

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

5

НОВОСИБИРСК

1962

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА

С. Л. Соболев, А. А. Ляпунов. Математические проблемы современной кибернетики	3
Б. Н. Девятков, Ю. Н. Корнев. Применение рядов Бурмана—Лагранжа при анализе переходных процессов в химико-технологических аппаратах	14
Р. Д. Баглай. Широкополосный усилитель постоянного тока с преобразованием	29
М. Н. Негодаев. Анализ передачи энергии в механизме ударного действия методом высокоскоростной киносъемки	34
М. С. Шарловская. Электронномикроскопическое исследование формы золотых частиц	42

ХИМИЯ

С. С. Бацапов, Ю. А. Литвин. Взаимодействие роданида меди с галогенидами. Сообщение 2	49
П. В. Гельд, И. И. Матвеев, С. И. Алоян. Взаимодействие промежуточных продуктов восстановления с металлами	59
В. Г. Бамбуров, Н. В. Родина. Влияние растворимости на скорость растворения	70
А. Г. Стромбелли, В. П. Рябинин. Растворимость в объеме раствора и растворимость в амальгамной среде	76
В. П. Рябинин. Растворимость в амальгамной среде	81
И. И. Кикнадзе. Растворимость функциональных соединений	87
И. Ф. Беликов. Растворимость продуктов фотосинтеза	93
Л. С. Козловская. Растворимость в микрофлоре	107
В. В. Минич, А. В. Волнов. Растворимость в многокомпонентных системах	118
А. Н. Киргинцев. Растворимость азотсодержащих соединений	121
Г. Б. Еляков, Л. П. Корнякина. Растворимость в корнях женей	126
Е. Н. Мешалкин, И. В. Кондратов. Растворимость коллагеновых соединений для сосудов	129
Ю. М. Бутов. Растворимость в медицине	132
В. Г. Фомин, И. В. Востоков. Растворимость в Восточной Азии	135

032.340

5.167/2

Писать разборчиво

Шифр

Автор И. И. Кикнадзе

Название Издания Сибирского отделения АН СССР

105

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
10	6 сверху	лагоритмов	алгоритмов
10	18 сверху	H_c	N_c, H_c, N_c
118	10 сверху	$= \sum_{m, n} A_{mn} h_{mn}$	$= \sum_{m, n} A_{mn} \bar{h}_{mn}$
118	2 снизу	компонентной	компонентой

Известия СО АН СССР, № 5, 1962.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1962

С. Л. СОБОЛЕВ, А. А. ЛЯПУНОВ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Классический математический анализ, созданный трудами ученых XVII—XX веков, был многие годы ведущей научной дисциплиной и при том не только в области математики. Математика уходит вперед на 50—100 лет от запросов других наук, подготавливая замечательные открытия в области физики, химии, техники и во всем комплексе человеческих знаний. Теория дифференциальных уравнений, обыкновенных и в частных производных, имеет определяющее значение для таких дисциплин, как теоретическая механика и математическая физика, описывающих различные физические процессы, физические поля, температуру, давление, скорости течения жидкостей и газов, электрические и магнитные напряжения и т. д. Эта теория позволила предсказать и обнаружить радиоволны, разобраться во многих явлениях действительности.

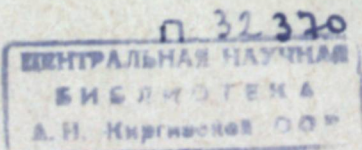
Возникшая в XIX—XX веках неевклидова геометрия предвосхитила и подготовила создание современной теории относительности. Теория интегральных уравнений и функциональных операторов, возникшая на рубеже нашего столетия, содействовала появлению квантовой механики и сделала в конце концов возможным проникновение человека внутрь атома. Развившаяся в России и впоследствии распространившаяся на весь мир теория вероятностей дала начало огромному новому направлению в физике — статистической физике, важнейшую роль она играет в квантовой физике сегодняшнего дня.

Сейчас классическая математика оказывает многообразную помощь другим наукам, вооружает их методами точного предсказания, служит универсальным языком, на котором эти науки говорят. Еще ждут своего развития математические методы в биологии и в ряде общественных наук.

Однако на самую передовую линию сегодня выдвинулись и новые математические идеи, новые запросы, связанные с современной кибернетикой, наукой об управляющих системах и с вычислительной математикой. Об этой новой дисциплине, о математических проблемах кибернетики мы и будем говорить в настоящей статье.

Характерной чертой этих новых проблем, новых идей и новых методов является огромное сосредоточение внимания на дискретных объектах, дискретных множествах, конечном, хотя и очень большом, числе объектов. Дискретность объекта, встречающаяся в прошлом главным образом лишь в теории чисел (теоретической арифметике) и в некоторых разделах алгебры стала характерной для всех тех исследований, где свойства объекта, их изучение и описание сталкиваются с естественными границами, определяемыми свойствами человеческого мышления.

Все вычисления в классических математических задачах ведутся за конечное время, с определенной ограниченной точностью, и результаты их — это приближенные значения, выражаемые некоторым конечным набором возможных ответов, часто конечные десятичные дроби.



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.

Свойства большого числа объектов, множеств, состоящих из очень большого числа элементов, в принципе, казалось бы, не должны составлять предмета изучения. Можно было бы перебрать все эти объекты с тем, чтобы найти те, которые обладают нужными свойствами. К примеру, для того, чтобы найти оптимальный план распределения станков по видам работ на каком-либо предприятии (эта задача есть простейший пример так называемого линейного программирования), на первый взгляд, нужно просто сравнить все возможные варианты. Однако в действительности число этих вариантов иногда столь чудовищно, что в сравнении с ним число атомов, составляющих нашу планету, может показаться ничтожным.

Возможные значения разных иероглифов какой-либо древней письменности содержат такое число вариантов, которое совершенно безнадежно перебирать даже на самой совершенной из мыслимых сейчас машин. Изучение этих и им подобных задач требует нахождения закономерностей, позволяющих избегать прямого перебора объектов. Широкое внедрение математической логики — практической теории мышления — важная черта современных проблем математической кибернетики. На этой почве возникли такие ее дисциплины, как, например, теория автоматов, синтез контактных схем, линейное и динамическое программирование и т. п.

Особую роль в современной математике начинают играть математические машины. Новые перспективы, открытые вычислительной техникой, заставляют по-новому подходить к прежним результатам и теориям из области математики, требуют доведения этих результатов до возможности их автоматического использования. В то же время они ставят ряд новых задач: как строить электронные машины, как ими пользоваться, составлять программы для них и т. п. Математические машины представляют собой, как известно, типичные кибернетические управляющие машины со всеми свойственными им чертами. Изучение и использование их возможностей в большой мере определило линию развития математической кибернетики.

Однако замечательно еще одно новое свойство, раскрытое современными математическими машинами перед наукой: возможность математических опытов, математического эксперимента. Благодаря этому многие математические закономерности, не поддающиеся прямому математическому анализу, становятся доступными математическим машинам. Известно, например, что на машинах можно исследовать закономерности поведения различных сложных систем, реализующих случайные процессы, статистическим образом проигрывая большое число вариантов их поведения и составляя заключения о вероятности того или иного течения процесса в целом.

Много говорилось в этой связи о самообучающихся автоматах, в которых происходит машинная обработка проведенных экспериментов и вырабатываются рекомендации на будущее. О некоторых других применениях такого вероятностного математического эксперимента речь будет идти ниже.

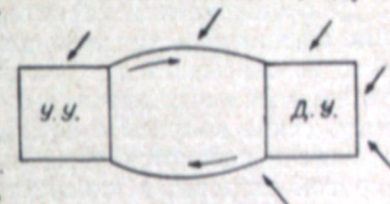
Кибернетика занимается изучением течения процессов управления и строения управляющих систем методами точных наук. Как видно, это не вся дискретная математика, а только часть ее.

В основе всякого управления лежит следующая схема.

Имеются два устройства — управляющее (У.У.) и действующее (Д.У.), соединенные между собой линиями связи. Верхняя — прямая связь, нижняя — обратная связь. Действующее устройство может совершать некоторый набор действий, направленных на изменение своего

состояния и состояния близлежащей части внешнего мира. Сигналы, идущие по линии прямой связи, служат для того, чтобы установить, какое из возможных действий Д.У. должно выполнить. Сигналы, идущие по линии обратной связи, информируют У.У. о том, как идут дела, какие встречены трудности и что из прежних распоряжений выполнено.

Всякая система такого характера имеет некоторую цель. Деятельность У.У. заключается в том, чтобы направлять действия Д.У. на достижение этой цели.



Отметим общие черты всех процессов управления: 1) наличие цели, 2) передача информации, 3) переработка информации, 4) наличие организованной системы, выполняющей эту переработку информации, 5) фон помех.

Простейшие устройства управления типа регулятора Уатта хорошо рассчитываются классическими методами и не нуждаются в новых подходах. Однако в современных условиях человечеству приходится иметь дело с чрезвычайно сложными управляющими системами, например с автоматизацией управления производством, системами управления жизнедеятельностью, народным хозяйством и др. Изучение таких систем не поддается классическим математическим методам и требует новых методов математического описания и исследования. Здесь особенно характерно описание процессов управления посредством дискретных схем — выявляются дискретные элементы управляющих систем, связанные между собой дискретными каналами связи, по которым передается информация, кодируемая дискретными сигналами. С другой стороны, сложным управляющим системам присуща иерархичность строения, когда автономные элементы сложных управляющих систем сами могут рассматриваться как управляющие системы. Приходится считаться с необходимостью управлять большим числом параметров и с большим разнообразием возможных течений процесса и внешних воздействий на него.

Очертим математические направления, возникающие при изучении процессов управления.

1. Теория информации (статистическая и комбинаторная), изучающая способы кодирования информации с целью увеличения пропускной способности каналов и их помехустойчивости.

2. Теория методов управления, включающая: а) теорию методов принятия решений, статические методы — линейное программирование, статистические методы, динамические методы — динамическое программирование, игровые методы; б) теорию методов реализации решений, прикладную теорию алгоритмов, разработку математического языка для описания процессов управления, теорию программирования для ЭВМ, включая вопросы автоматизации программирования; в) изучение строения и функционирования управляющих систем. Здесь, с одной стороны, детально изучаются некоторые простейшие классы управляющих систем, например контактные схемы, автоматы, с другой — разрабатывается общая система понятий, позволяющих единообразно описывать все известные управляющие системы и сопоставлять их между собой.

Одновременно идет изучение реальных управляющих систем, относящихся к технике, биологии или человеческому обществу с тем, чтобы выявлять новые общие задачи и результаты, добытые теорией, и сопоставлять их с действительностью.

Некоторые из перечисленных направлений представляют собой хорошо разработанные области математики, другие находятся еще в стадии становления.

Для кибернетики характерно, с одной стороны, широкое использование математических методов. При этом некоторый класс модельных объектов описывается математическим языком, формулируются свойства элементарных актов, выполняемых системой. Ставятся точные математические вопросы о функционировании систем или об их строении. Эти задачи решаются теми или иными математическими методами. С другой стороны, в кибернетике играют большую роль методы математического эксперимента или машинного моделирования. Нередко те или иные достаточно сложные и не поддающиеся теоретическому анализу управляющие системы моделируются в вычислительных машинах или других технических устройствах и их функционирование изучается на соответствующей модели. Во многих случаях оказывается плодотворным совместное использование обоих методов.

В этом смысле кибернетический эксперимент дополнил и развил то, что классическая математика делает с момента своего возникновения. Когда при изучении математической модели некоторого явления оказывается, что полное теоретическое исследование слишком трудно, то производятся некоторые математические эксперименты — детально рассматривается поведение модели для некоторых частных значений параметров. Рассмотрение результата ряда таких экспериментов позволяет понять, что нужно ожидать в общем случае, и таким образом облегчает подход к общей теории. Вычислительные машины расширяют сферу применения такого подхода как с точки зрения увеличения числа рассматриваемых вариантов, так и с точки зрения трудоемкости каждого из них.

В одной статье невозможно перечислить все, что делается во всех упомянутых направлениях, да в этом и нет необходимости. Мы ограничимся тем, что охарактеризуем состояние некоторых наиболее ярких областей и постараемся отметить, что в них является принципиально новым с математической точки зрения.

Одним из важных разделов проблематики, относящейся к изучению управляющих систем, является разработка методов синтеза управляющих систем с заданными функциями из элементов заданной природы. Здесь сначала возникает вопрос о принципиальной возможности синтеза, а затем вопрос о синтезе управляющих систем данного класса, наилучших с некоторой точки зрения. Для изучения подобных вопросов большое значение имеет работа на модельных объектах. В качестве модельного объекта очень удобны контактные схемы, реализующие данную функцию алгебры логики*. Возможность синтеза здесь обеспечена, и встает вопрос о синтезе схемы, имеющей минимальное число кон-

* Алгебра логики изучает функции, принимающие значение 0 или 1 и зависящие от нескольких переменных, также принимающих значение 0 или 1. Например, функция

$$f(x_1, x_2, x_3) = \begin{cases} 0, & \text{если все три аргумента или один какой-нибудь равен 1;} \\ 1, & \text{если лишь какие-нибудь два аргумента равны 1 либо все три аргумента равны 0.} \end{cases}$$

$$f(1, 1, 1) = f(1, 0, 0) = f(0, 1, 0) = f(0, 0, 1) = 0,$$

$$f(0, 1, 1) = f(1, 0, 1) = f(1, 1, 0) = f(0, 0, 0) = 1.$$

Такие функции можно изображать при помощи последовательного применения взятия максимума и взятия минимума, отправления от аргументов и их отрицаний. Отрицание переменной определяется и обозначается так: $\bar{x}=1$, если $x=0$ и $\bar{x}=0$, если $x=1$.

