость транспирации в опытных сосудах резко уменьшается сразу же после прекращения полива.

Полученные данные свидетельствуют о том, что скорость транспирации не изменяется в довольно широком интервале влажности и что, следовательно, доступность влаги в этом интервале изменяется мало. Вместе с тем они показывают, что доступность для растений почвенной влаги заметно уменьшается по мере снижения ее до влажности завядания.

Оптимальная для растений влажность каштановой почвы по результатам вегетационного опыта лежит в пределах, близких к полевой влагоемкости. Действительно, в легких почвах оптимум влажности можно без вреда для растений поддерживать выше, чем в тяжелых, так как даже при насыщении их до полевой влагоемкости в них остается достаточное количество воздуха (по нашим данным, разница между скважностью и полевой влагоемкостью для исследуемой почвы составляет 22%: для подавляющего большинства культурных растений воздухоемкость порядка 15% является вполне достаточной для нормального их развития [12]).

Однако нашими многолетними наблюдениями за водным режимом орошаемых каштановых почв в Центральной Кулунде установлено, что поддерживать постоянную высокую влажность почвы на уровне даже 70% от полевой влагоемкости в течение всего периода вегетации сельскохозяйственных культур практически очень трудно.

Результаты вегетационного и полевых опытов позволяют заключить, что практически осуществимый оптимальный режим влажности на легких каштановых почвах лежит в пределах 50—100% полевой влагоемкости. В условиях орошения не следует допускать снижения влажности почвы ниже 50% от полевой влагоемкости. Таким образом, нижняя граница оптимальной влажности в легких каштановых почвах лежит выше влажности завядания, но опускается ниже влажности разрыва капиллярной связи (70% от полевой влагоемкости). Возможность снижения нижней границы оптимальной влажности в легких каштановых почвах до величины меньшей, чем влажность разрыва капиллярной связи, объясняется тем, что в этих почвах доступность растениям влаги даже после разрыва капиллярной связи остается достаточно высокой.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
25/V 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Абрамова, Опыты по изучению передвижения капиллярно-подвешенной влаги при испарении. «Почвоведение», № 1, 1948.
2. А. Ф. Большаков, Водный режим богарных почв Узбекистана. В кн. Материалы по изучению водного режима почв, тр. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, т. 32, 1950.
3. С. И. Долгов, О доступности для растений почвенной влаги. Докл. АН СССР, нов. сер., т. 55, № 5, 1947.
4. С. И. Долгов, Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. Изд. АН СССР, М.—Л., 1948.

5. А. А. Роде, Почвенная влага. Изд. АН СССР, 1952.
6. С. Н. Рыжов, Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Изд. АН Узб. ССР, Ташкент, 1948.
7. О. Израильсен, Теория и практика ирригации. Изд. иностр. лит., М., 1956.
8. С. И. Коккина, К вопросу о влиянии влажности почвы на растение. Изв. Главн. бот. сада, т. 26, вып. 1, 1947.
9. Физические условия почвы и растение. Перевод с англ. Под ред. И. Н. Антипова-Каратаева и А. А. Ничипоровича, Изд. иностр. лит., 1955.
10. А. А. Роде, Водный режим почв богарной зоны Узб. ССР. В кн. Генезис и география почв, тр. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, т. 25, 1947.
11. А. В. Николаев, Основные положения рационального поливного режима хлопчатника. Изв. Таджик. фил. АН СССР, № 10, 1944.
12. А. М. Алпатъев, Влагооборот культурных растений. Гидрометеониздат, Л., 1954.
13. В. Е. Еременко, Режим орошения и техника полива хлопчатника. Изд. АН Узб. ССР, М.—Л., 1957.

А. И. САКС

СРАВНИТЕЛЬНАЯ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ВИДОВ И СОРТОВ ЗЕМЛЯНИКИ

В условиях Новосибирской области, а также всей лесостепной и степной зон Сибири многолетние сельскохозяйственные культуры должны обладать высокой морозоустойчивостью, иначе они в тот или иной период зимовки сильно повреждаются или полностью гибнут от низких температур. Это относится и к землянике.

М. А. Лисавенко [1], Д. А. Андрейченко [2] пишут, что земляника в условиях Сибири — малозимостойкое растение, но, несмотря на это, ее культура в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях является самой перспективной и доходной из всех ягодников.

В Новосибирской области в октябре и апреле в отдельные годы, а в ноябре и марте во многие годы наблюдается опасное снижение температуры при отсутствии снега или при незначительном снежном покрове. В это время минимальные температуры почвы на глубине залегания корневищ земляники часто ниже критических [3—5]. Наблюдения Барнаульской агрометеорологической станции в 1941—1948 гг. [5] показывают, что в почве на глубине 3—5 см при снежном покрове в 10—30 см температура доходила до -20° , а при бесснежье — до -30° . Многолетние данные гидрометслужбы по Новосибирской области [3] говорят о том, что в почве на глубине 3—5 см абсолютные температуры доходили в ноябре до $-21,2^{\circ}$, в декабре до $-28,7^{\circ}$, в январе до $-28,0^{\circ}$, в феврале до $-28,4^{\circ}$ и марте до $-27,5^{\circ}$. Такие минимумы температуры почвы на глубине залегания корневищ земляники часто смертельны для растений. Критические температуры видов и сортов земляники пока не изучались и неизвестны.

Обосновывая целесообразность стерневых посевов озимых культур в условиях Сибири, Т. Д. Лысенко доказывает, что в зимовке озимых, кроме прямого вредного действия низких температур, большую роль играют механические повреждения листьев, узлов кушения и корней. Мы в своих опытах с земляникой также наблюдали выпирание земляники, что увеличивало весеннюю гибель кустов от высыхания. Листья земляники в отдельные годы гибнут от осенних сухих ветров без механических повреждений (1955 г.).

Известно, что морозоустойчивость не является постоянным свойством организма, она приобретает осенью соответственно наследственности сорта в развитии, в процессе закалывания растений. Т. Д. Лысенко [7] пишет, что процессы яровизации и закалывания зимующих растений взаимно связаны и проходят в одних и тех же условиях среды. Он придает очень большое значение световым условиям осени в превращении расшатанных яровых в озимые, менее морозостойких в более морозостойкие. Исследования Б. С. Мошкова [8] впервые показали, что у многолетних растений летом и осенью большое значение имеет длина дня (фотопериод), благоприятствующая переходу растений в глубокий по-

кой, повышающий их морозоустойчивость. По теории И. И. Туманова [9—12], зимующие растения проходят осенью две фазы закаливания. Растения закаляются наилучшим образом, если процессы первой и второй фаз закаливания совершаются последовательно, при этом достигается наивысшая морозоустойчивость; некоторые северные древесные (береза, черная смородина) становятся абсолютно невымерзающими, выдерживая температуру до -253° [12]. Наиболее сильно повышается морозоустойчивость растений под влиянием приспособительных процессов второй фазы закаливания, если до этого нормально прошли в растениях процессы первой фазы. Многочисленными исследованиями установлено, что оттепели и резкие колебания температуры сильно снижают закаленность растений, что процессы закаливания растений к низким температурам — обратимые процессы [9, 13—16 и др.]. В процессах осеннего закаливания растений происходит коренная перестройка всей субмикроскопической структуры протоплазмы, что выражается в сближении макромолекул в ней и уменьшении амплитуд их тепловых колебаний, иначе говоря, происходит уплотнение протоплазмы. Все это приводит в организме к очень существенной приспособительной перестройке всего обмена веществ, который становится физиологически инактивированным. Такая перестройка микроструктуры и всего метаболизма повышает устойчивость протопласта к предельному обезвоживанию и механическим деформациям, являющимся обычно причиной гибели протопласта при быстром замерзании и образовании льда внутри клеток и межклетниках [11, 12, 17].

Анализируя осенние погодные условия Новосибирской области с точки зрения современной теории закаливания растений, мы приходим к выводу, что осенние световые условия и водный режим чаще всего благоприятны для хорошей закалки земляники. Однако температурный режим осени не всегда способствует достижению растениями наивысшей морозоустойчивости. В условиях Сибири характерны большие суточные колебания температуры воздуха: в октябре и ноябре часто резко понижается температура. Многолетние метеорологические данные показывают, что в Новосибирских условиях в ноябре наблюдается в среднем 6 дней оттепели, в марте — 5 дней. Оттепели сильно снижают закаленность растений, особенно при отсутствии снежного покрова. В то же время в ноябре в 70% всех лет минимальная температура падает до -25° и ниже; в 50% всех лет — до -30° и ниже, в 15% лет наблюдаются морозы ниже -35° ; в первой половине декабря снежный покров обычно незначительный — в пределах 10 см, а минимальные температуры воздуха в 89% всех лет падают ниже -25° , в 39% лет — ниже -30° , в 27% всех лет морозы доходят до -35° и ниже [3]. Эти данные говорят о суровости условий зимовки растений.

Сибирские селекционеры М. А. Лисавенко [1], Андрейченко [2] пишут, что все сорта крупноплодной садовой земляники малозимостойкие. В условиях Бердской плодово-ягодной станции, расположенной недалеко от Новосибирска [2], за много лет наблюдений более зимостойкими оказались Коралка, Сеянец Штанина, Полярная, Смена, Народная, Сеянец Комсомолки и Саксонка. В очень суровом 1950/51 г. (минимум $-46,8^{\circ}$) в колхозах Новосибирской области земляника погибла на 80—100%. Д. А. Андрейченко [2] считает Лесную землянику и клубнику очень зимостойкими, М. А. Лисавенко [1] высказывает обратное мнение и ориентирует селекционеров на землянику восточную (*Fr. orientalis* Los.), Аляскинскую (*Er. platyphala* Ehrh.), клубнику Зеленую (*Er. viridis* Duch.), Миланскую и Шпанку (*Fr. elatior* Ehrh.) как наиболее зимостойкие виды.

В Новосибирской области районированы как относительно лучшие следующие сорта земляники: основной сорт во всех зонах — Комсомолка; дополнительные сорта — Рошинская, Сеянец Комсомолки, Народная, Коралка, Сеянец Штанина. Прямые испытания показали, что эти сорта лишь средне- и маломорозостойки. Для успешной селекции земляники на высокую зимостойкость и устойчивую урожайность важно знать морозоустойчивость исходного селекционного материала в условиях Сибири. Мы в течение 3 лет изучали сравнительную морозоустойчивость видов и сортов земляники. В данной статье излагаем результаты наших опытов.

Методика опытов

Двухлетние кусты земляники выращивались в деревянных квадратных ящиках размером $45 \times 45 \times 15$ см. Ящики набивались выщелоченным черноземом с залежи. Каждый ящик делился на четыре равные четверти; в каждую четверть весной высаживалось по пять кустов земляники определенного сорта. В каждом ящике выращивалось по четыре сорта. Во всех опытах в ящиках была четырехкратная повторность (1958—1960), а в сосудах (1955—1956) — десятикратная при двух растениях в сосуде. В течение лета в опытах удалялись сорняки, почва рыхлилась и поливалась. Усы земляники систематически удалялись. Осенью после замерзания почвы и растений ящики расставлялись на почве по вариантам опыта, а во избежание преждевременных морозных повреждений укрывались картофельной ботвой, а затем слоем снега в 30—40 см. Зимой в разные месяцы определенная серия ящиков выкапывалась, выставлялась на стеллажи для промораживания естественным холодом в течение 48 ч. Температура в опытах учитывалась в почве на глубине 3 см по термометру Савинова (1955—1956 г. и 1958—1959 г.) и на поверхности почвы по минимальному термометру (1959—1960 г.). После промораживания ящики вновь ставились на почву и укрывались снегом до весны. Контрольный вариант все время оставался под снегом. Учет повреждений и гибели растений производился весной через месяц после начала вегетации. Осенью после первой и второй фаз закаливания растений и весной перед выходом из-под снега брались пробы для определения содержания запасных углеводов, масла и воды в органах растений. Анализы проводились в межкафедральной биохимической лаборатории агрофака Новосибирского сельскохозяйственного института. Углеводы определялись по Гагедорну-Иенсену, масло — по Рушковскому. Содержание воды устанавливалось обычным высушиванием. Нами изучалась динамика форм запасных углеводов, масла и обводненности тканей растений, так как превращения этих веществ наиболее тесно связаны с приспособительными процессами первой и отчасти второй фаз закаливания растений к низким температурам. В 1955—1956 г. опыты проводились в условиях Ростовской области, а в 1958—1960 годах — в условиях Новосибирской области.

Результаты опытов

В 1955—1956 г. земляника выращивалась на южном черноземе в сосудах при оптимальной влажности почвы и на делянках. В декабре 1955 г. после второй фазы закаливания наступила длительная оттепель, растения оттаяли и потеряли вторую фазу закалки. Затем внезапно похолодало, и растения были проморожены без второй фазы закаливания; при промораживании минимальная температура на глубине залегания корневищ дошла до -13° . Результаты опытов приводятся в табл. 1.

После длительной оттепели в этом опыте более высокой морозостойкостью обладали земляника Виргинская и клубника Миланская; среднеморозостойкими были Коралка и Мысовка; наименее стойкими оказались Комсомолка, Рощинская, ремонтантные сорта Ада и Ненсчерпаемая. Высокой зимостойкостью на делянках отличаются земляника

Таблица 1

Морозоустойчивость и зимостойкость земляники в 1955/56 г.

Вид и сорт	% живых растений при -13°	На делянках весной		
		% перезимовки	% живых листьев	выпирание
Комсомолка	26	78	5	слабое
Мысовка	44	56	8	»
Коралка	63	100	0	»
Рощинская	19	98	13	среднее
Ада ремонтантная	25	30	0	слабое
Ненсчерпаемая ремонтантная	25	—	—	—
Виргинская	100	100	10	среднее
Клубника Миланская	88	90	1	сильное

Виргинская, Коралка, Рощинская и клубника Миланская. Комсомолка и Мысовка — среднезимостойкие, а ремонтантная земляника Ада оказалась наименее зимостойкой. В Ростовской области в 1955—1956 г. первая половина зимы была бесснежной, и все сорта земляники потеряли

Таблица 2

Морозоустойчивость видов и сортов земляники в 1959/60 г. (% живых кустов и листьев)

Варианты	Ноябрь — 20°*		Декабрь — 19°		Январь — 15°		Март — 23°		Апрель — 11°	
Виды и сорта	кустов	листьев	кустов	листьев	кустов	листьев	кустов	листьев	кустов	листьев
Комсомолка	33	18	44	19	33	19	29	10	55	15
Мысовка	47	17	37	11	15	6	42	14	50	14
Смена	59	20	62	24	57	39	70	32	62	22
Сеянец Комсомолки	68	14	70	24	43	16	75	26	100	41
Народная	75	31	84	31	86	31	75	32	85	24
Колхозная	85	22	90	22	86	31	60	24	95	30
Румяная	90	43	89	31	100	37	85	28	80	29
Негретенки	100	44	90	26	87	32	90	25	85	28
Киевская ранняя № 2	92	39	100	48	93	41	95	41	95	31
Чудо Кетена	84	26	80	22	85	33	58	18	95	28
Елшанка	70	23	60	14	67	29	55	14	90	27
Лесная	100	33	100	38	93	39	90	42	100	37
Ориенталис	100	48	100	45	100	57	100	57	100	54

* В табл. 2 приведены температуры на поверхности почвы ящика.