Определенная выше функция может быть изображена так:

тактов. При этом задача формулируется следующим образом. Дается точное определение контактной схемы, реализующей функцию алгебры логики. Описываются допустимые методы синтеза и ставится вопрос о построении такого алгоритма синтеза a , который для любой функции f алгебры логики приводит к схеме $s(f)$, реализующей эту функцию со следующим дополнительным требованием.

Обозначим через $l(s)$ число контактов схемы s , пусть $L(f) = \min_s l(s)$ есть наименьшее число контактов в схеме s , реализующей функцию f .

Пусть $L_a(f)$ — наименьшее число контактов в схеме, реализующей функцию f и синтезированной с помощью алгоритма a . Обозначим

$$L(n) = \max_{f \in P_n} L(f) \text{ и } L_a(n) = \max_{f \in P_n} L_a(f),$$

где P_n есть класс всех функций алгебры логики, зависящих от n переменных. Требование, налагаемое на алгоритм a , состоит в том, чтобы рост функции $L_a(n)$ с ростом n был возможно более близок к росту функции $L(n)$. Простейшая оценка $L(n)$ дается формулой К. Шеннона

$$\frac{2^n}{n} \leq L(n) < \frac{2^{n+2}}{n}.$$

В дальнейшем был построен алгоритм a синтеза контактных схем, где $L_a(n) \sim \frac{2^n}{n}$. Следовательно, $L(n) \sim \frac{2^n}{n}$. Оказалось, что этот алгоритм является асимптотически неулучшаемым. При этом для подавляющего большинства функций алгебры логики получаемые таким образом схемы близки к минимальным. Однако имеются такие функции, для которых общий метод синтеза очень невыгоден, так как для них возможны существенно более экономные схемы. Впрочем, доля таких функций, зависящих от n -переменных, стремится к нулю с ростом n .

Однако в ряде случаев практически важные функции алгебры логики как раз попадают в этот класс. В связи с этим возникает новый вопрос о выделении таких классов функций алгебры логики, для которых целесообразно иметь свои методы синтеза с тем, чтобы в пределах этих классов иметь более выгодную реализацию функций. Такие классы нельзя выбирать наудачу, особенности методов синтеза накладывающих некоторые ограничения на структуру реализуемых классов функций. Однако эти ограничения являются естественными и малостеснительными (инвариантность относительно перестановок переменных и подстановок констант). Для таких классов разработана теория синтеза, носящая метрический характер. Пусть Q — класс функций, удовлетворяющий указанному условию. 2^{2^n} — число всех функций алгебры логики с n

$$f(x_1, x_2, x_3) = \max[\min(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3), \min(\bar{x}_1, x_2, x_3), \min(x_1, \bar{x}_2, x_3), \min(x_1, x_2, \bar{x}_3)].$$

Такое изображение функций алгебры логики называется их нормальной формой. Вообще это изображение не однозначно, во многих случаях важно иметь нормальные формы с возможно меньшим числом букв. Например, при создании технических устройств, реализующих эти функции, для каждой буквы требуется свой контакт.

Этот аппарат используется в логике для вычисления истинности или ложности составных высказываний, если известны истинность или ложность исходных высказываний. При этом значение 1 отвечает истинным, а 0 — ложным высказываниям, тогда \max означает «или», а \min — «и».

Контактные схемы — это электрические сети, имеющие контакты и два полюса. При реализации функций алгебры логики контактными схемами каждой переменной и ее отрицанию соответствует один или несколько контактов. Эти контакты следует замкнуть, если переменная равна 1 и разомкнуть в случае, когда она равна 0. Такая схема реализует функцию алгебры логики, равную 1, если схема проводит ток между полюсами, и равную 0 в противном случае.

переменными, $L_Q(n)$ — число всех функций от n переменных, входящих в класс Q . Оказывается, что $\sqrt[n]{L_Q(n)}$ стремится для всякого инвариантного класса Q к пределу 2^σ , где $0 < \sigma \leq 1$. Число σ служит мерой густоты класса Q в классе всех функций алгебры логики. Для всякого инвариантного класса Q при $\sigma > 0$ С. В. Яблонским определен алгоритм a_Q синтеза, для которого $L_{a_Q}(n) \sim \frac{\sigma 2^n}{n}$. Такой алгоритм для функций класса Q экономнее, чем алгоритм годный для всех функций алгебры логики. Все же алгоритм строит схемы с довольно большим числом элементов. Однако относительно многих практически важных функций известно, что их можно включить в инвариантные классы, для которых $\sigma = 0$ (нулевые классы). Поэтому возникает вопрос о более детальном изучении нулевых классов и, в частности, вопрос о нахождении метрических характеристик нулевых классов, позволяющих оценивать алгоритмы синтеза. Возникающие здесь задачи очень трудны и результаты имеются пока лишь частные. В этих вопросах возникает ситуация, родственная той, которая возникла в начале века в метрической теории множеств. Сначала изучались функции, непрерывные на отрезке, затем функции, измеримые на множествах положительной меры, и затем возник вопрос о выяснении роли множеств меры нуль.

В практике синтеза управляющих систем возникают три возможности:

1. Построить алгоритм синтеза, охватывающий интересующий нас класс управляющих систем, и ограничиться тем, что даст такой метод.
2. Идти по пути полного перебора всех управляющих систем с ограниченным числом элементов и выбирать из них те системы, которые желательны. Этот метод в большинстве случаев недопустимо трудоемок.
3. Некоторым достаточно эффективным алгоритмом синтезировать начальный вариант управляющей системы, а затем, пользуясь заранее фиксированной системой приемов, упрощать и совершенствовать его монотонным образом (т. е. так, чтобы каждый шаг уменьшал сложность объекта) и ограничиваться получением объекта, не улучшаемого этими приемами.

Для сравнительного изучения возможности таких конструкций на модельном объекте были выбраны алгоритмы упрощения нормальных форм функций алгебры логики.

Оказалось, что малотрудоемких алгоритмов, дающих во всех случаях максимальное упрощение нормальной формы, не существует. Однако все алгоритмы упрощения нормальных форм распадаются на классы по тому, насколько полно они используют информацию о строении упрощаемой нормальной формы. В каждом из этих классов удалось построить наиболее эффективный алгоритм. При этом все известные ранее алгоритмы оказались лежащими в первом классе. Всех классов — счетное множество, и для каждого можно построить нормальную форму, которая им не упрощается. В то же время удается выделить и описать типы нормальных форм, которые заведомо максимально упрощаются алгоритмами низких классов.

Системы монотонных упрощений синтезируемых объектов неоднозначны. Коль скоро описан класс допустимых упрощений, выделяется класс тупиковых (неупрощаемых) объектов, эквивалентных данному.

Возникает вопрос о том, чтобы ограничиваться тупиковым объектом, однако при этом основная задача состоит в том, чтобы установить, насколько тупиковый объект хуже, чем искомый, минимальный. Этот вопрос изучен на тех же нормальных формах функций алгебры логики.

Оказывается, что тупиковая форма функций от n переменных может быть в $2^n - V^n$ раз сложнее минимальной (сложность — число букв). Таким образом, замена минимального объекта тупиковым легко может оказаться невыгодной. Все это говорит о том, что очень важно продолжать исследование специальных классов объектов, для которых возможно построение хороших алгоритмов.

В некоторых случаях важно иметь индивидуальные строго минимальные управляющие системы. Поскольку общие методы для построения таких систем не годятся, были построены строго минимальные контактные схемы для функций алгебры логики от 4 переменных (имеется 402 типа таких функций).

Появление вычислительных машин поставило на очередь вопрос о выработке рациональных методов программирования, уменьшении его трудоемкости. С этой целью были выделены типичные стандартные элементы программ, операторы счета, несколько типов операторов управления (переадресации, формирования и др.) и определены логические условия, определяющие порядок их работы, была разработана система представления машинных алгоритмов в виде логических схем программ. Появилась возможность формальных преобразований структуры алгоритмов с целью поисков рациональных форм программ; с другой стороны, типизация основных частей программ, так сказать, «крупноблочное строительство» программ, дала возможность автоматического построения программы при наличии логической схемы программы и некоторого описания составляющих ее операторов.

Выяснилось, что наибольший выигрыш можно получить, если способ автоматизации программирования приспособлен к некоторому классу однотипных задач.

Такой путь был осуществлен для программирования задач машинного перевода. Он был доведен до осуществления специальной компилирующей программы, что снизило трудоемкость программирования не менее чем в 50 раз.

Здесь возникает далеко идущая аналогия с положением в управляющих системах, где универсальные алгоритмы оказываются недопустимо трудоемкими и где приходится выделять более узкие классы объектов, для которых строятся значительно более эффективные алгоритмы синтеза.

Во многих случаях, связанных с передачей и переработкой информации, приходится иметь дело с приближенной реализацией тех или других оптимальных режимов. Мы всегда сталкиваемся при этом со своеобразной дилеммой: либо добиваться особенно хорошего режима, не считаясь с трудоемкостью его получения, либо экономить затраты на нахождение окончательного режима, но зато ограничиваться более грубым приближением к оптимуму. Возникает необходимость в некотором сопоставлении различных подходов к решению таких задач. Этому кругу вопросов были посвящены исследования советских и иностранных авторов. При изучении способов кодирования информации сигналами определенного канала с целью увеличения его пропускной способности и борьбы с помехами удобно ввести понятие энтропии группы событий. Пусть имеются попарно исключаящие друг друга и в сумме достоверные события A_1, \dots, A_n , которые происходят с вероятностями P_1, \dots, P_n соответственно. Величину $-\sum P_i \log P_i$ называют энтропией этой системы событий. Эта величина характеризует степень неопределенности ситуации перед испытанием, происходящим по данной схеме.

При сопоставлении эффективности и трудоемкости в качестве модельного объекта были использованы алгоритмы вычисления функций,

принадлежащих к некоторому определенному классу с наперед заданной точностью ϵ . При этом класс функций характеризуется числом переменных, областью определения и степенью гладкости функций (локальными дифференциальными свойствами). Класс соответствующих алгоритмов вычисления характеризуется двумя параметрами: объемом памяти k (число двоичных параметров класса алгоритмов) и числом операций q , которые нужно выполнить при вычислении функции. Вообще говоря, ясно, что увеличивая k , можно уменьшать q и наоборот. Но какое изменение одного из тех чисел необходимо для компенсации другого — заранее не известно.

В ряде работ было показано, что для широкого круга практически важных классов функций имеет место

$$k \log q \geq H_\epsilon,$$

где H_ϵ есть ϵ -энтропия соответствующего класса функций. Она вычисляется таким образом. Пусть N_ϵ есть наименьшее подмножество данного класса функций, в котором для каждой функции этого класса найдется функция сравнения, отличающаяся от исходной не более, чем на ϵ . Тогда H_ϵ есть логарифм числа элементов множества N_ϵ . Оказывается, что в некоторых случаях это единственное ограничение на k и q .

Подобные исследования ведутся в настоящее время применительно к алгоритмам, решающим более узкие классы задач, например те или другие краевые задачи для численного решения уравнений в частных производных.

Многие кибернетические задачи приводят к нахождению тех или иных оптимальных режимов. В общем случае это сводится к решению различных классов вариационных задач. Прежде всего существенно выявление этих задач и их точная постановка. Далее возникает вопрос о нахождении решений или приближений к решениям. В некоторых случаях решение таких задач возможно с помощью тех или иных аналитических методов (линейное программирование, динамическое программирование, работы Понтрягина и т. д.). Однако подчас сложность ситуации такова, что аналитические методы становятся неприменимыми (исследование операций, управление производством, задачи машинного перевода и т. д.). В этих случаях очень плодотворны машинные модели соответствующих процессов. Программным путем в машине осуществляется модель изучаемой управляющей системы, и методом статистического проигрывания получается достаточное количество реализаций процесса. При этом можно варьировать различные параметры процесса. Такой метод позволяет находить рациональные режимы управления и подсказывает некоторые математические закономерности, присущие данным ситуациям. Например, было обнаружено, что для задач многоканального массового обслуживания наряду со средней интенсивностью поступающих запросов существенную роль играет количество информации о будущем, содержащееся в прошлом. В то же время знаний обеих характеристик для многих вопросов, связанных с организацией систем массового обслуживания, достаточно. Необходимо отметить, что машинное моделирование реальных процессов позволяет изучать многие сложные явления, в отношении которых непосредственный эксперимент невозможен либо в силу большой трудоемкости, либо из-за очень больших затрат. Такого рода работы в настоящее время получают все большее распространение.

Большой комплекс машинно-экспериментальных работ проводится в ВЦ АН УССР. Заложены основы общей алгебраической теории автоматов, где проведена систематизация проблематики этой теории, и на

ее основе получены методы машинного синтеза автоматов. Производятся исследования самонастраивающихся систем. Ведутся эксперименты на некоторой упрощенной модели биологической эволюции. В экспериментах получены некоторые ориентировочные представления об асимптотическом режиме популяций автоматов при тех или иных режимах внешней среды.

В вычислительной машине программным путем реализована модель, в которой некоторая группа автоматов функционирует в определенной «внешней среде». В некоторых пунктах автоматы получают определенные «материальные блага» (пищу). Долгое время оставаясь без пищи, автомат погибает. Пункты «питания» перемещаются закономерным образом, но так, что закон их движения автоматам неизвестен. Автоматы способны варьировать свое поведение (мутировать). Кроме того, они способны размножаться, передавая потомкам особенности своего поведения. Среда путем отбора элиминирует неудачные автоматы.

В зависимости от значений некоторых параметров, характеризующих условия эксперимента, система автоматов либо погибает, либо приспособляется к условиям среды.

В дальнейшем было бы желательно изучение таких систем автоматов, способных к обмену информацией на некотором определенном языке. Интересны эксперименты с аналогичной системой, способной в процессе эволюции совершенствовать язык, на котором происходит обмен информацией. В настоящее время в порядке подхода к этой задаче в ВЦ УССР ведутся эксперименты по выработке понятий автоматами и по построению автоматами осмысленных предложений.

Методике таких работ необходимо уделять большое внимание. В то же время следует опасаться кустарного подхода к подобным задачам, так как это приводит к мало вразумительным выводам и непроизводительному расходу машинного времени. С другой стороны, осмысленные результаты в трудных задачах могут быть получены только при точной постановке задачи, адекватном машинном эксперименте и строго обоснованной обработке результатов наблюдения.

Развитие методов машинного эксперимента требует своего рода опытного поля, т. е. такого объекта, на котором разные подходы могут опробоваться и на котором можно сопоставлять сравнительную эффективность различных экспериментальных методов. Роль такого опытного поля в настоящее время выполняют задачи машинного перевода. Остановимся вкратце на методической стороне этих работ.

На первых порах основные усилия были направлены на разработку алгоритма перевода с французского языка на русский, рассчитанного на математические тексты. При этом были формализованы лишь грамматические сведения об отдельных словах (часть речи, грамматическая форма слова). Далее был построен алгоритм перевода с английского на русский также на материале математических текстов. Тут формализация коснулась не только слов, но и словосочетаний. Было введено понятие грамматической конфигурации, т. е. неделимой комбинации слов, из которых строится всякое предложение. Это понятие было в дальнейшем детально изучено в рамках математических моделей языков. В настоящее время получены экспериментальные переводы отрывков с французского на русский и идут экспериментальные переводы с английского на русский. Выяснилась нецелесообразность построения алгоритмов перевода, универсальных для некоторой пары языков. Гораздо более эффективно приурочивать алгоритмы перевода к текстам из определенной области — это уменьшает степень разнообразия структур фраз и степень омонимичности. Основная часть алгоритма остается неизмен-

ной для данной пары языков, но приспособление алгоритма к определенной области сильно сокращает время его работы над теми текстами, для которых он предназначен. Здесь опять проявляется тот же конфликт между универсальностью работы алгоритма и его эффективностью. С другой стороны, выяснилась возможность составления множественных алгоритмов перевода для целой группы языков: для перевода с любого языка этой группы на любой другой из них. Удалось построить типические способы описания строения предложений, пригодные для самых различных языков, в таких терминах, которые оказались удобными для установления переводческих соответствий. Это позволило выделить стандартные типы элементарных переводческих правил и, наконец, стандартные способы установления этих правил из рассмотрения содержания текстов. В последнее время разработан некоторый общий порядок для построения алгоритмов перевода и дан способ машинной выработки переводческих правил.

Сейчас наиболее вероятным представляется путь следующей реализации машинного перевода. Нужно иметь общую основу алгоритма для перевода с одного языка на другой и дополнение к ней, приспособляющее ее к конкретным областям. По мере того, как будет появляться необходимость в переводческом обслуживании все новых и новых областей, нужно иметь систематически работающую службу, которая стандартными способами могла бы вырабатывать необходимые дополнения алгоритмов. Таким образом, и здесь оказывается целесообразной организация работ по иерархическому принципу. Существенно, что основной комплекс экспериментальных работ по машинному переводу проводился так, что каждый следующий этап экспериментов был связан с углублением автоматизации. В начале формализовались сведения о словах, затем сведения о словосочетаниях, далее автоматизировался процесс программирования и, наконец, процесс выработки правил.

В настоящее время при Институте научной информации организован центр для практической реализации машинного перевода.

Первые работы по машинному переводу были основаны на структурном грамматическом анализе, при котором смысл текста не формализовался.

Значительно более трудным, но, может быть, и более перспективным для отдаленного будущего является такой путь построения переводческих алгоритмов, при котором формализуется смысл текста.

Другим плодотворным объектом для машинного эксперимента является расшифровка неизвестных письменностей. Ярким примером являются работы по расшифровке письменности майя.

Современные методы дешифрации неизвестных письменностей требуют большой технической работы по прослеживанию различных вариантов дешифраций. Даже когда речь идет о текстах на известном языке, но написанных неизвестным алфавитом (неизвестным кодом), имеется огромное число способов сопоставления элементов языка со знаками алфавита. Перебор всех таких возможностей абсолютно недоступен. Здесь сокращение трудоемкости достигается путем сопоставления частоты встречаемости определенных знаков алфавита или их комбинаций в определенных местах текста, например, в начале или конце фразы (слова), частотой встречаемости определенных звуков и слогов на тех же местах. Если можно считать, что знаки алфавита изображают отдельные слога или звуки языка, то статистика позволяет подобрать для каждого знака ряд достаточно правдоподобных его значений. После этого нужно выяснить, какие участки текста приобретают осмысленное значение при том или ином прочтении данного знака (или некоторой

группы знаков) с учетом всего того, что уже установлено для статистически более достоверных знаков. Знаки алфавита кодируются посредством чисел, после чего проведение статистики осуществляется машинами. В машину вводятся значения ранее расшифрованных знаков. Тогда машина при помощи специальной программы выдает варианты расшифровок тех кусков текста, которые состоят из уже определенных знаков и знаков, определяемых в настоящий момент. Окончательный выбор расшифровок осуществляет человек, отбирающий осмысленные варианты текстов. В работе по расшифровке рукописей майя удалось удачно сочетать работу человека, который оценивал смысл текста, и работу машины, которая выполнила огромное число технических сопоставлений.

Мы видим, что математическая проблематика кибернетики постепенно выливается в некоторую стройную область, назначение которой состоит в решении математических задач, необходимых для рациональной организации переработки информации. Такие задачи имеют фундаментальное значение для эффективной организации управления. Многие из тех задач возникают в связи с эксплуатацией электронных вычислительных машин. Для этой области характерно сочетание математических конструкций с машинно-математическим экспериментом.

Проблематика этой области быстро расширяется; впереди много увлекательной работы.

Б. Н. ДЕВЯТОВ, Ю. Н. КОРНЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ РЯДОВ БУРМАНА — ЛАГРАНЖА
ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Определение переходных режимов для широкого класса химико-технологических аппаратов ввиду типичности для них противоточных или прамоточных процессов связано с анализом систем общих основных уравнений с частными производными [1—3].

Для таких систем, являющихся объектами с распределенными параметрами, в большинстве случаев нецелесообразно выяснять точные решения уравнений, так как их выражения либо громоздки, либо вообще не поддаются определению. Соответствующие передаточные функции определяются легче, но являются трансцендентными и их непосредственный анализ весьма затруднителен.

Поэтому особое значение приобретают косвенные методы построения соответствующих решений уравнений для передаточной функции в виде сходящегося ряда без непосредственного решения уравнений с частными производными. Для этой цели весьма эффективно могут быть использованы ряды Бурмана—Лагранжа [4, 5]. При этом выбор того или иного конкретного вида ряда Бурмана—Лагранжа обусловлен, с одной стороны, требованием наибольшей точности описания определенной части переходного процесса, с другой — характером самого переходного процесса, близостью его к некоторой простой функциональной зависимости.

Из физических соображений и по экспериментальным данным видно, что процессы, соответствующие общим уравнениям взаимодействия движущихся сред в технологических аппаратах, при ступенчатом возмущении являются для большинства случаев монотонными и ограниченными. Характер протекания этих процессов близок к экспоненциальной зависимости [6].

Эти особенности переходной функции учтены при конкретном выборе ряда Бурмана—Лагранжа с целью обеспечения на практике достаточно быстрой его сходимости.

Следует отметить, что принятый нами частный вид ряда лучше приближает передаточные функции объектов с неколебательными ограниченными переходными характеристиками, еще лучше с монотонными. С другой стороны, принципиально можно построить ряд Бурмана—Лагранжа другого вида, лучше приближающий колебательно-затухающие процессы, процессы, типичные для систем автоматического регулирования. В этом смысле ценным является универсальность рассматриваемого метода описания переходных процессов.

§ 1. РАЗЛОЖЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ЛАПЛАСУ — КАРСОНУ
В РЯДЫ БУРМАНА — ЛАГРАНЖА

Ряды Бурмана—Лагранжа [4, 5] получаются при разложении одной аналитической функции $F(p)$ по степеням другой аналитической функции $\omega(p)$,

$$F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n [\omega(p)]^n. \quad (1)$$

Для получения значений коэффициентов d_n ряда (1) следует предположить, что $F(p)$ и $\omega(p)$ правильны в некоторой области D , причём $\omega(p)$ должна иметь в некоторой точке a , входящей в эту область, нуль первого порядка*. Выбирается контур C так, чтобы \bar{D} содержала в себе точку a , а $F(p)$ и $\omega(p)$ были в \bar{D} правильны. В этом случае можно записать

$$F(p) = H[\omega(p)] = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{F(\zeta) \omega'(\zeta)}{\omega(\zeta) - \omega(p)} d\zeta, \quad (2)$$

где ζ — значение p на контуре C .

Если $\left| \frac{\omega(p)}{\omega(\zeta)} \right| < 1$ для всех точек на контуре C , то подынтегральную функцию в (2) можно разложить в равномерно сходящийся ряд

$$F(\zeta) \frac{\omega'(\zeta)}{\omega(\zeta)} \frac{1}{1 - \frac{\omega(p)}{\omega(\zeta)}} = \frac{F(\zeta) \omega'(\zeta)}{\omega(\zeta)} \left\{ 1 + \frac{\omega(p)}{\omega(\zeta)} + \dots + \left[\frac{\omega(p)}{\omega(\zeta)} \right]^n + \dots \right\},$$

интегрируя который почленно, можно получить ряд вида (1) и его коэффициенты будут иметь величину

$$d_n = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{F(\zeta) \omega'(\zeta)}{[\omega(\zeta)]^{n+1}} d\zeta, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Подынтегральная функция в (3) в точке a имеет полюс порядка $(n+1)$, поэтому, вычисляя вычет, можно найти выражение для d_n в виде:

$$d_n = \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow a} \frac{d^n}{dp^n} \left[\frac{F(p) \omega'(p) (p-a)^{n+1}}{[\omega(p)]^{n+1}} \right], \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Применение рядов Бурмана—Лагранжа при разложении функций, представленных интегралом Лапласа, ограничено некоторыми условиями. В частности, в качестве элемента разложения $\omega(p)$ должна быть выбрана аналитическая функция, также представимая абсолютно сходящимся интегралом Лапласа [7]. При этом областью равномерной сходимости ряда (1) будет полуплоскость $\text{Re } p > \sigma_1$, где интегралы Лапласа $F(p)$ и $\omega(p)$ абсолютно сходятся. Кроме того, для всех значений p в этой полуплоскости должно соблюдаться неравенство

$$\left| \frac{\omega(p)}{\omega(\sigma_1 + i\tau)} \right| < 1.$$

Из представимости функций $F(p)$ и $\omega(p)$ абсолютно сходящимся интегралом Лапласа следует, что имеют смысл соответствия

$$F(p) \doteq f(t); \quad \omega^n(p) \doteq \varphi_n(t),$$

где $f(t)$ и $\varphi_n(t)$ — оригиналы функций.

* Этого положения легко добиться, раскладывая $F(p)$ в ряд по степеням функции: $\omega_1(p) = \omega(p) - \omega(a)$. В тексте предполагается, что $\omega(a) = 0$.

Далее, применяя для вычисления $f(t)$ формулу обращения, будем иметь [7]:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \frac{d}{dt} \int_{\Gamma-i\infty}^{\Gamma+i\infty} \frac{F(p)e^{pt}}{p^2} dp = \frac{1}{2\pi i} \sum_{n=0}^{\infty} d_n \frac{d}{dt} \int_{\Gamma-i\infty}^{\Gamma+i\infty} e^{pt} \frac{\omega^n(p)}{p^2} dp,$$

а так как

$$\varphi_n(t) = \frac{1}{2\pi i} \frac{d}{dt} \int_{\Gamma-i\infty}^{\Gamma+i\infty} \frac{\omega^n(p)}{p^2} e^{pt} dp,$$

то

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n \varphi_n(t). \quad (5)$$

§ 2. О РАЗЛОЖЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ $F(p)$ В РЯД МАКЛОРЕНА

Для облегчения расчета коэффициентов d_n по формуле (4) будем использовать свойства разложения $F(p)$ в ряд Маклорена. Коэффициенты ряда Маклорена для изображения функции $f(t)$ по Лапласу—Карсону имеют определенный геометрический смысл и связаны с величинами моментов функции.

Если существует $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$ и для интеграла Лапласа—Карсона $\int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt$ абсцисса сходимости $\sigma_c < 0$, то $F(p)$ можно разложить в ряд по целым степеням p

$$\begin{aligned} F(p) &= p \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt = -e^{-pt} f(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-pt} df(t) = \\ &= f(\infty) - p \frac{1}{1!} \int_0^{\infty} t df(t) + p^2 \cdot \frac{1}{2!} \int_0^{\infty} t^2 df(t) - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{C_n}{n!} p^n, \end{aligned}$$

где $C_0 = f(\infty)$, $C_n = \int_0^{\infty} t^n df(t)$ — обобщенные моменты функции $f(t)$.