за это время почти все листья. Гибель листьев вызвана в первую очередь осенне-зимним высушиванием их. На делянках наблюдалось выпирание растений.

В 1958—1959 г. изучалось 8 видов и сортов земляники, а в 1959—1960 г. — 13. В табл. 2 приводятся результаты опытов за 1959—1960 г. В декабре 1958—1959 г. при -20° на глубине залегания корней ни один сорт земляники не выжил, следовательно, эта температура была критической. В разные месяцы зимы наиболее морозостойкими оказа-

лись сорта земляники — Сеянец Комсомолки, Лесная, Абориген Алтая (исключая февраль); среднеморозостойкими — Смена, Народная, Полярная и наименее морозостойкими — Колхозная, Чудо Кетена (последний — во второй половине зимы). В 1959—1960 г. (см. табл. 2) наиболее морозостойкими были сорта Ориенталис, Лесная, Киевская ранняя № 2 и в отдельных испытаниях Негретенки; среднеморозостойкими — Румяная, Смена; наименьшую морозоустойчивость в разные месяцы зимовки показали Комсомолка и Мысовка.

В физиологических исследованиях зимующих растений [9—11, 13—16 и др.] показано, что в процессах приспособительной подготовки растений к зиме большую роль играют запасные углеводы, в частности, сахара. В своих опытах мы изучили динамику форм запасных углеводов в

Таблица 3

Динамика углеводов в органах растений в 1958—1959 г. (% от сухой массы)

Виды и сорта	Форма углеводов	В корневищах			В листьях		
		29/VIII	11/XI	17/IV	29/VIII	11/XI	17/IV
Смена	Сумма сахаров	27	41	40	28	41	35
	крахмал + гемицеллюлоза	40	28	29	21	26	26
Сеянец Комсомолки	Сумма сахаров	—	32	36	—	27	26
	крахмал + гемицеллюлоза	—	27	24	—	22	23
Полярная	Сумма сахаров	—	37	36	—	36	22
	крахмал + гемицеллюлоза	—	28	28	—	25	31
Абориген Алтая	Сумма сахаров	37	43	50	31	48	33
	крахмал + гемицеллюлоза	40	26	25	32	25	24
Чудо Кетена	Сумма сахаров	25	44	52	28	40	28
	крахмал + гемицеллюлоза	44	25	32	23	25	26
Лесная	Сумма сахаров	27	32	26	25	33	28
	крахмал + гемицеллюлоза	44	28	25	19	28	27
Ориенталис	Сумма сахаров	—	26	18	—	30	26
	крахмал + гемицеллюлоза	—	17	18	—	12	18

органах растений. Некоторые результаты за 1958—1959 г. представлены в табл. 3. Пробы были взяты до закаливания растений — 29/VIII, после первой и второй фаз закаливания — 11/XI и весной перед выходом из-под снега — 17/IV 1959 г.

Из табл. 3 следует, что в период интенсивного роста вегетативных органов (29/VIII) у земляники в корневищах сильно преобладает сумма нерастворимых в воде углеводов (крахмал + гемицеллюлоза). В листьях в это время такого превышения нерастворимых в воде форм над сахарами мы не наблюдали. В дальнейшем с понижением температуры после первой и второй фаз закаливания соотношение форм углеводов сильно изменяется: как в корневищах, так и в листьях резко преобладают са-

хара. До закалки (29/VIII) отношение $\frac{\% \text{ крахмала} + \% \text{ гемицеллюлозы}}{\% \text{ суммы сахаров}}$ у сортов в среднем равнялось в корневищах 1,38 и в листьях — 0,93, а после закаливания растений (11/XI) этот коэффициент стал равен соот-

ветственно 0,69 и 0,65. Эти данные указывают на преобладание в углеводном обмене земляники гидролиза над синтезом в период осеннего закаливания. К зиме у видов и сортов земляники в органах количественно главную роль играют восстанавливающие сахар, а за ними — гemicеллюлоза; в это время основная масса восстанавливающих сахаров находится в листьях, а невосстанавливающих — в корневищах. Крахмал отлагается преимущественно в подземных органах земляники. У большинства сортов земляники к зиме в листьях больше гemicеллюлозы, чем в корневищах. К весне (17/IV) запасы углеводов в растениях несколько уменьшаются, особенно заметна убыль сахаров. За период зимовки обычно убыль сахаров в листьях гораздо больше, чем в корневищах. В сибирских условиях растения после второй фазы закаливания зимуют сильно промерзшими при сравнительно устойчивой низкой температуре, при которой процесс дыхания сильно подавлен, поэтому за 5 месяцев пребывания в темноте под снегом расходы сахаров оказались относительно небольшими и ко времени выхода из-под снега (17/IV) запасы углеводов достаточно большие. За период зимовки виды и сорта земляники израсходовали от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{10}$ части исходных запасов углеводов. Наибольший расход сахаров имел место у земляники Лесной (5,6%), Аборигена Алтая (3,8%), Смены (3,5%), а у остальных сортов расходы в 2—3 раза меньше.

Изучение динамики содержания углеводов в органах земляники в 1959—1960 г. полностью подтверждает выводы предыдущего года. Ко времени ухода растений в зиму преобладающей формой углеводов в органах земляники оказываются восстанавливающие сахара; эти сахара отлагаются в больших количествах в листьях, чем в корневищах. За период зимовки сахара в органах растений убавились в 1959—1960 г. в гораздо большем количестве, чем за предыдущую зиму. Среди сортов большим расходом сахаров выделяются Сеянец Комсомолки, Комсомолка, Колхозная; наименьшая убыль сахара за зиму имела место у Народной, Негритенка, Елшанки и Киевской ранней № 2; остальные сорта показали среднюю убыль.

Земляника к зиме накапливает в своих корневищах масло. В 1958—1959 г. осенью содержание масла колебалось по видам и сортам от 1,0 до 3,3%, а в 1959—1960 г. — от 1,3 до 2,5%. Больше масла оказалось у Аборигена Алтая, Полярной и Виргинской; наименьшее количество масла — у Чуда Кетена, Колхозной, Народной, Лесной, Ориенталиса и клубники Миланской; среднее содержание масла наблюдалось у Комсомолки, Смены и Сеянца Комсомолки. За период зимовки у ряда сортов, например, у Сеянца Комсомолки, Полярной, Аборигена Алтая, Ориенталиса, Виргинской, убавилось масло в корневищах, у других сортов существенных изменений не наблюдалось.

Сопоставляя содержание форм углеводов и масла в органах земляники в разные периоды зимовки с морозостойкостью растений, приходим к выводу, что полного совпадения содержания запасных веществ (моносахаров, дисахаров, крахмала, гemicеллюлозы, масла), с одной стороны, и морозостойкости организма, с другой — нет. Это говорит о том, что в морозостойкости растений большую роль играют многие другие процессы, кроме накопления энергопластических веществ. Очень важна приспособительная перестройка всей структуры и биохимии биокolloидов протопласта, перестройка всего обмена веществ и энергии в организме, и, конечно, ошибочно искать какие-то простые корреляционные связи между морозостойкостью и сахарами или каким-то другим запасным веществом. Морозостойкость растения — интегральный результат сложной приспособительной подготовки многих фи-

зиологических и биохимических процессов в организме к низким температурам.

В приспособительных процессах осеннего закаливания растений большую роль играет своевременное обезвоживание тканей организма [9, 13, 16 и др.]. Это подтверждается на видах и сортах земляники. Результаты определения процента воды в организме земляники приводятся в табл. 4.

Содержание воды в органах растений осенью 1959 г.
(% от сухой массы)

Таблица 4

Виды и сорта	До закали (25/VIII)		После закали (23/XI)		Убыль воды	
	корневища	листья	корневища	листья	корневища	листья
Комсомолка	443	350	381	269	62	81
Смена	430	376	306	212	124	164
Ориенталис	310	290	204	191	106	99
Лесная	380	305	189	129	191	176
Виргинская	303	275	200	166	103	109
Клубника Миланская	398	337	276	237	122	100

У земляники в процессе осеннего закаливания происходит значительное обезвоживание листьев и корневищ. У более морозостойких видов, например Лесной, Ориенталиса, Виргинской, содержание воды в органах меньше, чем у менее морозостойчивых — Комсомолки и Смены (см. табл. 4). В оценке видов и сортов на морозостойкость большое значение имеют сортовые различия в регенерационной способности [18]. Результаты наших опытов говорят о том, что виды и сорта земляники существенно отличаются по способности восстанавливать утраченные листья и усы. Наивысшую регенерационную способность проявили сорта Ориенталис и Виргинская, наименьшую — Лесная, среднее положение заняли Смена и Киевская ранняя № 2. Восстановительная способность вида и сорта имеет, безусловно, большое значение весной в процессах заживления зимних морозных повреждений и восстановления погибших листьев.

ВЫВОДЫ

1. Виды и сорта земляники сильно отличаются по морозостойкости. К наиболее морозостойчивым видам и сортам по испытаниям разных лет относятся Ориенталис (*Fr. orientalis* Los.), Виргинская (*Fr. virginiana* Duch.), Лесная (*Fr. vesca* Lin.), Киевская ранняя № 2 (*Fr. grandiflora* Ehrh.), Сеянец Комсомолки (*Fr. grandiflora* Ehrh.), клубника Миланская (*Fr. elatior* Ehrh.); в отдельных испытаниях высокую стойкость показали Абориген Алтая и Негритенок. На эту группу наиболее стойких видов и сортов и должны в первую очередь ориентироваться селекционеры при выведении устойчивых к морозам сортов земляники.

2. Среднеустойчивыми оказались сорта вида крупноплодной садовой земляники (*Fr. grandiflora* Ehrh.): Коралка, Румяная, Елшанка, Смена, Народная, Полярная и в отдельные годы — Колхозная и Чудо Кетена. Наименее морозостойчивыми были Комсомолка, Мысовка, ремонтантные сорта Ада и Ненсчерпаемая, Рошинская, а в отдельные годы — Колхозная и Чудо Кетена.

3. Накопление углеводов и масла в организме играет существенную роль в приспособительной подготовке земляники к зиме, однако

прямой корреляционной связи между количеством запасных веществ в органах растения и его морозоустойчивостью лет. Высокая морозоустойчивость является обязательным качеством хорошего сорта земляники в условиях Новосибирской области.

Новосибирский
сельскохозяйственный институт

Поступила в редакцию
15/IV 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Лисавенко, Вопросы сибирского садоводства. Новосибирск, 1958.
2. Д. А. Андрейченко, Ягодники Сибири. Новосибирск, 1952.
3. Агроклиматический справочник по Новосибирской области. Новосибирск, 1959.
4. Л. И. Колдомасов, Климат Западной Сибири. Новосибирск, 1947.
5. А. М. Шульгин, Температурный режим почвы. Гидрометеоздат, Л., 1957.
6. Т. Д. Лысенко, Культура озимых в степи Сибири. М., 1949.
7. Т. Д. Лысенко, Превращение незимующих яровых сортов в зимостойкие озимые. М., 1952.
8. Б. С. Мошков, Фотопериодизм и морозоустойчивость многолетних растений. Тр. по прикл. бот., генетике селекции, сер. 3, № 6, Л., 1935.
9. И. И. Туманов, Физиологические основы зимостойкости культурных растений. Л., 1940.
10. И. И. Туманов, И. Т. Трунова, Закаливание тканей озимых растений с помощью сахаров, поглощенных из наружного раствора. Физиология растений, т. 4, вып. 5, 1957.
11. И. И. Туманов, Современное состояние и очередные задачи физиологии зимостойкости растений. Сб. Физиология устойчивости растений. Изд. АН СССР, М., 1960.
12. И. И. Туманов, О. А. Красавцев, Закаливание северных древесных растений отрицательными температурами. Физиология растений, т. 6, вып. 6, 1959.
13. Д. Ф. Проценко, Морозостойкость плодовых культур СССР, Изд. Киевского гос. ун-та, Киев, 1958.
14. И. М. Васильев, Зимовка растений. Изд. АН СССР, М., 1956.
15. Л. И. Сергеев, Выносливость растений. М., 1953.
16. А. И. Сакс, И. Н. Бородин, Основы физиологии зимостойкости озимых хлебов. Белгосиздат, Минск, 1934.
17. П. А. Генкель, Е. З. Окнина, Диагностика морозоустойчивости растений по глубине покоя их тканей и клеток. Изд. АН СССР, М., 1954.
18. А. И. Сакс, Методы диагностики состояния озимых посевов в период зимовки. Соц. растениеводство, № 12, 1934.

В. Н. ГАБЕЕВ

КУЛЬТУРЫ ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Лиственница сибирская, как самое быстрорастущее хвойное дерево, в условиях Западной Сибири является перспективной породой при облесении не покрытых лесом площадей и улучшении породного состава малоценных насаждений. Однако до сих пор площади культур лиственницы незначительны.

Нами в 1961 г. были детально обследованы культуры лиственницы сибирской Лесной опытной станции СО АН СССР с целью выяснения их состояния и хода роста.

Почвы под культурами — дерново-подзолистые, с легким механическим составом, бесструктурные, свежие, развитые на древне-аллювиальных песчаных и супесчаных отложениях. Гумусовый горизонт (A_1) достигает глубины 18 см, а подзолистый (A_2) — до 80—90 см.

По лесорастительному районированию Г. В. Крылова [1], район наших исследований относится к Приобскому сосново-боровому округу. Следует отметить, что поблизости лиственница в естественных условиях не встречается.

В настоящее время культуры лиственницы, в которых проводились наши исследования, имеют возраст 8 и 15 лет. Лиственница высаживалась в двухлетнем возрасте под меч Колесова.

В результате изучения хода роста чистых культур было установлено, что лиственница одного и того же возраста, но с различным цветом хвои имеет разную высоту и диаметр. Так, лиственница с темно-зеленой сизоватой хвоей в возрасте 8 лет в среднем на 36 см выше, чем лиственница с зеленой хвоей. Обе лиственницы произрастают на одном и том же участке. Аналогичная картина наблюдается при сравнении диаметра этих лиственниц (табл. 1).