Очевидно, что

$$(-1)^n C_n = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^n}{dp^n} F(p).$$

Обозначим

$$S_n = \frac{C_n}{n!} = (-1)^n \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^n}{dp^n} F(p). \quad (6)$$

Введение величины S_n в дальнейшем значительно облегчит вычисления. Кроме того, S_n имеет важное геометрическое толкование, которое можно выяснить, рассматривая значения следующих интегралов.

Выражению $\int_0^t [f(\infty) - f(t)] dt$ соответствует изображение $\frac{F(0) - F(p)}{p}$.

Определяя предельную величину этого интеграла при $t \rightarrow \infty$, получим

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [f(\infty) - f(t)] dt = \lim_{p \rightarrow 0} \left[\frac{F(0) - F(p)}{p} \right] = - \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d}{dp} F(p).$$

Таким образом,

$$S_1 = - \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d}{dp} F(p) = \int_0^{\infty} [f(\infty) - f(t)] dt.$$

Следовательно, величина S_1 численно равна площади, заключенной между кривой переходного процесса, изображением которого является $F(p)$, и прямой, соответствующей установившемуся значению $f(\infty)$. Далее, обозначая через $S_1(t)$ интеграл

$$S_1(t) = \int_0^t [f(\infty) - f(t)] dt$$

и определяя предельное значение следующего интеграла

$$S_2(t) = \int_0^t [S_1(\infty) - S_1(t)] dt,$$

получим

$$S_2 = \frac{1}{2!} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^2}{dp^2} F(p) = \int_0^{\infty} [S_1(\infty) - S_1(t)] dt,$$

из которого становится ясным геометрический смысл величины S_2 .

Следуя таким путем, можно заключить, что

$$S_n = (-1)^n \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^n}{dp^n} F(p) = \int_0^{\infty} [S_{n-1}(\infty) - S_{n-1}(t)] dt. \quad (7)$$

В соответствии с геометрическим, а отсюда и физическим смыслом величины S_n назовем ее обобщенной инерционностью или инерционностью n -го порядка данного процесса, описываемого функцией $f(t)$.

Отметим два свойства обобщенных инерционностей*.

1. Если для монотонно-возрастающей функции $f(t)$, начиная с некоторого $t > T$, имеет место равенство $f'(t) = 0$, т. е. если $f(t)$ растет только на интервале $(0, T)$, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{S_{n+1}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n+1}{T} = \infty.$$

В дальнейшем нас будут интересовать такие изображения $F(p)$, которые являются мероморфными функциями в общем случае с бесконечным числом полюсов и с условием, что ближайший к мнимой оси полюс p_1 простой и вещественный.

2. Для таких функций справедливо соотношение

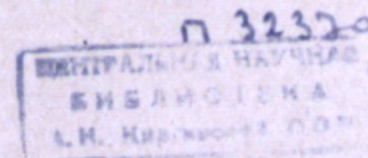
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{S_{n+1}} = |p_1|. \quad (8)$$

Действительно, $F(p)$ можно записать в виде

$$F(p) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m p}{p + p_m}, \quad (9)$$

где $|p_1| < |p_2| \leq |p_3| \leq \dots$, причем a_0, a_m — вещественные постоянные.

* Понятие инерционности введено Б. Н. Девятковым с целью отражения важного физического смысла этой величины, как прямого обобщения представления о постоянной времени объекта [8]. Очевидно, что в математическом смысле здесь нет принципиальной разницы с моментом функции, поскольку $C_n = n! S_n$.



При этом условии, проводя простые преобразования, находим

$$\begin{aligned} F(p) &= \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m p}{p + p_m} + a_0 = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m p}{p_m} \cdot \frac{1}{1 + \frac{p}{p_m}} = \\ &= a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} a_m \left(\frac{p}{p_m}\right)^{n+1} (-1)^n = a_0 - \\ &- \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+1} p^{n+1} \sum_{m=1}^{\infty} a_m \left(\frac{1}{p_m}\right)^{n+1}, \quad S_n = \sum_{m=1}^{\infty} a_m \left(\frac{1}{p_m}\right)^n (-1)^n. \end{aligned}$$

Отсюда получим

$$\frac{S_n}{S_{n+1}} = |p_1| \frac{1 + \sum_{m=2}^{\infty} \frac{a_m}{a_1} \left(\frac{p_1}{p_m}\right)^n}{1 + \sum_{m=2}^{\infty} \frac{a_m}{a_1} \left(\frac{p_1}{p_m}\right)^{n+1}}, \quad (10)$$

переходя к пределу при $n \rightarrow \infty$, приходим к равенству (8).

Таким образом, отношение обобщенных инерционностей стремится к абсолютной величине наименьшего по модулю корня знаменателя в разложении мероморфной функции.

Последнее свойство замечательно тем, что предел отношения обобщенных инерционностей определяет абсциссу сходимости $F(p)$, которая, в свою очередь, определяет степень затухания функции $f(t)$.

§ 3. ПРИМЕРЫ РАЗЛОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ $F(p)$ ФУНКЦИИ $f(t)$ В РЯДЫ БУРМАНА—ЛАГРАНЖА

1. Предположим, что в ряде (1) $\omega(p)$ имеет вид

$$\omega(p) = \frac{p}{p + \lambda},$$

где λ — положительное число.

Тогда

$$F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n \left(\frac{p}{p + \lambda}\right)^n. \quad (11)$$

Учитывая соотношения (4), (7), коэффициенты d_n определяем по формуле

$$d_n = \sum_{m=0}^{n-1} (-1)^{n-m} C_{n-1}^m \lambda^{n-m} S_{n-m}. \quad (12)$$

При этом $C_{n-1}^m = \frac{(n-1)!}{m!(n-m-1)!}$ — биномиальный коэффициент.

Ряду (11) соответствует разложение в ряд функции $f(t)$, которое имеет вид

$$f(t) = f(\infty) + e^{-\lambda t} \sum_{n=1}^{\infty} d_n L_{n-1}(\lambda t), \quad (13)$$

где $L_n(\lambda t)$ — полином Лагерра.

Ряд (13) является разложением функции $f(t)$ по собственным функциям, поэтому он сходится равномерно относительно t на интервале (t, ∞) , где $t > 0$, для произвольных конечных значений $\lambda \neq 0$. Это обстоятельство позволяет накладывать на величину λ определенные дополнительные требования. В частности, λ может быть выбрана из условия точного равенства какой-нибудь частичной суммы всего ряда, т. е. $f(t)$, для некоторой точки t . С другой стороны, выбор значения λ может быть сделан из других соображений, например с целью усиления сходимости ряда в среднем.

Заметим, что частичная сумма ряда (13) является асимптотическим приближением функции $f(t)$ при большом значении t . Так как при больших значениях t затухание функции $f(t)$, изображением которой является мероморфная функция вида (9), определяет абсцисса сходимости, а затухание частичной суммы определяет величина λ , то, очевидно, за величину λ в этом случае можно принять

$$\lambda = |p_1| = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{S_{n+1}}. \quad (14)$$

Более того, если в выражении (10) выполнено условие

$$\left| \sum_{m=2}^{\infty} \frac{a_m}{a_1} \left(\frac{p_1}{p_m}\right)^n \right| \ll 1, \quad \text{при } n = 1, \quad (15)$$

т. е. если функция $f(t)$ близка к экспоненциальной функции на всем интервале $(0, \infty)$, за исключением некоторого начального участка $(0, t_1)$, то отношение $\frac{S_n}{S_{n+1}}$ будет стремиться к $|p_1|$ настолько быстро, что за значение λ можно принять отношение

$$\lambda = \frac{f(\infty) - f(0)}{S_1}. \quad (16)$$

2. В некоторых случаях изображение $F(p)$ функции $f(t)$ можно представить в виде произведения двух функций

$$F(p) = F_1(p) \cdot F_2(p),$$

где одна из функций $F_1(p)$ является мероморфной, в общем случае, с бесконечным числом полюсов, а вторая $F_2(p)$ имеет лишь конечное число критических точек типа $\frac{1}{\sqrt{p^n - a^n}}$, $(n = 1, 2, \dots)$. Пусть при этом

обе функции представимы абсолютно сходящимися интегралами Лапласа с абсциссами сходимости $\sigma_c < 0$. В этом случае для упрощения анализа и расчета $f(t)$ можно применить разложение в ряд Бурмана—Лагранжа только одной функции $F_1(p)$.

Иллюстрацией такого метода может служить разложение оригинала $f(t)$ по функциям параболического цилиндра вида

$$\psi_n(t) = \frac{1}{\sqrt{n! \sqrt{2\pi}}} e^{-\frac{t^2}{4}} \text{He}_n(t),$$

где $\text{He}_n(t)$ — полином Эрмита порядка n .

Далее определим коэффициент разложения. Предположим, что изображение $F(p)$ представимо в виде

$$F(p) = \frac{1}{\sqrt{p + 2a}} F_1(p),$$

$F_1(p)$ — мероморфная функция, правильная в точке $p=0$. В этом случае $F_1(p)$ можно представить в виде ряда Бурмана—Лагранжа

$$F_1(p) = \sqrt{p+2a} F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n [\omega(p)]^n,$$

где

$$d_n = \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^n}{dp^n} \left\{ \frac{\sqrt{p+2a} F(p) \omega'(p) p^{n+1}}{[\omega(p)]^{n+1}} \right\}.$$

Положим $\omega(p) = \frac{p}{p+2a}$, тогда

$$d_n = 2a \sum_{m=0}^n (-1)^m \frac{(n-\frac{1}{2})(n-\frac{3}{2}) \dots (n-m+\frac{1}{2})}{(n-m)!} S_m(2a)^{n-m-\frac{1}{2}}.$$

Очевидно, что разложение в ряд $F(p)$ будет иметь вид

$$F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n \left(\frac{p}{p+2a} \right)^n \frac{1}{\sqrt{p+2a}}, \quad (17)$$

после перехода в область действительного переменного t получим

$$f(t) = f(\infty) \operatorname{erf} \sqrt{2at} + \sum_{n=1}^{\infty} d_n (-1)^{n-1} \frac{(n-1)! 2^{n-1}}{\sqrt{\frac{a}{2}} (2n-1)! \sqrt{2\pi}} e^{-at} \psi_{2n-1}(2\sqrt{at}).$$

Обозначим

$$b_n = (-1)^{n-1} d_n \frac{(n-1)! 2^{n-1}}{\sqrt{\frac{a}{2}} (2n-1)! \sqrt{2\pi}},$$

и полученный ряд примет вид

$$f(t) = f(\infty) \operatorname{erf} \sqrt{2at} + e^{-at} \sum_{n=1}^{\infty} b_n \psi_{2n-1}(2\sqrt{at}). \quad (18)$$

Разложение в ряд функций $f(t)$ (18) можно представить также в следующем виде:

$$[f(t) - f(\infty) \operatorname{erf} \sqrt{2at}] e^{at} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \psi_{2n-1}(2\sqrt{at}),$$

и равномерная сходимость последнего ряда становится очевидной, так как функции ψ_{2n} — собственные функции.

3. Полученные ряды (11) и (17) являются равномерными приближениями $F(p)$ в некоторой полуплоскости $\operatorname{Re} p > \sigma_c$, и их частные суммы дают точные значения $F(p)$ при $p=0$, так как сумма всех членов рядов, начиная со второго, равна нулю в этой точке.

Можно построить равномерно сходящиеся ряды для $F(p)$, частные суммы которых дают точное значение функции в любой другой заданной точке полуплоскости ее сходимости. Очевидно, что в этом отношении особую роль играют две точки: $p=0$ и $p=\infty$.

Хотя с помощью разложений в ряд $F(p)$ вида (11) и (17) можно дать приближенную характеристику функции при $p=\infty$, иногда тре-

буется более точное ее представление для больших p , что соответствует условию $t \approx 0$.