Таблица 1

Рост культур лиственницы по высоте и диаметру

Цвет хвои	Количество измерений, n	Среднее арифметическое и его ошибка $M \pm m$, см	Среднее квадратическое отклонение σ , см	Коэффициент вариации C_v	Показатель точности P , %	Надежность среднего арифметического t
Темно-зеленый сизоватый	75	$172 \pm 5,48$ $3,2 \pm 0,09$	47,5 0,8	$\frac{27,6}{26,3}$	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{30,1}{35,9}$
Зеленый	276	$135,8 \pm 2,70$ $2,6 \pm 0,05$	43,2 0,8	$\frac{31,8}{29,6}$	$\frac{1,9}{1,8}$	$\frac{50,2}{56,5}$

Примечание. В числителе приводятся данные, характеризующие высоты, а в знаменателе — диаметры. t считается надежным, если оно больше 3 [2].

Лиственница с темно-зеленой сизоватой хвоей в естественных условиях Алтая в возрасте от 11 до 20 лет имеет прирост по высоте на 13 см больше, чем лиственница с зеленой хвоей [2].

Обследованные культуры лиственницы были повреждены поздними весенними заморозками 31 мая 1961 г. Минимальная температура, по сообщению сотрудников Лесной опытной станции, составила -7°C . О степени повреждения лиственницы заморозками мы судили по состоянию центрального верхушечного побега текущего года (табл. 2).

Таблица 2

Поврежденность лиственницы заморозками

Цвет хвои	Количество наблюдений	Состояние центральных верхушечных побегов, %		
		здоровые	поврежденные заморозками	всего
Темно-зеленый, сизоватый	75	26,4	73,6	100
Зеленый	276	18,9	81,1	100

Из табл. 2 видно, что поврежденность центрального верхушечного побега текущего года больше у лиственницы с зеленой хвоей. Таким образом, лиственницы с темно-зеленой сизоватой хвоей и с зеленой хвоей отличаются ростом по высоте и диаметру, а также степенью повреждения заморозками. Это представляет большой практический интерес. Помимо чистых культур лиственницы, нами изучалась лиственница того же возраста в коридорах березово-сосново-осинового леса (50с3С2Б). Возраст насаждения — до 40 лет. Единично встречается сосна V—VII классов возраста. Под пологом леса хорошо развит злаково-разнотравный покров, достигающий высоты 1,0 м. Освещенность в коридорах в 14 ч 10 августа составляла в среднем 5040 лк, что соответствует 6,2% от освещенности открытого места.

Почва под культуры готовилась бороздами в коридорах шириной до 2,0 м. Посадка производилась вручную под меч Колесова. К моменту обследования сохранилось 72% от общего количества высаженных растений, т. е. 7920 штук лиственницы на 1 га, из которых 82,2% были здоровыми, 14,8% — ослабленными и 3% — усохшими. Хотя такого количества лиственниц вполне достаточно на 1 га, это еще не говорит об успешности культур в возрасте 8 лет, так как она должна характеризоваться и ростом их в высоту, процессом смыкания и выходом растения из-под влияния травяной растительности. Характеризуя данные культуры с этой точки зрения, следует признать их неудовлетворительными. Их средняя высота составляет всего $44,3 \pm 1,13$ см. Лиственницы в рядах еще не сомкнулись, они гораздо ниже высоты травянистого яруса. Рост ее в коридорах отстает почти в 4 раза от роста лиственницы на открытом месте. Причиной такого состояния лиственницы в коридорах леса, по нашему мнению, является прежде всего наличие мощного конкурента — корневой системы древостоя, а также сильное верховое и боковое затенение насаждений и травянистой растительностью.

Большой практический и теоретический интерес представляют 15-летние культуры лиственницы с сосной, которые нами также были обследованы. Они посажены двухлетними сеянцами под меч Колесова при рядовом смешении. Расстояние между посадочными местами в ряду и междурядьях составляет 1,0 м. Таким образом, на 1 га посажено по 5,0 тыс. штук сеянцев обеих пород. Судя по производительности естест-

венных сосняков в прилегающих насаждениях (I—II бонитета), данные условия вполне благоприятны для сосны. К моменту наших исследований культуры полностью сомкнулись. Сомкнутость их составляет 2,07. Освещенность под пологом посадок 21 июня в 14 ч была в среднем 2500 лк, что составляет 3,5% от освещенности открытого места. Травянистая растительность под культурами отсутствует, лишь единично встречается хвощ лесной.

Рост лиственницы и сосны показывает, что лиственница имеет меньший диаметр, чем сосна (табл. 3).

Таблица 3

Рост культур лиственницы с сосной (по диаметру)

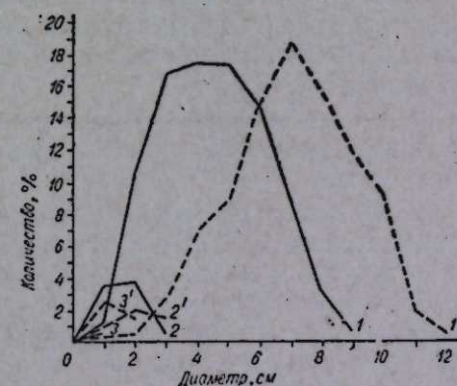
Породы	Кол-во измерений	$M \pm m$	σ	C_v	p	t
Лиственница	158	$4,3 \pm 0,14$	1,8	42,6	3,4	29,7
Сосна	194	$6,9 \pm 0,16$	2,1	30,6	2,3	43,4

Как видно из табл. 3, средний диаметр сосны превосходит средний диаметр лиственницы на 50%, т. е. на 2,6 см.

Большой интерес представляет распределение диаметров лиственницы и сосны по ступеням толщины и состоянию их (рисунок). Из рисунка видно, что количество деревьев с минимальным диаметром (до 2 см) у лиственницы составляет 12, а у сосны 0,5%. Ослабленных соответственно 7,6 и 3,5%. В то же время усохших деревьев у сосны больше (40%), чем у лиственницы (0,7%).

Средняя высота обеих пород в 15-летнем возрасте одинаковая и составляет 6,4 м. По данным В. В. Огиевского и др. [4], лиственница на темно-серых суглинистых лесных и дерново-подзолистых суглинистых почвах в Кемеровской области уже в 11-летнем возрасте имеет большую высоту — 6,9 м, чем в наших условиях на дерново-подзолистых почвах с легким механическим составом. Однако следует более детально рассмотреть ход роста обеих пород со времени создания их. Оказывается, до 10 лет лиственница давала больший ежегодный прирост и к 10 годам имела среднюю высоту 4,1 м, в то время как высота сосны составляла 2,9 м. В последующие 5 лет в связи с наступлением полного смыкания полога культур и ухудшения условий верхового и бокового освещения кроны деревьев отмечается уменьшение роста лиственницы по высоте. К этому времени энергия роста сосны по высоте достигла максимума. Если в первое десятилетие лиственница давала больший прирост, то за последнее 5-летие сосна ежегодно дает прирост 71 см, а лиственница — только 65 см.

Таким образом, приведенные выше данные показывают, что лиственница обладает большей относительной теневыносливостью и в то же время больше реагирует на верховое и вертикальное затенение, что уже отмечалось рядом исследователей [5—7 и др.].



Распределение диаметров лиственницы и сосны по ступеням толщины и биологическое состояние этих пород. — лиственница, --- сосна, 1, 1' — здоровые, 2, 2' — ослабленные, 3, 3' — усохшие.

Для более полной характеристики состояния лиственницы и сосны рассмотрим кратко морфологию корневых систем обеих пород. Оказывается, корневая система лиственницы в 15 лет достигает глубины всего 80 см. Центральный корень ее, как таковой, выражен только до глубины 45 см. Начиная с 35 см, он ветвится, а на глубине 45 см образует 3 ответвления с диаметрами 0,5, 0,6 и 0,6 см. Все ответвления, хотя и не уходят глубоко, но образуют большое количество мелких и коротких мочковатых корней. Горизонтальные корни лиственницы распространены в основном в верхнем горизонте, непосредственно под подстилкой на глубине до 5—7 см. Наибольшая длина горизонтального корня в радиусе составляет 217 см и выходит за пределы кроны дерева. Корневая система сосны более мощная, уже в 15-летнем возрасте она достигает глубины 3 м. Горизонтальные корни расположены глубже (до 20 см), чем у лиственницы, и достигают в радиусе до 6,0—7,0 м, далеко уходя за пределы кроны дерева. Некоторые из них на расстоянии 3—4 м от дерева выходят близко к поверхности (до 3—5 см). Общее количество крупных корней как вертикальных, так и горизонтальных, больше у сосны, а мелких в пересчете на один крупный больше у лиственницы, особенно вертикальных.

Итак, лиственница и сосна имеют разные типы корневых систем на дерново-подзолистых почвах с легким механическим составом, что создает благоприятные условия для их совместного произрастания. В связи с поверхностной корневой системой уже в 15-летнем возрасте в культурах лиственницы наблюдается ветровал.

Кроны обеих пород почти не стесняют друг друга. У лиственницы крона вдоль и поперек рядов составляет соответственно 151×146 см, у сосны 202×194 см, т. е. площадь проекции кроны сосны на 1,7 м² больше, чем у лиственницы.

ВЫВОДЫ

1. В культурах встречается лиственница с темно-зеленой сизоватой и зеленой хвоей. Средняя высота лиственницы с темно-зеленой сизоватой хвоей в 8-летнем возрасте на 36 см больше, чем лиственницы с зеленой хвоей.
2. У лиственницы с темно-зеленой сизоватой хвоей степень повреждения поздними весенними заморозками меньше, чем у лиственницы с зеленой хвоей.
3. Культуры лиственницы, созданные в коридорах (шириной до 2 м), следует признать неудачными в связи с их медленным ростом (они растут в 4 раза медленнее, чем на открытой площади), довольно высоким процентом ослабленных деревьев и продолжающимся процессом отпада в 8-летнем возрасте. Причиной такого состояния лиственницы является прежде всего мощная корневая система древостоя и сильное верховое и боковое затенение.
4. В смешанных культурах (лиственницы с сосной) при густой посадке (10 тыс. штук сеянцев на 1 га) на дерново-подзолистых почвах с легким механическим составом в возрасте 15 лет лиственница и сосна имеют одинаковую высоту. Диаметр у сосны на 50% больше, чем у лиственницы.
5. Лиственница на дерново-подзолистых почвах с легким механическим составом развивает корневую систему почти на всю глубину гумусового и подзолистого горизонтов — до 80 см, хотя, как правило, корневая система поверхностная.

6. Наличие различных типов корневых систем в культурах у лиственницы и сосны создает благоприятные условия для их совместного произрастания. Однако при создании смешанных культур из сосны и лиственницы следует избегать густой посадки, так как это ведет к ослаблению лиственницы.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
1/XI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Крылов, В. М. Потапович, Н. Ф. Кожеватова, Типы леса Западной Сибири. Новосибирск, 1958.
2. А. И. Федоров, Методы математической статистики в биологии и опытной работе. Казгосиздат, 1957.
3. Н. Н. Лащинский, Естественное возобновление лиственницы сибирской в главнейших типах леса Горного Алтая. Автореф. канд. дисс., Новосибирск, 1961.
4. В. В. Огиевский, В. В. Куклин, Е. В. Буровская, Задачи лесовосстановления в Кемеровской области. Лесное хозяйство, № 1, 1961.
5. Я. С. Медведев, К изучению о влиянии света на развитие древесных стволов. Лесной журнал, вып. 5—6, 1884.
6. Г. В. Крылов, Использование лиственницы сибирской в лесных культурах Европейской части СССР и Сибири. В сб. «Лиственница и ее использование в народном хозяйстве СССР», М., 1961.
7. В. П. Тимофеев, Лиственница в культуре. Гослестехиздат, М.—Л., 1947.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г. П. ЗАЙЦЕВ

ОБ УСЛОВНЫХ ПРЕДЕЛАХ ТЕКУЧЕСТИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКЕ РАЗЛИЧНЫХ ГИПОТЕЗ ПЛАСТИЧНОСТИ

Для экспериментальной проверки различных гипотез пластичности часто пользуются сравнением теоретически подсчитанного отношения пределов упругости при кручении и растяжении τ_e/σ_e с экспериментальным отношением условных пределов текучести τ_f/σ_f , определенных на базе допускаемых пластических деформаций φ и λ . Из них φ выражает угол максимального пластического сдвига $(\alpha_{12})_{пл}$ и λ — пластическое удлинение при растяжении $(\epsilon_1)_{пл}$. Чтобы сравнение указанных отношений было правомочным, допуски φ и λ необходимо выбрать так, чтобы выполнялось равенство $\tau_e/\sigma_e = \tau_f/\sigma_f$. До настоящего времени считают, что при проверке любых гипотез пластичности указанное равенство выполняется при отношении допусков, равном $\varphi/\lambda = 3/2$, что, однако, нельзя признать достаточно обоснованным.

В каждой из гипотез пластичности на основании тех или иных физических предположений оценка условий начала пластического течения материала при сложном напряженном состоянии производится с помощью одного независимого критерия пластичности, которым может быть или некоторое напряжение σ_x , или некоторое удлинение ϵ_x , причем $\sigma_x = E \epsilon_x$. В качестве критериев пластичности принимают также скалывающее напряжение τ_x , или относительный сдвиг g_x , связанные равенством $\tau_x = G g_x$. Согласно любым гипотезам, возникновение пластической деформации соответствует моменту, когда критерии σ_x или ϵ_x , увеличиваясь с ростом главных напряжений s_1, s_2, s_3 , достигают значений, равных пределу упругости материала или соответствующего ему упругого удлинения ϵ_e при линейном напряженном состоянии призматического образца.

Обратимся к рассмотрению различных гипотез пластичности с целью определения отношений упругих деформаций $(\alpha_{12})_e$ кр/ ϵ_e раст, соответствующих отношениям $(\tau_{12})_e$ кр/ σ_e раст пределов упругости при кручении и растяжении, помня, что при малых деформациях углы сдвига α и сдвиги g практически равны.

Третья гипотеза максимальных скалывающих напряжений

Согласно этой гипотезе, пластическая деформация при кручении начинается тогда, когда максимальное скалывающее напряжение при кручении $(\tau_{12})_k$ становится численно равным скалывающему напряжению предела упругости при растяжении τ_e раст. При кручении

$$(\alpha_{12})_e \text{ кр} \approx \frac{(\tau_{12})_e \text{ кр}}{G} = \frac{\tau_e \text{ раст}}{G} = \frac{\sigma_e \text{ раст}}{2G} = \frac{\sigma_e \text{ раст}}{E} (1 + \mu) = \epsilon_e \text{ раст} (1 + \mu),$$

откуда получаем два равенства

$$\begin{aligned} (\tau_{12})_e \text{ кр} / \sigma_e \text{ раст} &= 1/2, \\ (\alpha_{12})_e \text{ кр} / \epsilon_e \text{ раст} &= 1 + \mu. \end{aligned} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \end{matrix}$$

* Н. Н. Давиденков, Изв. АН СССР, ОТН, 4-5, 309 (1944).

Четвертая гипотеза, энергетическая

В соответствии с этой гипотезой пластическая деформация при кручении начинается тогда, когда интенсивность напряжений при кручении σ_1 кр становится численно равной пределу упругости при растяжении σ_e раст. Поскольку при кручении

$$\tau_{12} = \tau_{23} = \frac{1}{2} \tau_{31},$$

получаем

$$\sigma_1 \text{ кр} = \sqrt{2} \sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2} = \sqrt{3} \cdot (\tau_{12})_e \text{ кр} = \sigma_e \text{ раст},$$

откуда

$$(\tau_{12})_e \text{ кр} / \sigma_e \text{ раст} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577. \quad (3)$$

Деля предыдущее равенство на G , найдем

$$(\alpha_{12})_e \text{ кр} \approx (\alpha_{12})_e \text{ кр} \approx \frac{(\tau_{12})_e \text{ кр}}{G} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_e \text{ раст}}{E} \cdot 2(1 + \mu),$$

в силу чего

$$(\alpha_{12})_e \text{ кр} / \epsilon_e \text{ раст} = \frac{2}{\sqrt{3}} (1 + \mu). \quad (4)$$

Из равенств (1—4) следует, что неодинаковые для разных гипотез отношения напряжений $(\tau_{12})_e$ кр/ σ_e раст могут быть получены только или при разных отношениях упругих деформаций $(\alpha_{12})_e$ кр/ ϵ_e раст, или при различных отношениях пластических допусков φ/λ , на базе которых определены условные пределы текучести.

Поскольку при пластических деформациях объем металла практически не меняется и величина этих деформаций при определении условных пределов текучести мала, отношение допусков φ/λ можно подсчитать по формулам (2) и (4), положив в них μ равным 0,5:

а) для третьей гипотезы

$$\varphi/\lambda = 1 + 0,5 = 1,5,$$

б) для четвертой гипотезы

$$\varphi/\lambda = \frac{2}{\sqrt{3}} (1 + 0,5) = \sqrt{3} = 1,73.$$

Действуя аналогично предыдущему, можно показать, что при гипотезе максимальных нормальных напряжений $\varphi/\lambda = 3$ и при гипотезе максимальных относительных удлинений $\varphi/\lambda = 2$.

Выводы

При экспериментальной проверке различных гипотез пластичности принято пользоваться отношением условных пределов текучести при кручении и растяжении, которые определяются соответственно на базе пластических деформаций φ и λ , отношение которых равно $3/2$. Оказывается, что это отношение пригодно лишь при проверке гипотез максимальных скалывающих напряжений, тогда как при проверке иных гипотез следует принимать также и иные отношения допусков. Например, при проверке энергетической гипотезы пластичности отношение допусков φ/λ должно быть равно $\sqrt{3} \approx 1,73$.

Новосибирский государственный
институт мер и измерительных
приборов

Поступила в редакцию
19/IX 1961

О 2-ТИЕНИЛГИДРАЗИНЕ

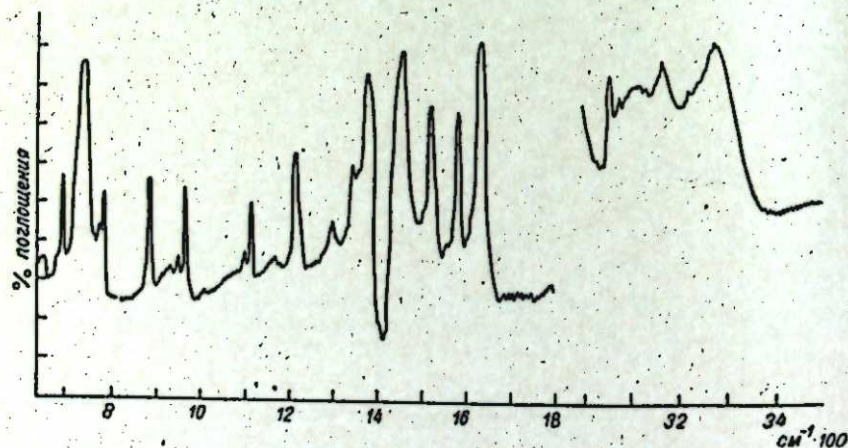
В работе В. И. Яковлева [1] описано диазотирование двойной оловянной соли хлоргидрата 2-аминотиофена (I) и восстановление соли диазония хлористым оловом. Образовавшийся при этом продукт, по данным Яковлева, представляет собой двойную оловянную соль хлоргидрата 2-тиенилгидразина (II) $[(C_4H_3S)NHNH_2 \cdot HCl]_2SnCl_4$. При повторении этой работы мы смогли выделить лишь исходную соль ами-на (I).

Соль 2-аминотиофена (I) была синтезирована нами как по Штадлеру [2], так и по Штейнкопфу [3]. Диазотирование и восстановление проводили по методике В. И. Яковлева.

Раствор 10 г соли 2-аминотиофена (I) в 120 мл концентрированной соляной кислоты при 0° обрабатывали 2,6 г нитрита натрия в 30 мл воды, фильтровали и фильтрат выливали в охлажденный до 0° раствор 68 г двуххлористого олова в 60 мл концентрированной соляной кислоты. Через сутки раствор упаривали в вакууме досуха и избыток солей олова тщательно отмывали абсолютным эфиром.

Идентификацию полученного вещества осуществляли при помощи бумажной хроматографии (бумага «ленинградская быстрая», *n*-бутанол : бензол : метанол : 2*N*-соляная кислота = 10 : 20 : 20 : 7). Система растворителей была подобрана на примере хроматографии солей анилина и фенилгидразина. Для детекции пятен использовали флуоресценцию в ультрафиолетовом свете и раствор *n*-диметиламинобензальдегида. Величина R_f и окраска пятен (фиолетового цвета) полученного и исходного веществ были одинаковыми. Такие же результаты были получены при хроматографировании соли 2-аминотиофена (I) и предполагаемой соли тиенилгидразина (II), образец которой был предоставлен нам В. И. Яковлевым.

Чтобы окончательно убедиться в идентичности образцов амина (I) и продукта, полученного Яковлевым, мы сняли инфракрасные спектры обоих веществ в вазелиновом масле на спектрофотометре UR-10 (рисунок). Оба спектра оказались совершенно одинаковыми.



Спектр поглощения двойной оловянной соли хлоргидрата 2-аминотиофена.

Полученные нами данные позволяют заключить, что продукт, описанный В. И. Яковлевым как соль 2-тиенилгидразина (II), представляет собой соль 2-аминотиофена (I). Возможно, что в указанных выше условиях не происходит диазотирования соли 2-аминотиофена (I).

При получении азосоединений тиофенового ряда Н. И. Путохин и В. И. Яковлев [4] использовали другие условия диазотирования.

Ранее в литературе указывалось на невозможность диазотирования аминотиофена [5, 6].

Таким образом, задача синтеза 2-тиенилгидразина остается нерешенной.

Институт органической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
29/IV 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Яковлев. Сб. науч. тр. Куйбышевского индустр. ин-та, 7, 70 (1957).
2. O. Stadler. Ber., 18, 1904 (1885).
3. W. Steinkopf. Ann., 403, 28 (1914).
4. Н. И. Путохин, В. И. Яковлев. Докл. АН СССР, 98, 89 (1954).
5. H. D. Hartough. Thiophene and its derivatives, N. Y., 1952, p. 234.
6. W. Steinkopf. Die Chemie des Thiophens. Dresden und Leipzig, 1941, S. 61.

И. М. БАТЯЕВ, С. В. ЛАРИОНОВ

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛАНТАНА, ЦЕРИЯ, ПРАЗЕОДИМА И НЕОДИМА С ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Продолжая изучение комплексных соединений лантанидов с простейшими аминокислотами, авторы охарактеризовали устойчивость комплексных соединений некоторых редкоземельных элементов с глутаминовой кислотой.

Экспериментальная часть

Исходные вещества. Глутаминовая кислота — чистая, дважды перекристаллизованная. Остальные вещества, способ приготовления растворов и применявшаяся аппаратура описаны ранее [1].

Методика работы. Экспериментальная методика определения констант устойчивости комплексных соединений лантана, церия, празеодима и неодима с глутаминовой кислотой состояла в потенциометрическом титровании последней 0,1 *N* раствором КОН без ионов и с ионами соответствующего редкоземельного элемента. Титрование производилось в двух сериях опытов при различных соотношениях $c_{H_2A} : c_{M^{3+}}$, равных 1 : 2 и 2 : 1.

Ионная сила поддерживалась постоянной и была равна 0,1. Температура ячейки поддерживалась равной $25 \pm 0,05^\circ$.

Для титрования в ячейку отбиралось 100 мл раствора глутаминовой кислоты и добавлялось (в зависимости от исходной концентрации) от 0,5 до 1,7 мл нейтрализованного раствора MCl_3 .

Предварительно были поставлены проверочные опыты по определению констант кислотной диссоциации самой глутаминовой кислоты ($H_2A : HOOCH-CH(NH_2)-CH_2COOH$).

Экспериментальные данные представлены на рис. 1 и 2.

Расчет констант устойчивости комплексных соединений La, Ce, Pr и Nd с глутаминовой кислотой

Титрование самой глутаминовой кислоты представлено кривыми 1 (см. рис. 1 и 2). Константы диссоциации,

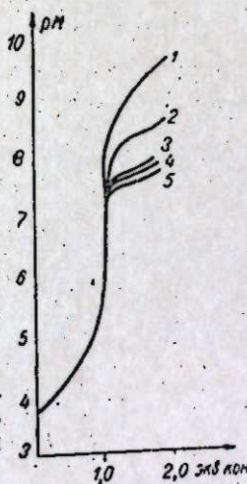


Рис. 1. Потенциометрическое титрование глутаминовой кислоты в присутствии ионов лантана, церия, празеодима и неодима $c_{H_2A} : c_{M^{3+}} = 1 : 1$.

1 — глутаминовая кислота; 2 — глутаминовая кислота в присутствии La^{3+} ; 3 — в присутствии Ce^{3+} ; 4 — в присутствии Pr^{3+} ; 5 — в присутствии Nd^{3+} .

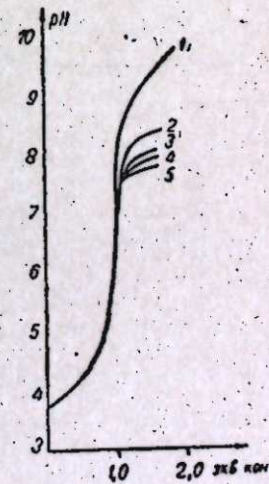


Рис. 2. Потенциометрическое титрование глутаминовой кислоты в присутствии ионов лантана, церия, празеодима и неодима $c_{H_2A} : c_{M^{3+}} = 2 : 1$.

1 — глутаминовая кислота; 2 — глутаминовая кислота в присутствии La^{3+} ; 3 — в присутствии Ce^{3+} ; 4 — в присутствии Pr^{3+} ; 5 — в присутствии Nd^{3+} .

рассчитанные из кривых на основании уравнений, приведенных в сообщении [1], оказались равными:

$$K_I = 5,62 \cdot 10^{-5}, \quad pK_I = 4,25, \\ K_{II} = 3,31 \cdot 10^{-10}, \quad pK_{II} = 9,48.$$

Полученные результаты достаточно хорошо совпадают с данными Симмса [2, 3]: $pK_I = 4,07$ и $pK_{II} = 9,47$. Для расчета первой константы комплексообразования прямым алгебраическим методом использовались данные титрования при соотношении $c_{H_2A} : c_{M^{3+}} = 1 : 1$ (см. рис. 1).

Для расчета первых и вторых констант комплексообразования графическим методом Я. Бьеррума использовались данные титрования при соотношении $c_{H_2A} : c_{M^{3+}} = 2 : 1$ (см. рис. 2).

Механизм комплексообразования, формулы для расчета констант устойчивости приведены в работе [1]. Расчет второй константы комплексообразования по функции образования затрудняется вследствие начинающегося образования гидроокиси в области $pH > 7,5$. Поэтому было решено при использовании графического метода Я. Бьеррума ограничиться определением только первой константы устойчивости по формуле:

$$\log \kappa_1 = pA^2 - \quad \text{при } \bar{n} = 0,5.$$

Кривые образования в системах глутаминовая кислота — ион редкоземельного элемента приведены на рис. 3.

Значения логарифмов первых констант устойчивости, полученных алгебраическим и графическим методами, приведены в таблице.

Элемент	Графический метод	Алгебраический метод
La	4,3	4,4
Ce	4,6	4,8
Pr	4,7	4,9
Nd	4,9	5,0

Обсуждение результатов

Кривые титрования свободной глутаминовой кислоты, а также глутаминовой кислоты в присутствии ионов редкоземельных элементов при соотношении кислоты и металла 1 : 1 и 2 : 1 имеют такой же характер, как и аналогичные кривые титрования для системы аспарагиновая кислота ($H_2A : HOOC - CH(NH_2) - CH_2 - COOH$) — ион редкоземельного элемента [1]. Однако при сравнении оказывается, что все кривые титрования глутаминовой кислоты в присутствии ионов лантана, церия, празеодима и неодима идут несколько выше соответствующих кривых титрования для аспарагиновой кислоты. Это свидетельствует о меньшей устойчивости комплексных соединений глутаминовой кислоты с лантаном, церием, празеодимом и неодимом по сравнению с устойчивостью соединений аспарагиновой кислоты с теми же самыми элементами.

Некоторое уменьшение констант устойчивости комплексов при переходе от аспарагиновой к глутаминовой кислоте может быть объяснено увеличением длины цепи молекулы глутаминовой кислоты на одну группу $-CH_2-$ по сравнению с аспарагиновой кислотой.

При сравнении данных титрования при $c_{H_2A} : c_{M^{3+}} = 2 : 1$, по которым строятся кривые образования и затем графическим методом определяются константы устойчивости, оказалось, что в системе глутаминовая кислота — ион редкоземельного элемента осаждение гидроокиси происходит значительно раньше, чем в системе аспарагиновая кислота — ион редкоземельного элемента.