Для получения ряда, частичные суммы которого дают точное значение $F(p)$ в точке $p=\infty$, сделаем в функции $F(p)$ подстановку $p = \frac{1}{q}$. Получим

$$F(p) = F\left(\frac{1}{q}\right) = \Phi(q).$$

Если $F(p)$ правильна в точке $p=\infty$, то имеет смысл разложение:

$$\Phi(q) = \Phi(0) + \Phi'(0) \cdot \frac{1}{p} + \frac{\Phi''(0)}{2!} \frac{1}{p^2} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Phi^{(n)}(0)}{n!} \frac{1}{p^n}. \quad (19)$$

Выражению (19) в области p соответствует в области t ряд вида:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Phi^{(n)}(0)}{(n!)^2} t^n. \quad (20)$$

Сопоставляя ряд (20) с рядом Маклорена для $f(t)$, получаем

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{d^n}{dt^n} f(t) = \frac{1}{n!} \lim_{q \rightarrow 0} \frac{d^n}{dq^n} \Phi(q). \quad (21)$$

Отсюда ряд (19) можно записать следующим образом:

$$\Phi(q) = F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(0) \frac{1}{p^n} = \sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(0) q^n. \quad (22)$$

Для обращения ряда (22) в ряд Бурмана—Лагранжа вида (1) положим

$$\omega(q) = \frac{q}{q+r} = \frac{1}{1+pr}. \quad (23)$$

В этом случае ряд Бурмана—Лагранжа будет иметь вид

$$F(p) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n \left(\frac{1}{p + \frac{1}{r}} \right)^n \frac{1}{r^n}, \quad (24)$$

где коэффициенты d_n имеют значение

$$d_n = \frac{1}{n!} \lim_{q \rightarrow 0} \frac{d^n}{dq^n} \left\{ \frac{\Phi(q) \omega'(q) q^{n+1}}{[\omega(q)]^{n+1}} \right\} = \sum_{m=0}^{n-1} C_{n-1}^m r^{n-m} f^{(n-m)}(0).$$

Объединяя соответствующие члены, получим выражение для коэффициентов ряда (24) при члене $\left(\frac{1}{p + \frac{1}{r}} \right)^n$

$$d_{n1} = d_n \frac{1}{r^n} = \sum_{m=0}^{n-1} C_{n-1}^m r^{-m} f^{(n-m)}(0).$$

Обозначая $\frac{1}{r} = \lambda$, перепишем ряд (24) в виде

$$F(p) = \sum_{m=0}^{\infty} d_m \left(\frac{1}{p + \lambda} \right)^m, \quad (25)$$

где

$$d_m = \sum_{n=0}^{m-1} C_{m-1}^n \lambda^n f^{(m-n)}(0).$$

Так как существует соответствие [9]

$$\left(\frac{1}{p+\lambda}\right)^n \doteq \lambda^{-n} [1 - e^{-\lambda t} e_{n-1}(\lambda t)],$$

где

$$e_n(z) = 1 + \frac{z}{1!} + \frac{z^2}{2!} + \dots + \frac{z^n}{n!},$$

то ряду (25) в области p соответствует разложение функции $f(t)$ в ряд

$$f(t) = f(0) + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \lambda^{-n} [1 - e^{-\lambda t} e_{n-1}(\lambda t)].$$

§ 4. РАЗЛОЖЕНИЯ В РЯДЫ БУРМАНА—ЛАГРАНЖА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ЗАВИСЯЩИХ ОТ ПАРАМЕТРА

При исследовании объектов с распределенными параметрами, в частности при анализе динамических характеристик химико-технологических процессов, приходится рассматривать операторы, зависящие от параметров. Нестационарные процессы в таких системах описываются функциями вида $f(t, x, y, z)$, где x, y, z — параметры, координаты трехмерного пространства.

Ради простоты рассмотрим операторы, зависящие от одного параметра x . В этом случае абсцисса сходимости интеграла

$$F(p, x) = \int_0^{\infty} f(t, x) e^{-pt} dt \quad (26)$$

зависит от x .

Пусть $F(p, x)$ при всех x , принадлежащих заданной области значений, и $\omega(p)$ соответствуют абсолютно сходящимся интегралам Лапласа некоторых функций с абсциссами сходимости $\sigma_c < 0$. Тогда $F(p, x)$ можно разложить в ряд по целым положительным степеням функции $\omega(p)$. Получающийся при этом ряд Бурмана—Лагранжа будет иметь вид

$$F(p, x) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n(x) \omega^n(p), \quad (27)$$

где коэффициенты $d_n(x)$ определяются по формуле

$$d_n = \frac{1}{2\pi i} \int_c \frac{F(\zeta, x) \omega'(\zeta)}{[\omega(\zeta)]^{n+1}} d\zeta = \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow a} \frac{d^n}{dp^n} \left\{ \frac{F(p, x) \omega'(p) (p-a)^{n+1}}{[\omega(p)]^{n+1}} \right\}. \quad (28)$$

Иллюстрируем сказанное на примере обращения ряда Маклорена аналитической функции $F(p, x)$ в ряд Бурмана—Лагранжа, сходящийся в области, где одновременно $\omega(p)$ и $F(p, x)$ аналитические.

Ряд Маклорена, аналогичный ряду (5), имеет вид

$$F(p, x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n S_n(x) p^n, \quad (29)$$

где

$$S_n(x) = (-1)^n \frac{1}{n!} \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^n}{dp^n} F(p, x) = \frac{1}{n!} \int_0^{\infty} t^n \frac{\partial^n f(t, x)}{\partial t^n} dt.$$

Пусть $\omega(p) = \frac{p}{p+\lambda}$. В этом случае будет иметь место следующее соотношение между коэффициентами рядов (29) и (27):

$$d_n(x) = \sum_{m=0}^{n-1} (-1)^{n-m} C_{n-1}^m \lambda^{n-m} S_{n-m}(x), \quad (30)$$

которое аналогично соотношению (12).

Для того, чтобы ряд

$$F(p, x) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n(x) \left(\frac{p}{p+\lambda}\right)^n \quad (30a)$$

сходился в полуплоскости регулярности функций $F(p, x)$ и $\omega(p)$, следует положить $\lambda \geq 2|\sigma_0|$, где σ_0 — наибольшая из абсцисс сходимости этих функций.

Отметим, что коэффициенты разложения функций определяются через обобщенные инерционности S_n . В то же время эти инерционности можно получить непосредственно из дифференциальных уравнений процесса. Покажем это на примере.

Процессы теплообмена в противоточных теплообменниках, при некоторых упрощающих допущениях [10], как и диффузионные процессы в абсорберах, описываются дифференциальными уравнениями

$$\tau_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial u_1}{\partial x} = \alpha_1 (u_2 - u_1); \quad \tau_2 \frac{\partial u_2}{\partial t} - \frac{\partial u_2}{\partial x} = \alpha_2 (u_1 - u_2), \quad (31)$$

где u_1 и u_2 — температуры или концентрации движущихся сред, $\tau_1, \tau_2, \alpha_1, \alpha_2$ — некоторые постоянные*.

Примем нулевые начальные условия

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

и граничные условия в виде

$$u_1(0, t) = \eta; \quad u_2(1, t) = 0,$$

где η — единая ступенчатая функция

$$\eta(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t > 0, \\ \frac{1}{2} & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t < 0. \end{cases}$$

При этих условиях перепишем уравнения (31) в операторной форме:

$$\frac{d}{dx} U_1 = \alpha_1 (U_2 - U_1) - p \tau_1 U_1;$$

$$\frac{d}{dx} U_2 = \alpha_2 (U_2 - U_1) + p \tau_2 U_2,$$

где

$$U_1 \doteq u_1, \quad U_2 \doteq u_2.$$

* За единицу времени принято $\tau_1 + \tau_2$.

Смещая отсчет времени на $\tau_1 x$, т. е. делая подстановку

$$U_1 = U_{11} e^{-p \tau_1 x}, \quad U_2 = U_{21} e^{-p \tau_1 x},$$

обозначая $U_{11} \equiv U_1$, $U_{21} \equiv U_2$, а также принимая во внимание, что за единицу времени в уравнениях (31) принята величина $\tau_1 + \tau_2$, получаем

$$\begin{aligned} \frac{dU_1}{dx} &= \alpha_1 (U_2 - U_1), \\ \frac{dU_2}{dx} &= \alpha_2 (U_2 - U_1) + p U_2. \end{aligned} \quad (32)$$

Дифференцируя (32) по p n раз и переходя к пределу при $p \rightarrow 0$, а также умножая обе части уравнений на $\frac{1}{n!}$, получаем дифференциальные уравнения для обобщенных инерционностей $S_{1n}(x)$ и $S_{2n}(x)$:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} S_{1n}(x) + \alpha_1 [S_{1n}(x) - S_{2n}(x)] &= 0, \\ \frac{d}{dx} S_{2n}(x) + \alpha_2 [S_{1n}(x) - S_{2n}(x)] &= -S_{2, (n-1)}(x), \end{aligned} \quad (33)$$

где

$$S_{1n}(x) = \frac{1}{n!} \int_0^{\infty} t^n \frac{\partial u_1(t, x)}{\partial t} dt, \quad S_{2n}(x) = \frac{1}{n!} \int_0^{\infty} t^n \frac{\partial u_2(t, x)}{\partial t} dt.$$

Начальные условия имеют вид

$$\begin{aligned} S_{1n}(0) &= 0 \text{ при } n \neq 0 \text{ и } S_{10} = 1, \\ S_{2n}(1) &= 0 \text{ при } n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

При этом решения уравнений (33) находятся элементарно.

§ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНКРЕТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Решение задач регулирования (выбор схемы регулирования, выбор оптимальных параметров регулятора и т. д.) сопряжено с трудностями определения динамических характеристик регулируемых технологических объектов. Рассмотренные выше методы решения нестационарных задач могут облегчить определение динамики объекта в тех случаях, когда в рассмотрении вычислителя есть или экспериментальные кривые переходного процесса на определенное возмущение, или дифференциальные уравнения, описывающие процесс.

Прежде чем применять метод разложения передаточной функции в ряд Бурмана—Лагранжа, следует уточнить точку, в окрестности которой желательно получить приближение передаточной функции. Учитывая, что объекты регулирования в химической технологии пропускают в основном низкие частоты, в этой работе мы более подробно рассматриваем приближения в окрестности точки $p=0$. Однако, наложив некоторые условия на приближенные выражения, можно добиться того, что полученные приближения с достаточной степенью точности будут отражать свойства объекта в достаточно широкой полосе частот. Например, примем, что наше приближение имеет вид

$$F_k(p) = \sum_{n=0}^k d_n \left(\frac{p}{p+\lambda} \right)^n,$$

где

$$d_n = \sum_{m=0}^{n-1} (-1)^{n-m} C_{n-1}^m \lambda^{n-m} S_{n-m}.$$

Из ранее изложенного очевидно, что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} F_k(p) = F(p)$$

для произвольных конечных значений $\lambda \neq 0$.
Определим значение λ так, чтобы

$$\lim_{p \rightarrow \infty} F_k(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} F(p).$$

В данном случае мы получим уравнение относительно неизвестного λ

$$d_0 + d_1 + d_2 + \dots + d_k = F(\infty), \quad (34)$$

где $F(\infty) = \lim_{p \rightarrow \infty} F(p)$. Так, если $k=2$, уравнение (34) будет иметь вид

$$\lambda^2 S_2 - \lambda 2S_1 + S_0 = 0,$$

откуда легко определить значение λ . Уже из приведенного примера видна многозначность определения параметра λ . Из п. 1 § 3 можно сделать заключение, что из многих действительных решений уравнения (34) следует взять то, которое ближе всего подходит к значению предельного отношения $\lambda_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{S_{n+1}}$, но так как располагаем конечным числом S_n , то за приближенное значение λ_1 примем отношение

$$\lambda_1 = \frac{S_{k-1}}{S_k}.$$

Следующим этапом в применении разложений Бурмана—Лагранжа на практике является определение обобщенных инерционностей S_n . Из геометрического смысла обобщенных инерционностей вытекает метод нахождения величин S_n графическим интегрированием. Или же аналогично (32, 33) величины S_n могут определяться из дифференциальных уравнений объекта.

Для широко распространенных типов технологических аппаратов непрерывного действия характерен процесс взаимодействия сред на всем пути их движения по принципу прямотока или чаще всего по принципу противотока. Поэтому при рассмотрении вопросов регулирования непрерывных процессов необходимо решение общей нестационарной задачи процесса взаимодействия движущихся сред в этих аппаратах.

К таким аппаратам относятся теплообменники, абсорберы, скрубберы, экстракторы, колонны ректификации, прокалочные печи и др. Во всех этих аппаратах скорость взаимодействия движущихся сред в основном определяется разностью концентрации у поверхности их раздела, аналогично тому, как теплопередача в основном определяется разностью температур взаимодействующих сред.

В данном случае применением рассмотренных выше методов задача удобно может быть решена для прямо- и противотока при различных способах возмущения стационарного режима. Эти возмущения на практике могут быть возмущениями по концентрации (или температуре), по скоростям движущихся сред, а также по объему подаваемого на вход в аппарат реагента.

1. Имея в виду, что теплообмен является наиболее типичным среди перечисленных выше процессов, рассмотрим пример приближенного

расчета переходной характеристики по формулам (11), (13) для теплообменника.

В работе [10] рассчитываются нестационарные процессы в теплообменном аппарате, которые описываются уравнениями (31). В этой работе дана кривая переходного процесса на выходе аппарата при единичном ступенчатом возмущении по температуре одного из теплоносителей. Параметры этого теплообменника: $\alpha_1=2,074$; $\alpha_2=1,294$.

Из уравнений (33) рассчитываем обобщенные инерционности при $x=1$.

Получим

$$S_0=0,2415; S_1=0,03910; S_2=0,01298; S_3=0,004097.$$

Применим для приближенного расчета переходных процессов выражения (11) и (13), из которых взяты суммы четырех начальных членов. За параметр λ принято.

$$\lambda = \frac{S_2}{S_3} = 3,168.$$

Приближенное выражение изображения функции переходного процесса

$$F_1(p) = 0,2415 - 0,1239 \left(\frac{p}{p+3,168} \right) + 0,0064 \left(\frac{p}{p+3,168} \right)^2 + 0,0064 \left(\frac{p}{p+3,168} \right)^3,$$

функция переходного процесса

$$f(t) = 0,2415 - e^{-3,168t} (0,1111 + 0,0608t - 0,0321t^2).$$

Кривые точного и приближенного решений приводятся на рис. 1. Учитывая сложность точного решения и малые отклонения приближенной кривой от точной, приходим к выводу о целесообразности данного метода приближенных решений.