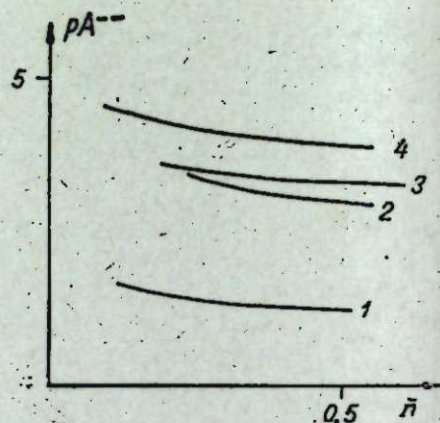


Рис. 3. Кривые образования в системах глутаминовая кислота — ион редкоземельного элемента:

1 — глутаминовая кислота — лантан; 2 — глутаминовая кислота — церий; 3 — глутаминовая кислота — празеодим; 4 — глутаминовая кислота — неодим.

Это затруднило определение вторых констант устойчивости глутаминовых комплексов графическим методом Я. Бьеррума.

Из рис. 1, 2, 3 и таблицы видно, что для рассматриваемых ионов тенденция к комплексообразованию с глутаминовой кислотой закономерно возрастает: $La < Ce < Pr < Nd$.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
27/IV 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Батяев, С. В. Ларионов, В. М. Шульман. Журн. неорг. химии, 6, 153 (1961).
2. H. S. Simms. J. Gen. Physiol., 11, 629 (1928).
3. H. S. Simms. J. Gen. Physiol., 12, 231 (1928).

Л. Р. БАЦАНОВА, Г. Н. ГРИГОРЬЕВА

ОБ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ФТОРИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ЦЕРНЕВОЙ ГРУППЫ

1. Фториды редкоземельных элементов (РЗЭ) играют важную роль в аналитической химии и в технологии при отделении лантанидов благодаря малой растворимости в воде и разбавленных кислотах. Безводные фториды РЗЭ используются также в металлургии — они являются хорошим материалом для получения редкоземельных металлов восстановлением [1]. Поэтому получению безводных фторидов исследователи уделяли большое внимание [1—5].

Однако оптические свойства кристаллических фторидов РЗЭ мало исследованы. Так, изучение спектров поглощения фторидов лантана и неодима [6] проводилось лишь на тонких пленках, приготовленных испарением в вакууме в области от 0,22 до 2 μ , причем было показано, что в указанных пределах эти фториды заметно не поглощают. В спектре же фторида церия имеются две полосы поглощения в ультрафиолетовой области (с максимумом при 0,234 и 0,248 μ).

Целью нашей работы являлось изучение преломления кристаллических фторидов элементов цериевой группы и их инфракрасных спектров поглощения.

2. Безводные фториды РЗЭ получены нами путем термического разложения двойных фтористых солей этих элементов с аммонием.

Двойные фтористые соли РЗЭ осаждались в виде мелкокристаллических порошков из растворов $LnCl_3$ при действии фтористого аммония. Состав двойной соли самария соответствовал формуле $NH_4F \cdot SmF_3$; в случае европия двойная соль содержала больше фторида аммония, чем это следовало ожидать для состава 1 : 1, а в остальных случаях фторида аммония было меньше (примерно 0,6 моля), хотя во всех случаях осаждение производилось избыточным количеством фтористого аммония (от двух- до пятикратного).

Осадки двойных фторидов РЗЭ и аммония, отмытые полностью от ионов хлора раствором NH_4F и этиловым спиртом, были просушены на воздухе и затем разлагались в токе сухого углекислого газа при постепенном повышении температуры до 450—500° в платиновом тигле, помещенном в кварцевый сосуд.

Кроме того, были получены фториды лантана, празеодима, неодима и самария путем осаждения их из водных растворов хлоридов этих элементов фтористоводородной кислотой. Из литературы известно [7], что таким способом получают гидратированные фториды состава $LnF_3 \cdot 0,5 H_2O$ (или $LnF_3 \cdot H_2O$).

Анализ LnF_3 на содержание металла осуществлялся (после удаления фтора обработкой концентрированной серной кислотой при нагревании) оксалатным методом, за исключением фторида церия, в котором содержание Ce определялось в виде двойного йодата церия и калия [8]. В табл. 1 даны результаты анализа полученных фторидов на содержание металла.

Анализ на фтор проводился лишь в отдельных случаях. Так, для LaF_3 , $\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и NdF_3 расхождение найденного и теоретического количества фтора составляло в среднем 1%. Содержание воды в полученных фторидах определялось по методу Фишера; в гидратированных продуктах этим методом было найдено 0,4–0,5 моля H_2O .

Таблица 1

Содержание металла во фторидах РЗЭ

Соединение	Содержание РЗЭ, %		Соединение	Содержание РЗЭ, %	
	найдено	вычислено		найдено	вычислено
LaF_3	70,78	70,92	$\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	67,88	67,81
CeF_3^*	69,00	71,08	—	—	—
PrF_3	71,03	71,20	$\text{PrF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	68,27	68,10
NdF_3	71,52	71,68	$\text{NdF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	69,02	68,61
SmF_3	72,32	72,51	$\text{SmF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	69,65	69,50
EuF_3	73,08	72,72	—	—	—

* Анализ на содержание церия неудовлетворителен, поэтому характеристики CeF_3 проводим условно.

3. При микроскопическом исследовании полученных солей оказалось, что все фториды, как приготовленные разложением двойных солей, так и осажденные плавиковой кислотой, оптически изотропны или псевдоизотропны. Показатели преломления, плотности и значения молярных рефракций для фторидов РЗЭ цериевой группы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рефрактометрические константы фторидов РЗЭ

Соединение	Мол. вес	Плотность, г/см^3	Показатель преломления	$R_M \cdot \text{см}^3$	R_M по данным [9]
LaF_3	195,92	5,94	1,600	11,28	11,31
$\text{LaF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	204,93	5,00	1,564	13,32	—
(CeF_3)	197,13	5,99	1,604	11,32	—
PrF_3	197,92	6,18	1,606	11,05	—
$\text{PrF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	206,92	5,26	1,571	12,91	—
NdF_3	201,27	6,37	1,612	10,98	10,95
$\text{NdF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	210,27	5,46	1,579	12,79	—
SmF_3	207,35	6,70	1,595	10,52	10,60
$\text{SmF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	216,35	5,88	1,583	12,30	—
EuF_3	209,00	6,73	1,590	10,48	—

Вообще говоря, фториды элементов цериевой группы кристаллизуются в гексагональной (LaF_3 , PrF_3 , NdF_3 , SmF_3 , EuF_3) или ромбической (SmF_3 , EuF_3) форме [10, 11]. Старицкий и Эспрей [9] определяли показатели преломления ряда фторидов, полученных обезвоживанием гидратированных солей в вакууме при температуре 1000° и дальнейшим плавлением в атмосфере аргона, и обнаружили, что они анизотропны. В ряде случаев эти авторы получили показатели более высокие (например для NdF_3), чем показатели для фторидов, полученных нами разложением аммониевых солей. Однако значения молярных рефракций у нас (табл. 2) оказались близкими к значениям по данным работы [9], так как в этих случаях удельные веса монокристаллов выше, чем мелкокристаллических порошков.

Нами были сняты рентгенограммы порошков фторидов лантана и неодима, которые оказались тождественными с имеющимися в литературе для этих соединений [9, 10]. Таким образом, отсутствие у полученных нами образцов фторидов дупреломления вызвано, по-видимому, способом их получения, а уменьшение показателя преломления — уменьшением плотности веществ.

4. Инфракрасные спектры поглощения полученных фторидов РЗЭ снимались на двухлучевом спектрометре UR-10 в области 400–5000 см^{-1} (призмы KBr , NaCl , LiF).

Образцы для изучения спектров поглощения безводных фторидов готовились методом прессования с бромистым калием. Поскольку в отдельных случаях имеет место взаимодействие исследуемых образцов с KBr [12], нами было проведено рентгеновское исследование, которое показало, что никаких заметных изменений с фторидами при прессовании не происходит. Однако для контроля нами были приготовлены образцы путем напыления вещества на подложку из бромистого калия. Спектры последних не отличались от того, что было получено для прессованных образцов. На рисунке представлены инфракрасные спектры фторидов металлов цериевой группы в области 400–700 см^{-1} . Из графика видно, что у всех образцов имеется широкая полоса поглощения в области 400 см^{-1} , а в остальной области полос поглощения не обнаружено.

Образцы для получения инфракрасных спектров водных фторидов готовились только методом напыления на подложку из KBr (эффективная толщина напыленного слоя составляла $\sim 0,7 \mu$). В спектрах $\text{LnF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ также обнаружены полосы поглощения в области 400 см^{-1} , практически совпадающие с приведенными на рисунке.

Инфракрасные спектры поглощения РЗЭ, запрессованных с KBr (0,5 г KBr с 10 мг LnF_3).

I — LaF_3 ; II — CeF_3 ; III — PrF_3 ; IV — NdF_3 ; V — SmF_3 ; VI — EuF_3 .

Следует указать, что снятые нами рентгенограммы порошков водных и безводных фторидов (La , Nd и Pr) были также совершенно одинаковы.

Интересно отметить, что Пикокк и Шаап [13] при исследовании инфракрасных спектров комплексных фторидов K_3LaF_6 и K_3YF_6 обнаружили полосу поглощения, лежащую в области меньше 400 см^{-1} .

Исследование фторидов редкоземельных металлов и их оптических свойств продолжается.

Выводы

1. Измерены плотности, показатели преломления и рассчитаны значения молярных рефракций для фторидов лантана, празеодима, самария и европия, полученных разложением двойных фтористых солей соответствующих элементов с аммонием и осаждением из растворов с помощью фтористоводородной кислоты.

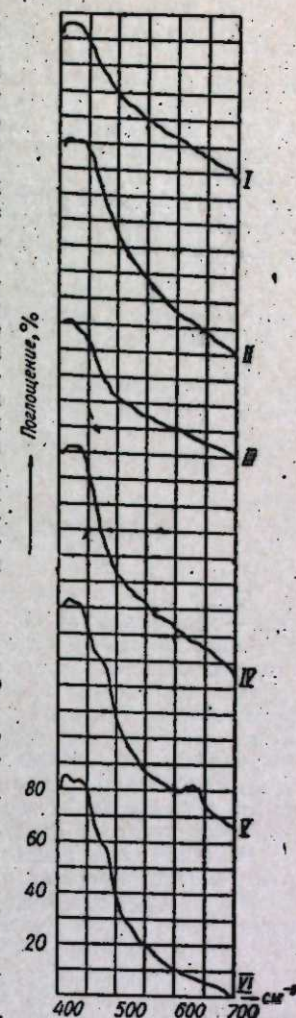
2. Изучены спектры поглощения перечисленных выше фторидов в инфракрасной области. Показано, что фториды РЗЭ не обнаруживают заметного поглощения до 600 см^{-1} . В области 400 см^{-1} в спектрах всех фторидов имеется максимум поглощения.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
18/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Спеддинг, А. Даан. В сб. Редкоземельные металлы. ИЛ, 1957, стр. 298, 325.
2. А. Попов, Г. Кнудсон. В сб. Редкоземельные металлы. ИЛ, 1957, стр. 50.
3. A. Popov, G. Glockler. J. Amer. Chem. Soc., 74, 1375 (1952).



4. Е. П. Дергунов. Докл. АН СССР, 60, 1185 (1948).
5. Е. П. Дергунов. Докл. АН СССР, 85, 1027 (1952).
6. G. Huss, I. Ramsey, R. Thun. J. Opt. Soc. Amer., 49, 116 (1959).
7. В. В. Серебренников. Химия редкоземельных элементов, т. I. Изд. ТГУ, 1959, стр. 182.
8. Ю. А. Черников, Т. А. Успенская. Завод. лабор., 2, 276 (1940).
9. E. Staritzky, L. Asprey. Anal. Chem., 29, 855, 856 (1957).
10. J. Oftedal. Z. phys. Chem., B5, 272 (1929), B13, 190 (1931).
11. A. Zalkin, D. Templeton. J. Am. Chem. Soc., 75, 2453 (1953).
12. В. В. Климов. Завод. лабор., 27, 292 (1961).
13. R. Peacock, D. Sharp. J. Chem. Soc., 2762, (1959).

М. Ф. ЛЯПУНОВ

К ВОПРОСУ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕНАРДИТА В ОЗ. КУЧУК

Озеро Кучук — одно из крупнейших сульфатно-хлоридных озер Кулундинской степи — давно известно как богатейшее месторождение сульфата натрия в Союзе.

Основные запасы сульфата натрия в озере находятся в его донных отложениях в виде мирабилита-стеклеца и примерно около 12% запасов сульфата — в рапе.

По данным Западно-Сибирского геологического управления, проводившего в 1932 г. на оз. Кучук геологоразведочные работы, мирабилит-стеклец залегает в центральной части озера на расстоянии примерно 2—3 км от берегов, занимая около 80% всей площади озера. Наибольшая мощность отложений мирабилита встречается в юго-западной части озера, где она доходит до 5—6 м.

За период с 1932 г. до настоящего времени новые разведки и обследования донных отложений солей озера никем не проводились.

Частично такие работы были проведены летом 1960 г. экспедиционным отрядом Химико-металлургического института СО АН СССР в составе М. Ф. Ляпунова (нач. отряда), В. Ф. Барышникова и В. Ф. Новик. Перед отрядом стояла задача добыть мирабилит-стеклец оз. Кучук в количестве 2—3 т, определить его качество и провести опыты по обогащению.

Пласт мирабилита-стеклеца разрушался с помощью взрыва. Взрывные работы были выполнены техником треста «Алтайвзрывпром». Предварительно бурилась скважина колонковой трубой на глубину 1—1,5 м, в которую в виде патрона вставлялся заряд В-В. После взрыва на дно озера опускался водолаз для сбора взорванного мирабилита. Водолазные работы выполнялись водолазами Барнаульского технического участка Западно-Сибирского речного пароходства И. А. Кухорцевым и П. А. Казанцевым.

Извлеченный мирабилит содержал значительное количество кусков тенардита. Толщина некоторых кусков доходила до 10 см. Из мирабилита, добытого в количестве 3 т, было отобрано 500—600 кг тенардита.

По своему химическому составу тенардит содержал более 92% сульфата натрия. Ниже приведены данные по химическому составу одного из образцов тенардита (%):

Na_2SO_4 — 92,78;	Нерастворимые — 0,58;
NaCl — 0,90;	Влага — 5,63;
MgCl_2 — 0,22	Сумма — 100,11.

Тенардит такого качества отвечает техническим условиям, в частности ТУ МХП № 927—42. Добыча тенардита описанным путем производилась в 3 точках, расположенных друг от друга на расстоянии 200—300 м, в юго-западной части озера в 5 км от берега.

Обследование воронок на месте взрыва водолазами и тщательное наблюдение при бурении скважин позволили установить, что тенардит залегает в пласте мирабилита на глубине 40—50 см от его поверхности в виде прослойки толщиной 10—12 см во всех трех точках, где проводились буровзрывные работы. Это дает основание полагать, что отложения тенардита залегают на значительной площади дна озера, а возможно и на всей площади залегания пласта мирабилита, и запасы его могут быть значительными. Если предположим, что тенардит залегает на площади, равной лишь

50% всей площади пласта мирабилита, которая составляет 140 км², при мощности пласта 10 см, то и тогда, принимая объемный вес тенардита, равным 2, имеем запасы тенардита в озере:

$$140 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 2 = 14 \text{ млн. т.}$$

Потребность в сульфате натрия в стране велика, поэтому оз. Кучук как месторождение тенардита может иметь важное значение.

В связи с этим возникают две научно-технические задачи: во-первых, проведение детальной разведки донных отложений мирабилита-стеклеца на оз. Кучук и выявление запасов тенардита; во-вторых, разработка технологии и средств добычи тенардита из-под слоя рапы, отделение его от мирабилита и транспортировка на берег. Решение этих задач будет иметь важное народнохозяйственное значение.

Анализируя литературные материалы по гидрохимическому режиму оз. Кучук за прошлые годы, можно предположить, что тенардит в оз. Кучук образовался в период 1940—1945 гг.

По данным В. М. Букштейна [1], этот период в жизни озера характеризуется падением уровня, повышением концентрации рапы и среднелетних температур. Так, летом 1940 г. концентрация рапы по сумме солей доходила до 29%, число молей воды на 100 молей солей в растворе к этому времени снизилось до 1687 молей, тогда как летом 1931 г. оно равнялось 2768 молям.

Температура рапы летом в этот период была на 3° выше среднегодичной, что свидетельствовало о засушливом периоде этих лет. В отдельные годы этого летняя рапа оз. Кучук была близка к насыщению по поваренной соли при температуре +10°.

Гидрохимический режим других сульфатно-хлоридных озер Кулундинской степи, например Ажбулата, Малинового, Покровского и других, в этот период также характеризуется образованием тенардита [2, 3].

Благоприятные климатические условия в 1940—1945 гг. привели к образованию тенардита и в оз. Кучук. Однако этот процесс в оз. Кучук протекал значительно медленнее, чем в других озерах. Более интенсивному протеканию процесса образования тенардита в оз. Кучук препятствовало наличие большого слоя рапы над мирабилитом — около 2 м. При такой мощности слоя рапы прогрев пласта мирабилита был недостаточным и поэтому процесс плавления мирабилита и перехода его в тенардит проходил в ограниченные промежутки времени летних периодов. Часть тенардита, вероятно, образовалась за счет кристаллизации его из рапы при ее концентрировании.

В последующие годы, характеризующиеся повышением уровня рапы в озере, понижением ее концентрации и снижением летних температур, процесс образования тенардита в оз. Кучук прекратился, но в этот период проходил другой процесс — процесс наращивания мощностей донных отложений мирабилита в озере.

Приблизительно за 15 лет (с 1945 г. по 1960 г.) мощность отложений мирабилита, залегающего поверх пласта тенардита, достигла 40—50 см.

Факт образования тенардита в оз. Кучук имеет исключительно большое значение. Как логическое следствие из рассмотренных материалов вытекает вывод, что ранее предложенная лабораторией солей технологическая схема получения тенардита из рапы оз. Кучук бассейнным методом [4] имеет еще одно практическое подтверждение своей реальности.

Выводы

1. Впервые обнаружено отложение тенардита в оз. Кучук, ранее известном только мощным месторождением мирабилита-стеклеца.
2. Тенардит в оз. Кучук залегает в виде прослойки в толще донных отложений мирабилита-стеклеца на расстоянии 40—50 см от поверхности пласта мирабилита. Толщина прослойки тенардита примерно 10 см. Общие запасы тенардита в озере, вероятно, имеют промышленное значение.
3. Можно предположить, что тенардит в оз. Кучук образовался в период 1940—1945 гг., характеризующийся засушливостью, понижением уровня и повышением концентрации рапы в озере. Во многих озерах Кулундинской степи (Ажбулат, Покровское, Малиновое и др.) в этот период происходил интенсивный, процесс образования тенардита.
4. Наличие донных отложений тенардита в оз. Кучук может иметь большое народнохозяйственное значение. Для решения этого вопроса необходимо провести детальные геологоразведочные работы донных отложений солей на оз. Кучук.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
27/V 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Букштейн, Изменение химического состава рапы оз. Кучук в многолетнем цикле. Тр. ВНИИГалургия, вып. XXI, 1949.
2. Н. И. Висягин, Озеро Анж-Булат — мощный источник тенардита. Тр. Хим.-металлург. ин-та, сб. 1, химический, 1951.
3. М. Ф. Ляпунов, Формирование тенардита в озере Б. Ажбулат. Изв. СО АН СССР, № 6, 1959.
4. М. Ф. Ляпунов, Проблема комплексного использования водных и соляных ресурсов Кулундинской степи. Изв. СО АН СССР, № 3, 1961.

Д. М. АПТЕР, Ф. И. КАЛНИЧЕНКО

ПИРОЛИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ
ЧЕРЕМХОВСКИХ УГЛЕЙ

В последние годы в связи с быстрым ростом производства пластиков на основе газообразных олефинов все большее внимание привлекают пути расширения их ресурсов, в частности процессы пиролиза. Анализ литературных данных показал, что для пиролиза с целью получения низкомолекулярных олефинов большей частью используются легкие фракции нефтей — этанпропановые смеси [1—3]. Значительно реже применяются тяжелые остатки нефти типа мазутов и гудронов и слачцевые смолы [4—6]. Из реферативной литературы известно, что пиролизом каменноугольных смол занимаются исследователи только в Японии [7] (эти работы публикуются лишь на японском языке).

Тяжелые каменноугольные смолы, являющиеся отходом полукоксовой промышленности, как правило, не находят практического применения, поэтому переработка их путем пиролиза представляет научный и практический интерес.

В настоящем сообщении представлены первые результаты пиролиза смолы полукоксования черемховских углей при температурах 650—1000°С и времени контакта 0,1 сек. Сырье имело следующую характеристику: d_{40}^{20} — 10,78; температура застывания — 45—50°; до 325° перегоняется 12—18 вес. %; температура вспышки — 170—180°; влажность — 0,36 вес. %; вязкость — 7,12°Е; зольность — 0,35%; серы содержалось 0,85%; общих фенолов — 20%; молекулярный вес — 185; теплотворная способность — 9000 ккал/кг.

Пиролиз проводился на установке, состоящей из реактора, устройства для подачи смолы и системы конденсации. Смола, разогретая паром, подавалась плунжерным насосом в реактор на раскаленную насадку — электротехнические бусы — со скоростью 50 см³/мин. Реактор, изготовленный из стальной трубки длиной 620 мм и внутренним диаметром 30,5 мм, помещался в электропечь, температура которой измерялась хромель-алюмелевой термопарой и записывалась потенциометром. Парогазовые продукты пиролиза подвергались «закалке» и конденсации. Охлажденный пирогаз, прошедший систему очистки, направлялся на газовый счетчик и в газометр.

Время контакта парогазовых продуктов рассчитывалось по формуле:

$$\tau = \frac{h \cdot F \cdot t}{V}$$

где τ — время контакта, сек;

F — площадь сечения реактора, м²;

h — высота реактора, м;

t — время опыта, сек;

V — объем парогазовых продуктов при температуре опыта, м³.

Для удаления воздуха реактор до опыта продувался паром, а после опыта — воздухом для выжиги кокса. Состав пирогаза определялся на аппарате ВТИ-2, жидкие продукты не анализировались. Результаты опытов представлены на рис. 1—3.

На рис. 1 дана зависимость степени газообразования от температуры пиролиза. При низких температурах количество пирогаза невелико — не более 50 л на 1 кг смолы. При 1000° из 1 кг смолы получается до 650 л газа.

Из рис. 2 видно, что содержание непредельных углеводородов в газе при 650—670° дает максимум, составляющий 40%. С увеличением температуры выход не-

предельных снижается до 6%. Это объясняется, очевидно, тем, что при низких температурах пиролиза вторичные реакции олефинов — расщепления, конденсации и полимеризации — замедлены, при высоких же температурах скорости этих реакций велики и, следовательно, увеличивается количество предельных и кокса.

Поскольку количество пирогаза с увеличением температуры растет, а содержание в нем непредельных падает, то количество непредельных, получаемых из 1 кг смолы, при перемножении количества пирогаза на процент непредельных в нем. Эта кривая показывает, что оптимальная температура при времени контакта 0,1 сек — 880°, при этом из 1 кг смолы выделяется 58,4 л непредельных, а пирогаз имеет следующий состав, вес. % $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} = 1,5$; $\text{C}_n\text{H}_{2n} = 19,0$; $\text{O}_2 = 0,9$; $\text{CO} = 17,2$; $\text{H}_2 = 28,8$; $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} = 32,4$.

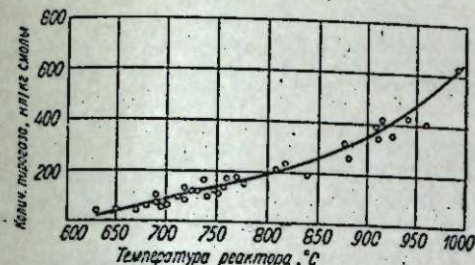


Рис. 1. Зависимость степени газообразования от температуры пиролиза.

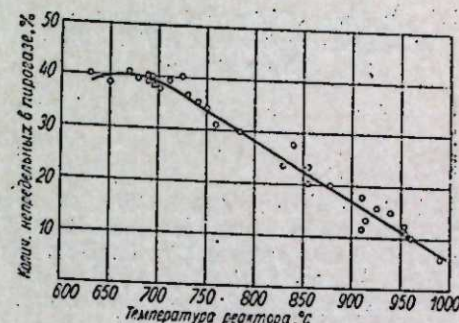


Рис. 2. Зависимость количества непредельных в пирогазе от температуры пиролиза.

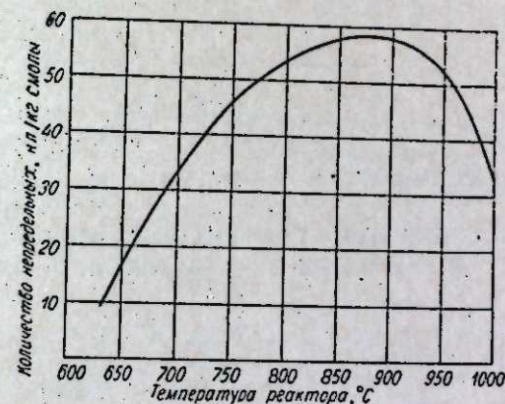


Рис. 3. Количество непредельных, получаемых из 1 кг смолы, в зависимости от температуры пиролиза.

В состав непредельных входит 61% C_2H_4 и 32% C_3H_6 . Калорийность газа — 7200 ккал/м³. Материальный баланс пиролиза при температуре 880° и времени контакта 0,1 сек приведен в таблице.

Взята	Вес, кг	Получено	Вес	
			г	%
Смола полукоксования черемховских углей	537,0	жидкие продукты	284,0	52,8
		газ	189,7	35,1
		кокс и потери	63,3	12,1

...содержание германия в угле... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

...для примера приведены 2 пробы угля из 12 исследованных... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

Проба	Углеродная фракция, %	Содержание германия, %	Содержание структурного германия, %	Сумма структурного германия, %	Сумма фотомножительного вещества, %
1	1,24	0,00040	4,0	81,5	5,8
	1,25	0,00047	8,0	86,4	1,0
	1,26	0,00051	16,7	94,9	1,4
	1,27	0,00064	26,0	99,1	1,8
	1,28	0,00071	29,3	95,2	0,8
	1,30	0,00067	20,0	95,1	2,0
	1,35	0,000516	8,8	84,6	12,2
	1,40	0,00053	6,5	84,7	30,4
2	1,25	0,00025	—	—	—
	1,26	0,00040	4,5	87,9	5,3
	1,28	0,00067	23,3	95,3	3,6
	1,30	0,00061	20,0	95,7	3,1
	1,35	0,00057	21,5	95,3	3,9
	1,40	0,00049	19,4	94,4	1,2

Таким образом, результаты исследований газовых угля сибирских месторождений позволяют сделать вывод, что германий, содержащийся в различных интралитствах, в основной своей массе в исследованных углях принадлежит к органической части, представленной интралитизированным материалом. Это дает возможность при проведении обогащения углей получать концентраты с повышенным содержанием германия.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Получена в редакцию
19/IX 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Германий. Сб. статей. Изд. иностр. лит., 1955.
2. В. М. Гольдшмидт. Сб. статей по германию редких элементов, ОНТИ, 38, 1938, стр. 144.
3. Отто Джонсон. Германий и его соединения. Успехи химии, т. XXV, 1, стр. 133, 1956.
4. В. Рудик. Германий в галлий в каменистом угле и их извлечение. Редигед, Сопен, Уилсон, т. 1, стр. 410, 1959.
5. В. Рудик, С. ... Германий с органическим веществом угля в исследовании угля ...
6. В. Рудик, С. ... Германий с пиритом в угле ...
7. В. Рудик, С. ... Германий в угле ...
8. В. Рудик, С. ... Германий в угле ...
9. В. Рудик, С. ... Германий в угле ...
10. В. Рудик, С. ... Германий в угле ...

И. И. ГИТЛАХОВ, И. А. ГИТЛАХОВ,
Р. И. КУМАКОВА, Р. И. БАЛАНСКИЙ

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ БИОМИНИТЕРАЛИЗАЦИИ

Изучение биоминерализации проводилось ... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

Выявление минеральных веществ ... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

Следует отметить, что ... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

Общие результаты ... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

... (фотомножитель ФЭУ-РБ) ...

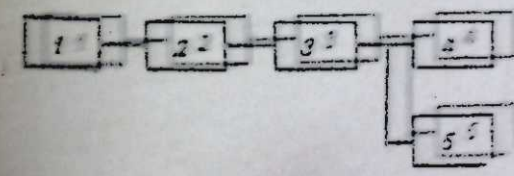


Рис. 1. Блок-схема установки:

1 — объект; 2 — фотомножитель ФЭУ-РБ; 3 — усилитель; 4 — пересчетная схема ПС-10 000; 5 — импульсный синхроскоп СИ-1.