2. Приведем еще пример приближения передаточной функции того же теплообменника, описываемого уравнениями (31), но с параметрами $\alpha_1=\alpha_2=\alpha=1$. При этом обобщенные инерционности переходной функции по температуре одного из теплоносителей рассчитаны из уравнений (33).

$$S_{10} = 1 - 0,5x; \quad S_{11} = \frac{x}{24} (5 - 6x + 2x^2);$$

$$S_{12} = \frac{x}{1440} (103 - 150x + 70x^2 - 6x^4).$$

В качестве приближенного выражения передаточной функции взята сумма первых трех членов* ряда вида (30а), в котором принято

$$\lambda = \frac{S_{11}(0,5)}{S_{12}(0,5)} \approx 3,3.$$

В этом случае приближенная передаточная функция имеет вид**

$$F_1(p, x) = e^{-p\tau_1 x} \left[d_0 + d_1 \left(\frac{p}{p+3,3} \right) + d_2 \left(\frac{p}{p+3,3} \right)^2 \right],$$

где d_0, d_1, d_2 рассчитаны по (29) и имеют значения

$$d_0 = 1 - 0,5x;$$

$$d_1 = -x(0,6870 - 0,8244x + 0,2748x^2);$$

$$d_2 = x(0,0912 - 0,3094x + 0,2544x^2 - 0,0453x^4).$$

* Расчеты показали, что коэффициенты d_n при $n > 2$ достаточно быстро убывают для $0 < x < 1$. При этом уже $d_3, d_4 < d_0$.

** Здесь учтено наличие времени запаздывания $\tau_1 x$.

Точное выражение передаточной функции объекта при тех же значениях $\alpha_1=\alpha_2=\alpha$ и $\tau_1=0,5$, найденное в работе [10], имеет вид

$$F(p) = e^{-p\tau_1 x} \frac{\left(1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) e^{-\lambda_1}}{1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} e^{2\lambda_1}},$$

где

$$\alpha_1 = 1 + \frac{p}{2} + \lambda_1; \quad \alpha_2 = 1 + \frac{p}{2} - \lambda_1; \quad \lambda_1 = \frac{1}{2} \sqrt{p^2 + 4p}.$$

Соответствующие амплитудно-фазовые характеристики для значения $x=1$ (точная и приближенная) приводятся на рис. 2.

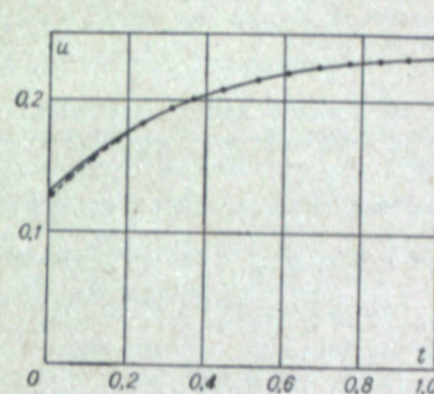


Рис. 1. Кривые решений дифференциальных уравнений теплообмена.

— приближенное решение дифференциальных уравнений; - - - точное решение дифференциальных уравнений, соответствующее экспериментальным данным.

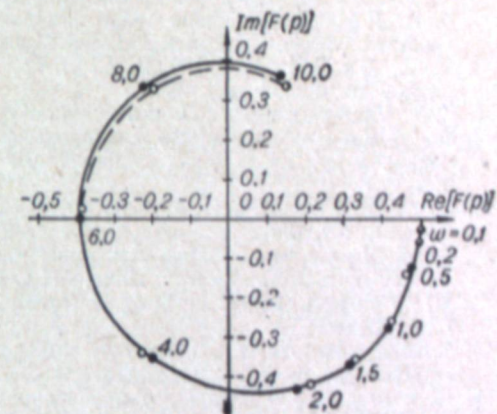


Рис. 2. Амплитудно-фазовые характеристики противоточного теплообменника.

● — точка на точной характеристике; ○ — точка на приближенной характеристике.

ВЫВОДЫ

1. Показана эффективность применения рядов Бурмана—Лагранжа при анализе нестационарных процессов в сложных системах, в частности в химико-технологических аппаратах.

2. Из рассмотренных примеров видна практическая ценность применения этих рядов одновременно для приближения трансцендентных передаточных функций и соответствующих переходных функций системы. При этом могут быть использованы большие возможности в выборе конкретного вида ряда Бурмана—Лагранжа в зависимости от характера функции и требований, предъявляемых к их приближениям.

3. Коэффициенты ряда во многих случаях могут быть найдены косвенным методом через обобщенные инерционности, без определения точной переходной функции, либо по ее изображению, либо непосредственно из дифференциальных уравнений.

4. Полученные представления систем химической технологии рядами Бурмана—Лагранжа приводят к разложениям по ортогональным функциям. Таким образом, представляются возможности моделирования объектов с применением соответствующих схем генераторов*.

* Схемы генераторов ортогональных функций рассмотрены, например, в работе [11].

5. Следует отметить, что ряды Бурмана—Лагранжа пока еще мало известны в приложениях и до сих пор не применялись в операционном исчислении. Однако их использование в этой области весьма перспективно и нуждается в соответствующих теоретических разработках.

Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
5/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников. Докл. АН СССР, т. 90, № 5, 1953.
2. Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников с толстыми стенками. Докл. АН СССР, т. 130, № 1, 1960.
3. Б. Н. Девятков, Общие уравнения взаимодействия движущихся сред в технологических аппаратах. Докл. АН СССР, т. 134, № 3, 1960.
4. М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат, Методы теории функций комплексного переменного. Физматгиз, 1958.
5. Е. Т. Уиттекер, Г. Н. Ватсон, Курс современного анализа. ОНТИ, 1936.
6. Б. Н. Девятков, Переходные режимы работы непрерывнодействующих теплообменников при нарушениях стационарных условий. Дисс., Уральский политех. ин-т, 1954.
7. В. А. Диткин, П. И. Кузнецов, Справочник по операционному исчислению. Гостехиздат, 1951.
8. Б. Н. Девятков, Определение инерционности и регулируемости проектируемых технологических процессов. Докл. АН СССР, т. 141, № 5, 1961.
9. A. Erdelyi, Tables of integral transforms. Vol. I. Mc Graw-Hill Book Company, INC, 1954.
10. Б. Н. Девятков, Ю. Н. Корнев, Определение переходных процессов в непрерывнодействующих теплообменниках. Изв. СО АН СССР, № 9, 1961.
11. Т. Китаори. Теория самонастраивающихся систем. Тр. I конгр. междунар. федерации по автомат. упр., т. 2, Изд. АН СССР, М., 1961.

Р. Д. БАГЛАЙ

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач автоматического контроля и управления производственными процессами в ряде случаев приводит к необходимости усиления слабых (порядка десятков микровольт) сигналов сложного спектра. К этой же проблеме в основном сводится создание точных электронных вычислительных устройств непрерывного действия, в которых исходные, промежуточные и выходные величины представляются напряжениями сложной формы. Наконец, в практике электрических измерений часто возникает потребность в неискаженном усилении сигналов широкого частотного спектра. Поскольку в общем случае полезный сигнал может содержать постоянную составляющую, то в качестве усилительного устройства, обеспечивающего одинаковое усиление всех существенных компонент спектра сигнала, должен быть применен усилитель постоянного тока с широкой частотной полосой пропускания или, короче, широкополосный усилитель постоянного тока.

Известно, что усилители постоянного тока (УПТ) с гальваническими связями между каскадами усиления имеют равномерную частотную характеристику в широком диапазоне частот, начиная с нулевой. Однако они не могут быть непосредственно использованы для усиления слабых сигналов, так как даже в лучших исполнениях дрейф нуля таких усилителей составляет 2—5 милливольт в час. Это привело к развитию УПТ с преобразованием сигнала, в частности усилителей с контактными прерывателями. Последние, как известно, отличаются высокой стабильностью нулевого отсчета и в то же время позволяют иметь высокое входное сопротивление усилительного устройства. Серьезным недостатком таких усилителей является нестабильность механического прерывателя. Кроме того, наличие подвижных элементов ограничивает срок службы устройства и уменьшает его надежность. Если же контактный прерыватель использовать для коммутации маломощных сигналов на инфразвуковой частоте, то срок службы его и надежность могут быть значительно увеличены. При этом с известным приближением можно рассматривать его как идеальный прерыватель.

В связи с этим представляет интерес построить широкополосный усилитель постоянного тока с преобразованием всего сигнала на входе и выходе с помощью прерывателей.

Точнее задачу можно сформулировать так. На базе прерывателей, работающих практически идеально на низких частотах, и резистивных усилителей построить широкополосный усилитель постоянного тока, частотная характеристика которого не должна зависеть от частоты преобразования.

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В работе [1] на основании анализа усилителей с преобразованием показано, что при всех возможных комбинациях включения одно- и двухполупериодных прерывателей на входе и выходе резистивного усилителя, используемого для усиления преобразованных сигналов, полоса частот теоретически ограничивается частотой преобразования. Это вынуждает при создании широкополосных УПТ идти по пути синтеза схем усилителей с преобразованием. В самом деле, из рассмотрения УПТ с однополупериодным синхронным преобразованием вытекает, что они не могут быть непосредственно использованы в качестве широкополосных усилителей по следующим причинам:

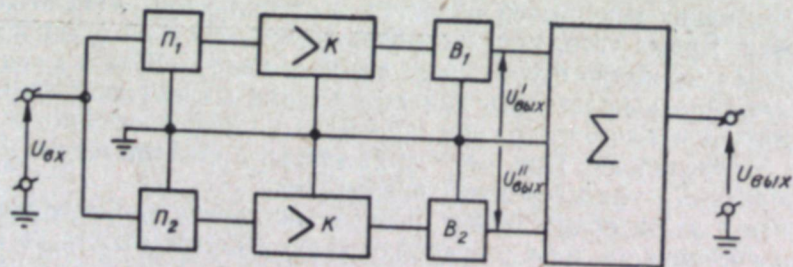
1. Коэффициенты передачи для входных сигналов нулевых или близких к нулю частот и сигналов более высоких частот различны. Это вызвано завалом частотной характеристики промежуточного усилителя в области низких частот.

2. Частотная полоса пропускания ограничена половиной частоты преобразования, что обусловлено потерей информации о входном сигнале за часть периода переключения.

Однако, как показано в работах [2, 3], при замене синхронного детектора в таком усилительном устройстве схемой фиксации уровня униполярных сигналов, работающей синфазно с входным преобразователем, коэффициенты передачи для постоянной и переменной составляющих входного сигнала будут одинаковыми. Чтобы восполнить информацию о входном сигнале, можно использовать два канала усиления с однополупериодным преобразованием, работающих так, что каждый из них передает входной сигнал соответственно в промежутке времени

$$\begin{aligned} t_1 &= \left(0 \div \frac{T}{2}\right) + nT \\ t_2 &= \left(\frac{T}{2} \div T\right) + nT. \end{aligned} \quad (1)$$

Если считать при этом, что резистивные усилители идентичны, то, суммируя выходные напряжения обоих каналов, получим усиленный входной сигнал. Полоса частот, пропускаемых таким усилительным



устройством, теоретически неограничена и не зависит от частоты преобразования.

Покажем это для трех существенно различных с точки зрения работы схемы (см. рисунок) диапазонов частот входного сигнала.

Положим, что входные преобразователи P_1 и P_2 работают идеально. Учитывая выражение (1), запишем их коэффициенты передачи:

$$\begin{aligned} K_n &= \begin{cases} 1 & \text{при } t = \left(0 \div \frac{T}{2}\right) + nT \\ 0 & \text{при } t = \left(\frac{T}{2} \div T\right) + nT \end{cases} = \\ &= 0,5 + \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\omega_0 t}{2n-1} = 0,5 + F(t), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} K_n &= \begin{cases} 0 & \text{при } t = \left(0 \div \frac{T}{2}\right) + nT \\ 1 & \text{при } t = \left(\frac{T}{2} \div T\right) + nT \end{cases} = \\ &= 0,5 - \frac{2}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\omega_0 t}{2n-1} = 0,5 - F(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь t — время, T и ω_0 — соответственно период и круговая частота функции преобразования.

Пусть резистивные усилители идентичны, а их коэффициенты передачи удовлетворяют условию

$$K(\omega) = \begin{cases} 0 & \text{при } \omega < \omega_n \\ K & \text{при } \omega \geq \omega_n. \end{cases} \quad (4)$$

Будем считать также, что включенные на выходе усилителей схемы фиксации уровня B_1 и B_2 работают идеально, причем каждая из них производит переключение синфазно с соответствующим входным преобразователем.

Выбрав частоту преобразования из условия $\omega_0 > 2\omega_n$, рассмотрим случай, когда на вход обоих усилителей подан сигнал $U_{вх}$, частота ω которого соответствует диапазону $0 \leq \omega < \omega_n$. Коэффициентами передачи схем фиксации уровня в этом случае будут $K_n = 2K_n'$, $K_n'' = 2K_n''$. Выходные напряжения каналов могут быть записаны так:

$$U_{вх}' = KU_{вх} \cdot F(t) \cdot 2[0,5 + F(t)] = 0,5KU_{вх} + KU_{вх} \cdot F(t), \quad (5)$$

$$U_{вх}'' = KU_{вх} \cdot F(t) \cdot 2[0,5 - F(t)] = 0,5KU_{вх} - KU_{вх} \cdot F(t). \quad (6)$$

Суммируя выходные сигналы обоих каналов усиления, получим

$$U_{вх} = U_{вх}' + U_{вх}'' = KU_{вх}. \quad (7)$$

Итак, рассматриваемое усилительное устройство позволяет усиливать постоянные и медленно изменяющиеся электрические сигналы, при этом на выходе его отсутствуют побочные продукты преобразования.

Пусть на вход обоих каналов усиления подан гармонический сигнал $U_{вх}$, частота ω которого удовлетворяет неравенству $|(2m-1)\omega_0 - \omega| \geq \omega_n$ при $\omega > \omega_n$, где m может принимать значения 1, 2... Поскольку в этом диапазоне $K_n' = K_n'$, $K_n'' = K_n''$, то на выходе каналов будем иметь

$$U_{вх}' = KU_{вх} \cdot K_n' \cdot K_n' = KU_{вх} [0,5 + F(t)] = 0,5KU_{вх} + KU_{вх} \cdot F(t),$$

$$U_{вх}'' = KU_{вх} \cdot K_n'' \cdot K_n'' = KU_{вх} [0,5 - F(t)] = 0,5KU_{вх} - KU_{вх} \cdot F(t).$$

На выходе суммирующей схемы получим:

$$U_{вх} = U_{вх}' + U_{вх}'' = KU_{вх}. \quad (8)$$

Наконец, рассмотрим случай, когда на вход устройства подается сигнал $U_{вх} = U_0 \sin \omega t$, который может даваться с какой-либо из гармонических составляющих функций входного преобразователя разностную частоту, меньшую, чем ω_n , т. е. сигнал, частота которого удовлетворяет неравенству $|(2m-1)\omega_0 - \omega| < \omega_n$.

Учитывая, что для этого диапазона

$$K'_a = 1 + \frac{1}{(2m-1)\pi \sin \omega t [0,5 + F(t)] - 1}$$

и

$$K''_a = 1 - \frac{1}{(2m-1)\pi \sin \omega t [0,5 - F(t)] + 1},$$

запишем выражения для выходных сигналов каждого из каналов усиления:

$$U'_{вых} = KU_0 \left\{ \sin \omega t [0,5 + F(t)] - \frac{1}{(2m-1)\pi} \right\} \cdot K'_a = \\ = 0,5KU_0 \sin \omega t + KU_0 \sin \omega t \cdot F(t),$$

$$U''_{вых} = KU_0 \left\{ \sin \omega t [0,5 - F(t)] + \frac{1}{(2m-1)\pi} \right\} \cdot K''_a = \\ = 0,5KU_0 \sin \omega t - KU_0 \sin \omega t \cdot F(t).$$

На выходе суммирующей схемы будем иметь

$$U_{вых} = U'_{вых} + U''_{вых} = KU_0 \sin \omega t = KU_{вх}. \quad (9)$$

Изложенное позволяет сделать вывод, что усилительное устройство, состоящее из двух идентичных параллельно работающих резистивных усилителей, на входе которых включены преобразователи с коэффициентами передачи, описываемыми выражениями (2) и (3), а на выходе — схемы фиксации, работающие синфазно с соответствующими входными преобразователями, и суммирующая схема позволяют усиливать сигналы сложного спектрального состава. В выходном напряжении такого устройства не содержится побочных продуктов преобразования, а полоса пропускемых частот теоретически неограничена.

Практически частотную полосу такого усилителя ограничивают завалы высоких частот резистивными усилителями и в некоторых случаях (при использовании механических прерывателей) — время пролета якоря преобразователя. Следует отметить, что в качестве схемы фиксации уровня может быть использован бесконтактный управляемый ключ, построенный на лампах, полупроводниковых приборах или других элементах. Что же касается входных преобразователей, то, если не предъявляются особо жесткие требования к чувствительности устройства, могут быть использованы бесконтактные преобразователи, построенные, например, на фотосопротивлениях, полупроводниковых приборах и др.

Экспериментальная проверка показала, что усилители постоянного тока, построенные по изложенному способу, обеспечивают широкую полосу пропускания независимо от частоты преобразования сигнала. Это позволяет производить преобразования на инфранизкой частоте, что при использовании электромеханических прерывателей резко повышает срок их службы и надежность. Следует отметить, что переход к преобразованию на инфранизких частотах приводит к некоторому повышению напряжения флуктуации, особенно за счет эффекта мерцания. Схема усилителя получается достаточно простой и легко настраивается. В усилителе такого типа фильтры нижних частот на его входе и выходе не требуются. Введение стабилизирующей отрицательной обратной связи с

охватом входных и выходных преобразователей практически исключает влияние неидентичности каналов усиления на работу всего устройства.

Замена резистивных усилителей в таких устройствах усилителями с непосредственными связями позволяет получить усилительное устройство, динамические показатели которого сравнимы с соответствующими показателями усилителей прямого действия. Однако при этом несколько ухудшается стабильность нулевого отсчета.

Следует полагать, что по указанному принципу могут быть разработаны бездрейфовые высокочувствительные усилители постоянного тока на широкий диапазон частот.

Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
1/XI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Д. Баглай, Анализ усилителей постоянного тока с преобразованием сигнала. Изв. СО АН СССР, № 3, 1962.
2. Р. Д. Баглай, Усилители постоянного тока со схемой фиксации уровня. Автоматический контроль и электрические измерения, вып. 5, Изд-во СО АН СССР, 1962.
3. Р. Д. Баглай, Авторское свидетельство № 133120, класс 21e 10₁₀, 1961.

М. Н. НЕГОДАЕВ

АНАЛИЗ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ
В МЕХАНИЗМЕ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ
МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ

Как известно, высокоскоростная киносъемка выполняет роль «лупы времени», позволяя фиксировать быстротекущий процесс с той или иной (достаточно большой) разверткой во времени, что дает возможность экспериментатору воспроизводить картину процесса в замедленном темпе и наблюдать при этом детали движения, не различимые при непосредственном рассмотрении. Но привлекательность метода не только в этом: в следующих один за другим кадрах киносъемки исследователь имеет цельные изображения объекта в его мгновенных состояниях, которые могут быть подвергнуты количественному покачественному анализу. Результаты последнего дают возможность построить количественную картину процесса. Более того, оптическая связь между фотографируемым объектом и кинокамерой не требует внесения в объект датчиков измерительной аппаратуры. В ряде случаев это имеет большое значение [1, 2].

Метод анализа движения, возможный при высокоскоростной кинематографии, оказывается плодотворным, в частности, в применении к исследованию механизма ударного действия, содержащего узел с неопределенной кинематической связью между звеньями. В настоящей работе представилось возможным по данным высокоскоростной киносъемки

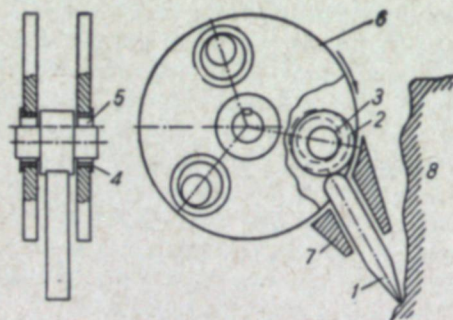


Рис. 1. Схема ударной системы водило—боек—пика.

1 — пика, 2 — боек, 3 — ступица бойка, 4 — втулка из стали повышенной прочности, 5 — окно в водиле, 6 — водило, 7 — держатель пика, 8 — горная порода.

построить картину передачи энергии в ударной системе подобного механизма и на ее основании вывести и объяснить к. п. д. машины. Механизм, подвергшийся анализу, — опытный образец одной из моделей рабочего органа ударно-вращательного действия горнопроходческой машины по породе. Принцип действия машины поясняется схемой, представленной на рис. 1. Приводимое во вращение электроприводом водило увлекает сидящие ступицами в его окнах бойки. Бойки представляют собой ролики с утолщением в середине. Один раз за оборот водила каждый из бойков встречается с хвостовиком пика, нанося по последней удар, который, в свою очередь, передается пикой в забой для разрушения горной породы. Боек имеет некоторую свободу перемещения в окнах водила, поскольку диаметр ступиц бойка на 25 мм меньше диаметра окон. При ударе по пике боек отскакивает, снова увлекается водилом,

после чего рабочий цикл повторяется. Как видно, здесь мы имеем дело с динамической системой водило—боек—пика. Получая кинетическую энергию от привода, водило сообщает ее бойку. Последний передает энергию пике. Боек играет роль посредника в передаче энергии. При этом энергия передается через соударения звеньев цепочки водило—боек—пика. Высокое контактное усилие, получаемое на пике путем ударного импульса, обеспечивает преодоление временного сопротивления горной породы и разрушение ее ударным сколом. Однако износостойкость опытного образца мала. Фактические потери энергии значительно превышают расчетные. Как в действительности ведет себя боек при некоторой свободе, которая предоставляется ему по самой идее конструкции? В чем причина потерь и интенсивного износа машины? На эти вопросы можно было ответить, проанализировав процесс и учтя экспериментальные данные. Задача решалась путем применения высокоскоростной киносъемки с последующей количественной дешифровкой фильма.

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В основе эксперимента лежит кинематографическая регистрация кинематики тех звеньев механизма, поведение которых подлежит анализу. Съёмка производилась камерой марки СКС-1 отечественного производства при частоте 4000 кадров в секунду на пленке типа Д. Для освещения использовались два кинопрожектора марки КПЛ-35 с 3-киловаттными лампами в каждом. На рис. 2 показана схема съемки, на рис. 3 —

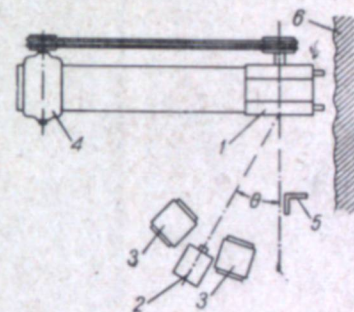


Рис. 2. Схема киносъемки (вид сверху).

1 — объект съемки — рабочий орган машины на испытательном стенде, 2 — кинокамера СКС-1, 3 — лампы кинопрожектора, 4 — электродвигатель, 5 — швеллер, 6 — горная порода (стендовый забой из горной породы).

кадры полученного фильма. На перфорированном краю фильма видна белая полоса — это след вспышек неоновой лампы, которая служит метчиком времени. По числу кадров, приходящихся на период вспышки неоновой лампы, можно судить о частоте съемки, а следовательно, и о промежутке времени, соответствующем одному кадру.

ДЕШИФРОВКА ФИЛЬМА. МЕТОД ФАЗ

Дешифровка фильма в широком смысле слова осуществлялась путем сочетания качественного просмотра фильма на экране, покадровых измерений, построения графиков, а также анализа явления в свете физических закономерностей на основе данных, полученных киносъемкой.

По данным покадровых измерений с помощью инструментального измерительного микроскопа марки МБИ с учетом поправок на систематические погрешности при съемке (уклон камеры) была построена фактическая траектория движения бойка. Ее сопоставление с изображением механизма в различных фазах процесса позволило построить график, представленный на рис. 4, послуживший основой для анализа и расчета. В применении анализа движения к механизму ударного действия выявилась целесообразность предварительного установления фаз процесса. Соответственно фазам экспериментальная полученная киносъемкой

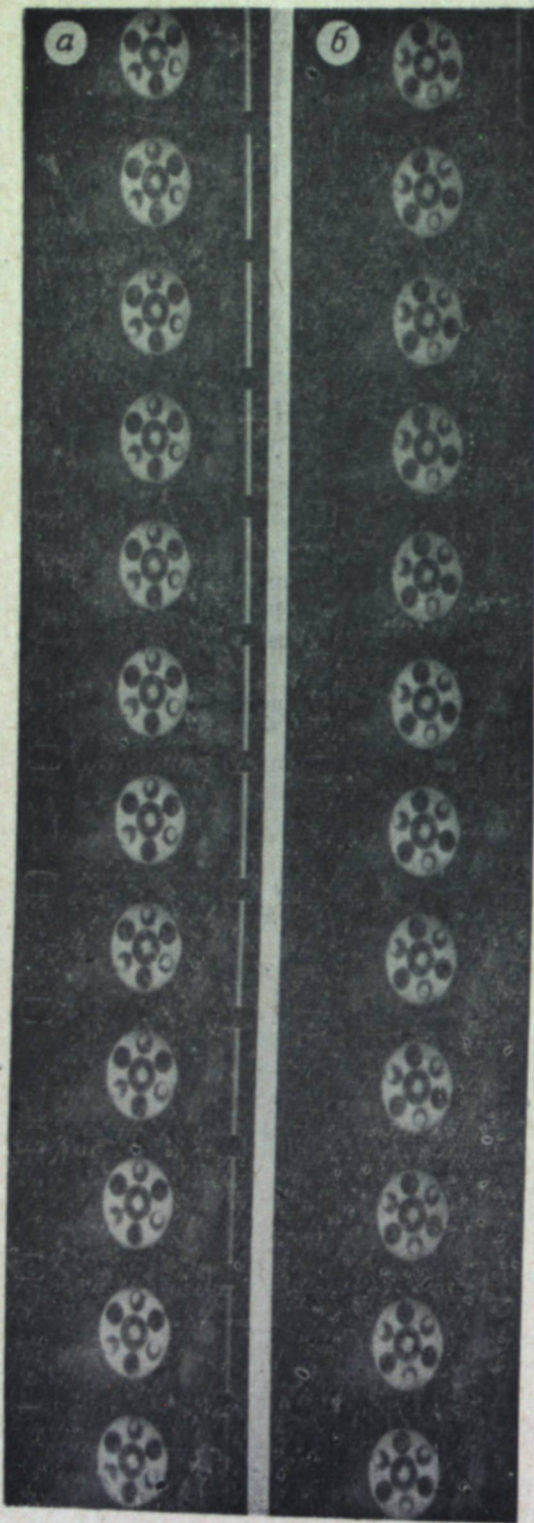


Рис. 3. Кадры высокоскоростного кинофильма.
а — фаза рабочего удара, б — фаза паразитного удара.