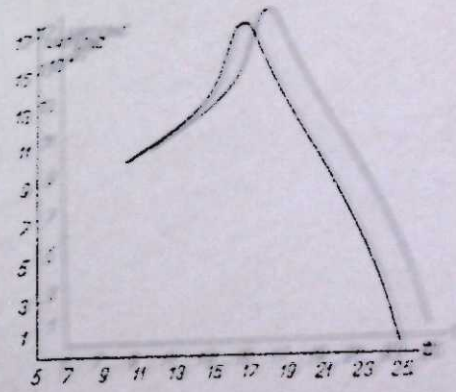


Рис. 2. Зависимость интенсивности свечения *Bact. Issatchenkoi* (в импульсах) от температуры (°C).

турного витрена и суммы витренизированных компонентов, которое согласуется и с наибольшим содержанием германия (усредненные значения показаны пунктиром). Данные петрографического разделения угля указали на возможность обогащения углей витренизированным веществом за счет легких фракций. Опыты по обогащению дали ожидаемые результаты. Анализ всплывшей части обогащенных проб, состоящих в основном из витренизированного вещества, показал 94% германия от его общего содержания в угле при зольности 6%, осевшая же часть обогащенной пробы имела 6% германия при зольности 47,14%.

Из таблицы, где для примера приведены 2 пробы угля из 12 исследованных, видно, что в легких фракциях удельного веса 1,26—1,28 содержатся наибольшие количества и структурного витрена и германия.

Проба	Удельный вес фракций	Содержание германия, %	Содержание структурного витрена, %	Сумма витренизированных компонентов, %	Сумма фюзенизированного вещества, %
1	1,24	0,00040	4,0	81,5	5,8
	1,25	0,00047	8,0	89,4	1,0
	1,26	0,00051	16,7	94,9	1,4
	1,27	0,00064	26,0	93,1	1,8
	1,28	0,00071	29,3	95,3	0,8
	1,30	0,00067	20,0	95,1	2,0
	1,35	0,000616	8,8	84,0	12,2
	1,40	0,00056	4,5	64,7	30,4
2	1,25	0,00025	—	—	—
	1,26	0,00040	4,5	87,9	5,3
	1,28	0,00067	23,3	93,5	3,6
	1,30	0,00061	20,0	89,7	3,1
	1,35	0,00057	21,5	91,3	3,9
	1,40	0,00049	10,4	76,4	1,2

Таким образом, результаты исследований газовых углей сибирских месторождений позволяют сделать вывод, что германий, соединяясь с различными ингредиентами, в основной своей массе в исследованных углях приурочивается к органической части, представленной витренизированным материалом. Это дает возможность при проведении обогащения углей получать концентраты с повышенным содержанием германия.

Химико-металлургический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
18/IX 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Германий. Сб. статей, Изд. иностр. лит., 1955.
2. В. М. Гольдшмидт. Сб. статей по геохимии редких элементов, ОНТИ, 38, 1938, стр. 144.
3. Отто Джонсон, Германий и его соединения. Успехи химии, т. XXV, 1, стр. 133, 1956.
4. В. Руцек, Германий и галлий в каменном угле и их извлечение. Przegląd Górniczy, Wrzesień, т. 15, № 9, стр. 420, 1959.
5. В. М. Ершов, О характере связи германия с органическим веществом угля в ископаемых углях. Геохимия, № 6, 1958.
6. В. М. Ратынский, Л. Е. Штеренберг, О связи германия с петрографическими компонентами ископаемых углей. Докл. АН СССР, т. 130, № 1, 1960.
7. А. Б. Травин, О путях накопления германия в углях и некоторые задачи его дальнейшего исследования. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 1, стр. 44, 1957.
8. С. А. Гордон, Ф. Я. Сапрыкин, Распределение германия и галлия в буром угле. Сб. науч. тр. Моск. горн. ин-та, № 27, 1959.
9. И. С. Софиев, И. Н. Семашева, О характере распределения германия в ингредиентах угля. Геохимия, № 6, стр. 541, 1960.

И. И. ГИТЕЛЬЗОН, И. А. ТЕРСКОВ,
Р. И. ЧУМАКОВА, Н. М. САЛАНСКИЙ

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БАКТЕРИЙ

Изучение биолюминесценции проводилось многими исследователями [1—3], которые использовали в основном усредненные (интегральные) методы фиксации свечения (фотографирование, запись свечения на самопишущих приборах и т. д.). Наряду с положительными сторонами методы интегральной фиксации имеют существенный недостаток — они не вскрывают тонкие эффекты высвечивания и характер самого процесса биолюминесценции остается неясным.

Высвечивание квантов видимого света при биолюминесценции, как известно, происходит в результате определенной химической реакции — окисления субстрата люциферина в присутствии фермента люциферазы. При этом в результате каждой элементарной реакции, излучается один или несколько квантов в зависимости от количества метастабильных состояний реагирующих молекул. Поскольку при биолюминесценции происходит не одна такая реакция, а, по-видимому, несколько, то в единицу времени излучается определенное количество фотонов.

Среди светящихся организмов бактерии представляют наибольший интерес, поскольку они обладают внутриклеточной люминесценцией. Кроме того, как установлено [1], свечение бактерий происходит без всякой стимуляции непрерывно в течение длительного времени, при этом интенсивность их свечения зависит лишь от температуры, давления кислорода, состава питательной среды и возраста культуры.

Общее количество квантов энергии, посылаемых микробами в единицу времени, определяется произведением числа элементарных реакций (R) на количество квантов, излучаемых во время одной реакции (P). При наличии большого числа микробов общее число квантов, излучаемых ими, равно $N = k \sum R P$. Представляет интерес изу-

чение распределения во времени квантов высвечивания (периодичности высвечивания), поскольку данные об этом могут привести к более точному представлению о механизмах, ответственных за излучение энергии микробами.

Для изучения таких распределений необходимо иметь электронную аппаратуру, разрешающее время которой меньше $1/N$. С помощью описанной ниже установки можно провести подобные исследования.

Свечение бактерий *Bacterium Issatchenkoi* Egorova, растущих на специальной питательной среде в аэробных условиях при $t = 6-9^\circ \text{C}$, фиксировалось с помощью импульсной установки (рис. 1). Пробирка с суспензией светящихся бактерий, термостатируемой при определенной температуре и постоянно аэрируемой подачей воздуха, помещалась перед катодом тщательно заэкранированного высокочувствительного фотоумножителя ФЭУ-Р5. На выходе умножителя находился усилитель с низким уровнем шумов. Сигналы с усилителя фиксировались пересчетной схемой ПС-10000 и визуально наблюдались на экране катодно-лучевой трубки импульсного синхроскопа (СИ-1). Установка позволяла фиксировать импульсы, разделенные интервалом времени 1 мксек (10^{-6} сек). Максимальное число импульсов, регистрируемое установкой в единицу времени, равно 10^6 .

Благодаря большой разрешающей способности установки удалось зафиксировать отдельные импульсы свечения бактерий. Сколько квантов энергии соответствуют эти импульсы, пока неизвестно. Зависимость между количеством импульсов и числом бактерий устанавливалась путем счета последних в камере Горяева или в капиллярах по методу Перфильева — Габе [4] с поправкой на телесный угол.

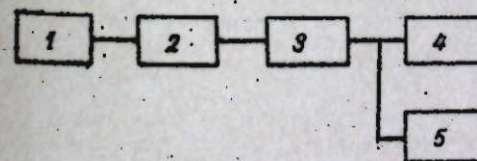
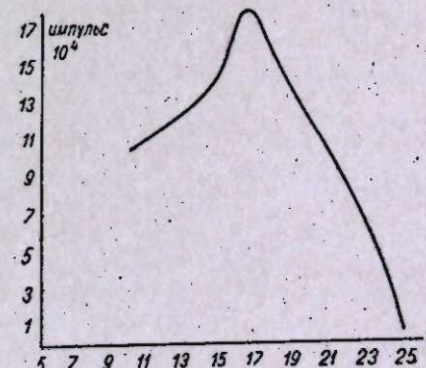


Рис. 1. Блок-схема установки:
1 — объект; 2 — фотоумножитель ФЭУ-Р5; 3 — усилитель; 4 — пересчетная схема ПС-10 000; 5 — импульсный синхроскоп СИ-1.

Рис. 2. Зависимость интенсивности свечения *Bact. Issatchenkoi* (в импульсах) от температуры ($^\circ \text{C}$).



С помощью описанной установки была изучена также зависимость интенсивности свечения бактерий от температуры. Для опытов брались 4—5-дневные культуры *Bact. Issatchenkoi*, находящиеся в стационарной фазе. Одновременно с регистрацией импульсов проводился подсчет числа бактерий, который показал, что в течение всего опыта количество бактерий оставалось неизменным и что, следовательно, изменение интенсивности свечения бактерий связано только с температурными колебаниями. Ход кривой зависимости числа импульсов от температуры (рис. 2) показывает, что данные, полученные импульсным методом, хорошо согласуются с макроскопическими кривыми зависимости интенсивности свечения от температуры, полученными интегральными методами, правда, для других светящихся бактерий.

Специальные результаты исследований, проведенных с помощью описанной установки, будут сообщены в ближайшее время.

Авторы приносят благодарность проф. А. А. Егоровой и чл.-корр. АН СССР А. Е. Криссу за предоставление светящихся бактерий и ценные указания.

Институт физики
Сибирского отделения АН СССР,
Красноярск

Поступила в редакцию
1 марта 1960 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. N. Harvey. Bioluminescence. Academic Press, N. Y., 1952.
2. B. U. Coblenz, C. W. Hughes. Spectral energy distribution luminosity plants and animals. Sci. papers of the bureau of Standards, № 538, 1926.
3. В. И. Войтов, А. А. Егорова, Н. И. Тарасов. О свечении культур свободн-ноживущей черноморской бактерии *Bacterium Issatchenkoi* Egorova. Докл. АН СССР, 132, № 6, 1960.
4. Д. Р. Габее. Капиллярный метод прямого счета микробных тел. Микробиология, XXVI, вып. 1, 1957.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ

В. И. ВЕРЕЩАГИНА, К. А. СОБОЛЕВСКОЙ, А. И. ЯКУБОВОЙ
«ПОЛЕЗНЫЕ РАСТЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ»

«Полезные растения Западной Сибири» — сводная и справочная работа, ставшая настольной книгой изучающих полезные растения Западной Сибири. Эта книга рассчитана на широкий круг читателей: работников медицины, сельского хозяйства, озеленительных организаций, учителей-биологов, студентов, всех тех, кто интересуется изучением и использованием полезных растений своего края.

В книге рассмотрены растения пищевые (дается 6 подразделов этого отдела), кормовые (с 3 подразделами), витаминосные, лекарственные (с 31 подразделом), каучуконосные, смолоносные, эфиромасличные, жиромасличные, дубильные, красильные, волокнистые (с 6 подразделами), декоративные (с 2 подразделами), фитомеллиоративные, древесные, топливные, недревесные, а также растения, дающие растительно-химическое сырье. Всего разделов, описывающих растения, — 16. В книге освещается 557 видов.

Содержание книги представлено разделами: предисловие, обзор главнейших полезных растений Западной Сибири и их использование в народном хозяйстве, литература, группы главнейших полезных растений Западной Сибири по их использованию, алфавитный указатель латинских названий растений.

В книге отсутствует русский алфавитный указатель, а его нужно было бы дать, ибо начальные названия растений в книге даны русские, а потом уже за ними следуют научные латинские названия.

В разделе «Обзор главнейших полезных растений» авторы дают интересную характеристику таких родов, как рдесты, молочай, осоки. Интересно и полно характеризуют авторы виды с точки зрения полезного применения их. Однако как частность можно отметить, что из 14 видов рода молочай отмечено полезное применение только пяти видов, а виды рода рдеста авторы совсем обходят молчанием. В обзоре видов авторы дают характеристику вида в таком плане: русское название растения, затем его научное латинское название, семейство, географическое распространение, местообитание; синонимы вида ограничивают только флорой СССР и флорой Западной Сибири П. Н. Крылова. Химический состав дается для видов большей частью по новейшим работам, по некоторым видам довольно подробно. Здесь авторами мало использованы работы С. Wehmer, Die Pflanzenstoffe. В. 1—2, Jena, 1929. О сушке и сборе говорится немного и не о многих растениях. Фармакологическая и клиническая характеристики даны для большинства видов, при этом они подтверждаются ссылкой на авторов работ по этому вопросу.

Хорошо обрисовано применение растений в народной медицине. Указано также применение растений в научной медицине.

Особого внимания и одобрения заслуживают статьи о шиповниках и особенно приложенная к ним таблица о главнейших ягодниках Сибири. Здесь использованы новейшие данные сибирских исследователей — Б. Д. Игнатьева, В. С. Соколова, В. С. Федоровой и Э. В. Черниковой (стр. 294). Эта таблица является сводной по содержанию витамина С в ягодниках Сибири.

Добавим еще несколько замечаний об обзоре. Нам хотелось бы, чтобы авторы при переиздании книги «Полезные растения Западной Сибири» хорошо разработали статью о *Pulmonaria mollissima* Kern., ибо это растение имеет большой успех

¹ Сиб. отд. АН СССР, Центр. Сиб. бот. сад. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1959 (Отв. ред. проф. М. М. Ильин, проф. В. В. Ревердатто).

в народной медицине: как ранозаживляющее растение, оно стало широко распространено и всепопулярным бытовым лекарственным растением. Авторы должны подчеркнуть также необходимость тщательного экспериментального медицинского изучения видов рода *Thalictrum* L., очень популярных в медицине. Желательно в будущем видеть больше четкости в разработке плана, по которому написана книга. План местами не выдержан и расплывчат.

В книге преобладают характеристики лекарственной полезности растений. Представлено много рисунков лекарственных растений, но хотелось бы, чтобы их было больше.

Хорошие и подробные характеристики даны для кормовых растений. Использование важных и обширных работ проф. И. В. Ларина в этом отношении придает авторитетность приводимым кормовым данным.

Хорошо разработаны данные, относящиеся к медоносным, декоративным и другим полезным растениям. Уместно приведены результаты исследования растений, над которыми работает молодой коллектив научных сотрудников Центрального Сибирского ботанического сада СО АН СССР. Раздел «Литература» представляет ценнейший вклад в познание исследований о растительных ресурсах Сибири. В этом разделе сборника «Новые лекарственные растения Сибири» упоминаются 33 раза. В них представлены работы по лекарственным растениям таких авторов, как Н. В. Вершинин, Д. Д. Яблоков, В. В. Ревердатто и др. В книге использовано 10 работ М. Н. Варлакова, 8 работ М. М. Ильина, 5 работ В. Л. Некрасова, 4 работы Г. В. Крылова и Н. Г. Салатовой и по 4 работы Н. В. Павлова и К. А. Соболевской, а также работы Е. М. Думеновой и Л. А. Уткина. В литературе приведены также работы сибирских ученых — В. С. Алгазина, З. И. Лучник, В. С. Федоровой, Л. П. Сергневской, Л. Н. Дьяконовой, М. М. Коротаевой, В. Г. Миняевой, Н. Н. Карташевой, М. Н. Смирнова и многих других.

Флора Западной Сибири П. Н. Крылова и флора СССР цитируются почти на каждой странице книги. Всего в разделе приведено 373 работы. Будет полезно продолжать этот труд путем подготовки второго, более расширенного издания. Это издание следует иллюстрировать рисунками всех видов растений и снабдить таблицами, графиками и диаграммами.

Л. А. Уткин

О КНИГЕ Т. А. КУХАРЕНКО «ХИМИЯ И ГЕНЕЗИС ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ»

Книга Т. А. Кухаренко является одним из первых опытов обобщения накопленного за последнее двадцатилетие материала по вопросам структуры, происхождения и использования твердых горючих ископаемых. Необходимость в таком обобщении назрела, так как существует много различных мнений, особенно по структуре, требующих детального критического обзора литературных данных. Задача очень трудная, но вместе с тем благодарная. По нашему мнению, автор книги в основном справился с этой задачей.

Во введении автор справедливо указывает, что неудовлетворительное использование ископаемых углей в значительной мере связано с недостаточным познанием их природы и строения. Это относится не только к химическому использованию, но и к другим методам, в частности к энергетике, где учет особенностей строения углей, как показали наши исследования, обеспечивает повышение эффективности их сжигания. При изложении материала автор придерживается нового положения о происхождении углей, основанного на последовательном изменении растительного материала, начиная с его распада при отмирании с помощью микроорганизмов, синтеза их продуктов и дальнейшего изменения, приводящего к образованию твердых ископаемых от торфа до антрацита.

Весьма удачным является популярное изложение понятия о геологии углей как предпосылки углеобразовательного процесса.

В последующих двух главах изложены вопросы строения и химического состава растений-углеобразователей и пути их изменения в процессе оторфенения. При этом доказываются возможность образования гуминовых кислот также за счет продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.

По-видимому, в этих главах следовало бы сосредоточить внимание читателя и на условиях образования структуры, которая является общей и для каменных углей (внутренней, фюзен).

В основу объяснения различия бурых углей с торфом и каменными углями положено изменение состава и количества гуминовых кислот. В каменных углях они практически отсутствуют, а в торфах их больше, чем в бурых углях. Поэтому оправдано повышенное внимание к исследованию структуры гуминовых кислот. Автор выдвигает новый принцип строения молекул гуминовых кислот, но одновременно отказывается от изображения их структурными формулами как малообоснованными.

В заключительной части IV главы кратко излагаются методы использования бурых углей. Однако это изложение слабо увязано со всем предыдущим материалом об их строении. Совершенно упущен весьма перспективный метод — энерготехнологический, имеющий важное значение для познания строения углей.

При изложении петрографического строения углей и связи с химическим составом автор справедливо подчеркивает необходимость его учета для изучения структуры и переработки. Разделение угля только на три группы компонентов является совершенно правильным.

Значительное место отводится вопросам исследования молекулярной структуры ископаемых углей. В работе дается достаточно подробный анализ существующих гипотез о мицелярном и макромолекулярном строении ископаемых углей. Приведены разные структурные модели и указывается на недостаточную их обоснованность. Автор придерживается макромолекулярной модели, получившей признание среди широкого круга исследователей.

Исходя из этих представлений, автор объясняет механизм спекания и коксования углей.

Интересно и доходчиво изложен материал глав VII—X, посвященных исследованию структуры ископаемых углей. Наиболее полно рассмотрены вопросы окисления и выветривания ископаемых углей. Автор обобщил многие работы, в том числе свои собственные, и предложил общую теорию окисления углей, согласно которой на начальных стадиях окисления основным является перекисный радикально-цепной механизм, а на глубоких стадиях — окислительно-гидрологический, связанный с образованием и последующим распадом гуминовых кислот.

Пиролиз ископаемых углей представлен как деструкция на первой стадии нагрева и как вторичное усложнение вещества углей на более высокотемпературной стадии. Автор указывает, что с увеличением скорости нагрева угля изменяется количество и качество продуктов пиролиза вследствие меньшего наложения вторичных процессов. Это указывает путь более глубокого исследования структуры с помощью пиролиза.

В XI главе критически рассмотрены химические и физические методы исследования, их недостатки и преимущества. Автор отмечает необходимость сочетания химических и физических методов исследования, что является правильным и своевременным. Однако, по нашему мнению, следовало бы больше уделить внимания новым физическим методам исследований. Совершенно недостаточно уделено внимания методам исследования пористого строения углей.

Предпоследняя глава посвящена обобщению всего изложенного материала. Автор справедливо подчеркивает, что молекулярная структура непрерывно изменяется на различных стадиях углеобразовательного процесса. Поэтому она определяется всей совокупностью условий, создающих этот процесс. Стадии гумификации объясняются с химической точки зрения. В первой стадии происходит микробиологическое разложение растительных остатков и последующий синтез. Во второй стадии происходит преобразование полученных веществ путем удаления боковых цепей, гидролизующих связей и ароматизации органического вещества.

Подробно разбирается вопрос о материнском веществе углей и указывается на значение лигнинной и целлюлозной гипотез. Доказывается большое различие реакций, приводящих к гуминовой структуре. Поэтому сложный процесс образования углей нельзя сводить к одной какой-либо реакции.

В последней главе правильно указано, что крайне необходимо создать единую научную обоснованную классификацию углей, из которой следовала бы взаимосвязь между химической структурой, определяемой происхождением, и важнейшими технологическими свойствами. Приведенный анализ промышленных классификаций показал, что численные значения отдельных параметров для различных бассейнов неодинаковы. Это связано с неодинаковым происхождением углей.

В заключение монографии указывается, что на основании имеющихся данных исследований представляется возможным установить связь между свойствами, происхождением и структурой углей. Одновременно справедливо указывается на отставание химических и других исследований от геологической изученности и требований народного хозяйства. Подтверждается высказанная в предыдущих главах мысль о необходимости постановки фундаментальных исследований для более полного обоснования существующих представлений о структуре углей.

Таким образом, рецензируемая монография представляет собой краткое критиче-

ское изложение современных представлений о происхождении, структуре и свойствах ископаемых углей. Автор проявил настойчивое стремление связать воедино вопросы переработки углей с их молекулярной структурой. Указывается народнохозяйственная важность исследований ископаемых углей для наиболее эффективного их использования.

К общим недостаткам рассматриваемой работы следует отнести беглость изложения отдельных глав, что, по-видимому, связано с очень ограниченным объемом книги. Не во всех главах сделан одинаково полный обзор литературы. Следует признать не совсем удачным применение ссылки на литературу без указания конкретного источника. Это затрудняет работу при более глубоком изучении интересующего вопроса. Следовало бы рассмотреть и горение как один из основных технологических процессов использования топлива.

Все отмеченные недостатки ни в какой мере не снижают ценности работы, а только указывают на желание читателей видеть эту книгу более полной.

И. А. Яворский

ХРОНИКА

СОВЕЩАНИЕ ПО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СИБИРИ, РАЗВИТИЮ И ОБЪЕДИНЕНИЮ ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С 7 по 9 декабря 1961 г. в Иркутске проходило совещание по электрификации Сибири, развитию и объединению ее энергетических систем, созванное Энергетическим институтом Сибирского отделения АН СССР. В совещании приняло участие 173 представителя от 64 организаций, в числе участников представители почти всех энергетических систем Сибири и энергетических проектных организаций, размещенных в Сибири, представители Академии наук Казахской ССР, ряда научно-исследовательских, проектных и учебных институтов Москвы и Ленинграда, представители Транспортно-АН СССР, Сахалина и Читы.

Совещание ставило своей целью обсудить научные задачи, вытекающие из работ проектных организаций в области перспектив развития электрификации и энергетических систем Сибири на период 1961—1980 гг., определить положение о координационной комиссии по энергетике Сибири и Дальнего Востока, круге организаций, которые войдут в комиссию, и основных направлениях деятельности данной комиссии.

На совещании были заслушаны доклады деятельности данной комиссии (Гидроэнергопроект) и А. Н. Зейлигера (Ленингр. отд. Теплоэлектропроекта) «Перспективная схема развития Объединенной энергетической системы Сибири на период 1965—1980 гг.»; инженеров А. В. Поссе, Е. С. Гройса, М. М. Аксельрода (НИИ постоянного тока) «Электропередача постоянного тока Центральная Сибирь—Урал и ее технико-экономические показатели»; Л. А. Кощеева (НИИ постоянного тока) «Режимные особенности и вопросы надежности Объединенной энергетической системы Сибири»; действительного члена АН Каз. ССР В. П. Захарова (Институт энергетики АН Каз. ССР) «Схема развития энергетических систем Северного Казахстана»; проф. д-ра техн. наук Т. Л. Золотарева (Московский энергетический институт—Сибирский энергетический институт) «О направлении научных работ в области создания Единой энергетической системы Сибири»; чл.-корр. АН СССР Л. А. Мелентьева (Сибирский энергетический институт) «О направлении научных работ Энергетического института СО АН СССР»; проф. д-ра техн. наук В. А. Веникова (Московский энергетический институт—Сибирский энергетический институт) «Режимы электрических систем и условия управления ими».

Как указывалось в докладах, в соответствии с намечаемыми высокими темпами развития народного хозяйства восточных районов страны электропотребление Сибири в 1980 г. возрастет по сравнению с 1960 г. в 16 раз (в то время как в среднем по Союзу электропотребление увеличится за тот же период в 10 раз). Намеченная широкая программа гидроэнергетического строительства предусматривает сооружение ряда мощных ГЭС на реках Сибири типа Братской ГЭС на Ангаре, Красноярской на Енисее и др. Значительное развитие получат тепловые электростанции прежде всего на дешевых топливах Сибири (Канско-Ачинский бассейн). До 1980 г. в Сибири будет введено свыше 10 тепловых электростанций мощностью до 4000 Мвт каждая. Мощные тепловые и гидравлические электростанции Сибири будут объединены линиями электропередачи напряжением до 500 кВ в Единую Энергетическую Систему Сибири (ЕЭСС), связанную с объединенными энергетическими системами Урала, Северного Казахстана и Дальнего Востока.

Совещание отметило, что задачи полной электрификации Сибири и создания ЕЭСС требуют широкого развития и координации теоретических исследований и проектных работ. Совещание одобрило доложенные Московским энергетическим институтом и Энергетическим институтом СО АН СССР следующие основные направления научных работ в области создания ЕЭСС.

1. Определение рационального развития и пространственного размещения производственных сил Сибири, в первую очередь связанных с размещением энергоемких производств; выявление оптимальных уровней энерговооруженности труда, глубины электрификации термических процессов промышленности, сельскохозяйственного производства и быта, определяющих по совокупности развитие баланса электроэнергии Сибири и его размещение по экономическим районам.

2. Изучение оптимальных пропорций развития использования ее природных источников энергии; разработка научных основ построения единого топливно-энергетического баланса Сибири.

3. Изучение теоретических основ создания оптимальной структуры ЕЭСС в динамике ее развития.

4. Исследование схем и параметров электропередач и межсистемных электрических связей в ЕЭСС, ее оптимальных режимов и переходных процессов, методов автоматизации и способов применения кибернетических систем управления.

5. Разработка теории долгосрочного прогнозирования, изучение устойчивости гидрометеорологических и гидрологических характеристик, асинхронизма колебаний стоков основных рек Сибири и т. д.

Совещание поручило Сибирскому энергетическому институту взять на себя координацию исследовательских работ по научным основам ЕЭСС, а также постановило создать комиссию по энергетике Сибири и Дальнего Востока, задачей которой явилась бы координация работ научных, проектных организаций и энергетических систем по вопросам электрификации, создания ЕЭС Сибири и Дальнего Востока и рациональной структуры их энергетических балансов.

Совещание приняло развернутое решение по основным вопросам электрификации Сибири и создания ЕЭСС.

Ю. П. Грач

Художественный редактор В. И. Желнин.

Технический редактор О. А. Локина.

Корректоры: Н. Ф. Джигирис, Е. Ф. Ковырина, А. А. Симонова.

Подписано в печать 7 февраля 1962 г. МН 01531. Бумага 70×108/16 8,25 печ. л. — 11,3 усл. печ. л. уч.-изд. л. Тираж 2300.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР. Новосибирск, Советская, 20. Зак. Типография № 1 Полиграфиздата. Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 70 коп.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
8	3 снизу	(K _г)	(K _г)
9	7 сверху	(K _г)	(K _г)
75	16	Д. Н. Фроловым	Д. Н. Фроловым
83	сверху формула (2)	$\frac{a}{a_0} = \left(\frac{\tau}{T} \right)^2$	$\frac{a}{a_0} = \left(\frac{\tau}{T} \right)^2$
106	8 снизу	насаждений	насаждениями
107	в подпис к-рис.	2,2 — ослабленные	2,2' — ослабленные
110	17 снизу	материала	материала τ_z
110	7 »	($\tau_{из}$) _к	($\tau_{из}$) _{кр}
113	31 »	без инов	без ионов
113	13 »	константкислотной	констант кислотной
114	19 сверху	редкоземельного	редкоземельного
115	32 снизу	восстановлением	восстановлением
116	в приме- чании к табл. 1	проводим	приводим
121	11 сверху	вес. % CO ₂	вес. % : CO ₂
123	3 снизу	на рисунке I—V — номе- ра проб,	на рисунке (I—V — по- мера проб),
126	15—16	Поступила в редакцию	Поступила в редакцию
128	сверху	1 марта 1960 г.	8/VIII 1961
	27 сверху	флора СССР	Флора СССР

Статья И. Е. Быкова «Быстрокапающие полярнографические капилляры» ошибочно заверстана в раздел «Биология» (стр. 81), в содержании же она, по недоразумению, значится еще и в разделе «Химия» (стр. 67).

Известия СО АН СССР № 2, 1962 г.

Цена 70 коп.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

В журнале освещаются результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, проведенных в научных учреждениях, исследовательских институтах, высших учебных заведениях Сибири. В журнале печатаются также статьи методического характера, работы, посвященные важнейшим проблемам развития производительных сил восточных районов СССР.

В журнале регулярно дается разносторонняя информация о научной жизни и развитии науки в Сибири и на Дальнем Востоке, печатаются материалы по обмену опытом и координации научной работы, библиография и рецензии на книги, в которых рассматриваются вопросы, связанные с изучением Сибири.

Журнал рассчитан на научных работников, преподавателей вузов, инженеров и руководителей предприятий.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 8 р. 40 к.

на 6 месяцев — 4 р. 20 к.

на 3 месяца — 2 р. 10 к.

Цена отдельного номера 70 коп.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комната 401).