траектория бойка расчленилась на участки, в пределах которых для расчета скоростей были применены сравнительно простые соотношения, в данном случае соотношения для прямолинейного равномерного движения и для движения по кругу. Этим устранялась необходимость отыскания общей аналитической функции, более или менее близко выражающей связь между координатами на участке траектории. Главный же смысл установления фаз в том, что по кинематике промежуточного звена, в данном случае бойка, в начале и в конце фазы сравниваются его энергетические состояния. Отсюда представляется возможным судить об изменениях энергосодержания звена при переходе из одной фазы в другую.

В нашем случае участок траектории бойка до точки А — это фаза совместного движения бойка с водилом (см. рис. 4). Скорость бойка в этой фазе может быть определена как скорость движения по кругу, если за ось вращения примем ось водила. В точке А, как видно из рис. 4, траектория изламывается, резко изменяя свое направление. Причина — рабочий удар по пику, во время которого боек отдает пику часть своей энергии и при этом с остатком энергии отскакивает. После точки А траектории, как показывает покадровый анализ, боек находится во взвешенном состоянии, двигаясь несвязанно по инерции до точки В, где встречается с водилом. Фазу ЗА до рабочего удара и фазу АВ, следующую за рабочим ударом, можно рассмотреть в правых нижних углах кинокадров рис. 3, а. Скорость бойка как в начале, так и в конце фазы АВ может быть определена как скорость прямолинейного

движения по инерции. При этом действием силы тяжести на боек в фазе АВ можно пренебречь, поскольку оно кратковременно — его длительность порядка $1/400$ сек, что соответствует одному десятку кадров фильма. За этот промежуток времени снижение под действием силы тяжести, очевидно, составляет около $0,05$ мм, т. е. весьма мало по сравнению с длиной участка АВ, составляющего около 20 мм.

В момент времени, соответствующий точке В траектории, ступица бойка встречается с краем окна водила. Здесь происходит удар. И хотя за счет удара теряется некоторая энергия, в то же время в этой фазе происходит восполнение энергии бойку отводилом путем удара и давления, оказываемого последним на боек.

О количестве энергии, передаваемой водилом бойку в этой фазе, можно судить, сравнивая скорости бойка перед фазой и непосредственно после нее. В конце фазы ВЕ, во время которой боек и водило двигались совместно, контакт между водилом и бойком нарушается вследствие изменения направления линейной скорости водила в точке контакта, как это видно из рис. 4. На участке траектории ЕЖ боек снова оказывается во взвешенном состоянии, совершая «свободный пробег» по инерции до точки Ж, где происходит встреча его ступицы с краем окна водила. В точке Ж траектория снова изламывается. Причина — удар ступицы бойка по водило, который в анализе назван паразитным, поскольку он не имеет служебного значения, но влечет за собой потерю энергии и действует на механизм разрушающе. Энергия, теряемая при паразитном ударе, может быть вычислена по потере скорости при ударе. В фазе движения на участке ЖЗ за счет связи с водилом через трение и боковое давление со стороны водила боек получает еще некоторую энергию, которая приводит его к состоянию совместного с водилом движения в крайнем положении по радиусу. После этой фазы рабочий цикл повторяется. О количестве энергии, получаемой бойком от водила в фазе ЖЗ, можно также судить, сравнивая его кинематические состояния в начале и в конце фазы.

Нами был сделан качественный обзор картины передачи энергии в ударном узле механизма. Построим количественную картину. Для этого используем графики. График рис. 5, построенный на основании данных покадровых измерений, дает представление о векторах скоростей в фазе рабочего удара: $V' = 9$ м/сек — скорость бойка до удара и $V'' = 5,1$ м/сек — скорость бойка после удара. Скорость встречи между бойком и водилом в конце фазы АВ непосредственно из покадровых измерений не может быть получена. Для ее определения построен график рис. 6. В основе графика скорости V_0 — водила и V_6 — бойка, полученные из покадровых измерений. Скорость встречи находится как алге-

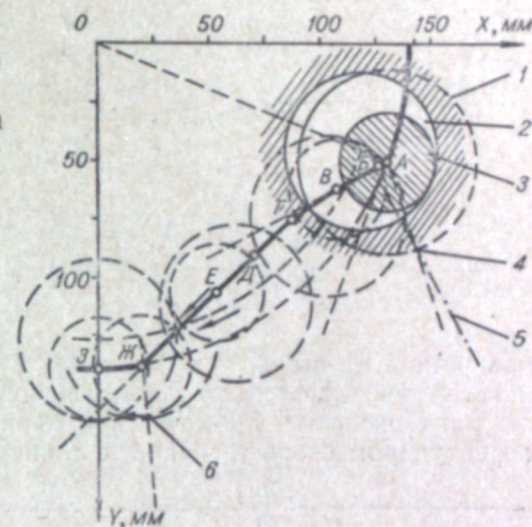


Рис. 4. Траектория абсолютного движения бойка по данным высокоскоростной киносъемки, совмещенная с бойком и окном водила в основных фазах рабочего цикла.

1 — боек, 2 — окно в водиле, 3 — ступица бойка, 4 — область рабочего удара, 5 — ось пики, 6 — область паразитного удара.

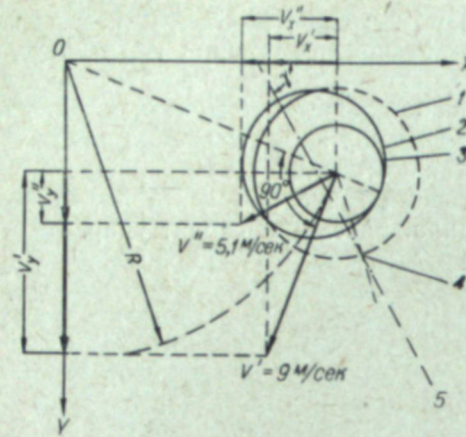


Рис. 5. Диаграмма скоростей бойка в фазе рабочего удара.
 V' — скорость до удара, V'' — скорость после удара. 1 — боек, 2 — окно в водиле, 3 — ступица бойка, 4 — область удара.

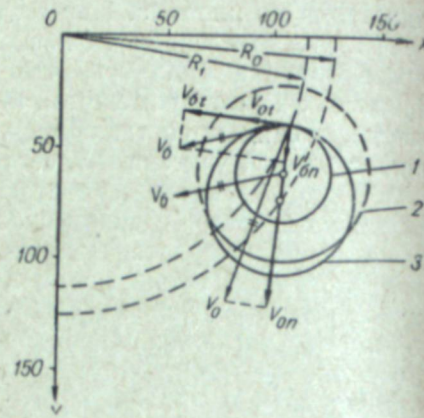


Рис. 6. Диаграмма для расчета скорости встречи бойка и водила в конце фазы АВ.
 1 — ступица бойка, 2 — боек, 3 — окно в водиле.

браическая разность между проекциями V_0 и V_6 на нормаль в точке касания при встрече. Она составляет 6,5 м/сек. По графику рис. 7 определяется скорость, теряемая при паразитном ударе. Непосредственно перед ударом скорость бойка в точке касания, определяемая покадровыми измерениями, — $V_6 = 10$ м/сек. Разложив V_6 в направлениях по касательной и по нормали в точке контакта, найдем $V_{6n} = 5,9$ м/сек, теряемую при паразитном ударе.

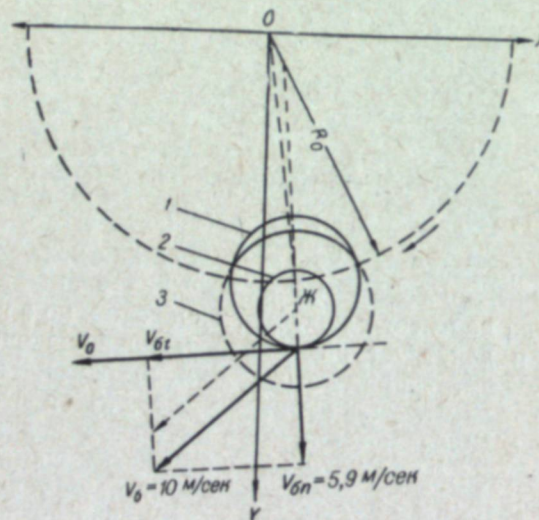


Рис. 7. Диаграмма скоростей для фазы паразитного удара.
 1 — окно в водиле, 2 — ступица бойка, 3 — боек.

где V'_x и V'_y — составляющие линейной скорости бойка по осям координат перед ударом в фазе бойка ЗА;
 V_x и V_y — составляющие скорости бойка в его движении по инерции в фазах АВ и ЕЖ;
 N — число оборотов водила;
 n — число кадров кинофильма, соответствующее числу оборотов водила;
 ν — частота кадров съемки;
 X и Y — координаты центра тяжести бойка;

$$V'_x = \frac{2\pi N \nu}{n} Y, \quad (1)$$

$$V'_y = \frac{2\pi N \nu}{n} X, \quad (2)$$

$$V_x = \frac{(X_n - X_m) \nu}{n \cdot m}, \quad (3)$$

$$V_y = \frac{(Y_n - Y_m) \nu}{n \cdot m}, \quad (4)$$

X_m, Y_m и X_n, Y_n — координаты соответственно начала и конца прямолинейного участка траектории бойка в фазах АВ и ЕЖ.

При этом, разумеется, необходим пересчет масштабов кадра в масштаб натуральных длин объекта. Нетрудно установить, что произведения $2\pi N Y$ и $2\pi N X$, входящие в правые части равенств (1) и (2), имеют размерность длины L , тогда как частное $\frac{y}{n}$ — размерность обратной величины времени T^{-1} . Отсюда, очевидно, следует, что равенства (1) и (2), так же как (3) и (4), имеют размерность скорости LT^{-1} .

Кинетическая энергия бойка в каждой фазе находится как алгебраическая сумма энергий составляющих по осям координат скоростей из соотношения

$$E = \frac{m}{2} (V_x^2 + V_y^2), \quad (5)$$

где m — масса бойка.

При массе бойка 4,5 кг и приведенных выше скоростях, полученных из покадровых измерений и последующего графоаналитического расчета, получим следующую энергетическую картину для периода рабочего цикла машины.

В начальной фазе ЗА перед ударом боек имеет 18,5 кгм, после рабочего удара — 5,5 кгм. Следовательно, во время рабочего удара по пике боек теряет 13,0 кгм. В конце фазы ВЕ боек имеет 23,9 кгм, но перед фазой ВЕ — 5,5 кгм. Следовательно, в фазе ВЕ боек получает от водила 18,4 кгм. В фазе ВЕ должна быть также учтена потеря энергии за счет работы упругих сил при соударении, которая в разность 23,9 кгм — 5,5 кгм не входит, но компенсируется водилом как звеном, питающим боек. Оценка этой потери ориентировочная. При коэффициенте восстановления скорости $K = 0,5$ при условии, что масса водила во много раз больше массы бойка ($m_1 \gg m_2$), потеря эта составляет 7,3 кгм. Следовательно, всего в фазе ВЕ водило отдает $23,9 - 5,5 - (-7,3) = 25,7$ кгм. При соударении с водилом в конце фазы ЕЖ боек теряет 7,9 кгм. Следовательно, к началу фазы ЖЗ в бойке остается разность $23,9 - 7,9 = 16,0$ кгм. К концу фазы ЖЗ боек имеет 18,5 кгм. Следовательно, во время фазы ЖЗ боек получает 2,5 кгм.

Имея целью первое приближение, в настоящем анализе допускаем упрощения. Так, вращение бойка, хотя и наблюдаемое, но не весьма слабо выраженное, не принимается во внимание как существенно не влияющее на количественную сторону картины. Здесь не рассматривается также слабо выраженный в данном случае колебательный процесс, возникающий при ударе, поскольку он не имел резонансного характера и являлся лишь промежуточной ступенью, через которую происходило необратимое рассеяние энергии. О величине последней мы имели возможность судить по различию фазовых состояний [3].

Во время эксперимента в цепь привода машины был включен самопишущий ваттметр. На основании его записи по исключению потерь холостого хода была выведена затрата энергии на один рабочий цикл. Она составила в среднем около 30 кгм. Эту величину мы ниже используем для проверки результатов, полученных высокоскоростной киносъемкой.

БАЛАНС ЭНЕРГИИ, АНАЛИЗ ПОТЕРЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ К. П. Д. УДАРНОГО УЗЛА МАШИНЫ

Располагая приведенные выше энергетические показатели, полученные по данным высокоскоростной киносъемки, в форме таблицы, помещая расход водила в одну графу, а расход бойка — в другую, выведем

баланс энергии. Для сравнения включим в таблицу показания самопишущего ваттметра.

Из таблицы видно, что порядок величины суммарной энергии, расходуемой на цикл, исчисленной по данным кино съемки, весьма близок к порядку величины показаний ваттметра. Это может рассматриваться как подтверждение реальности результатов, выведенных по кино съемке.

Расход энергии на один рабочий цикл в машине

По данным высокоскоростной кино съемки		По показаниям самопишущего ваттметра, кГм
Водило отдает бойку, боек принимает, кГм.	Боек расходует, кГм.	
В фазе <i>BE</i> 25,7	При рабочем ударе 13,0	
» <i>ЖЗ</i> 2,5	При паразитном ударе в фазе <i>ЖЗ</i> 7,9	
	При соударении в начале фазы <i>BE</i> 7,3	
Всего за время рабочего цикла водило расходует 28,2	Всего за время рабочего цикла боек расходует 28,2	30

Главный же смысл таблицы в том, что она дает количественную картину процесса. Полезная энергия, отдаваемая ударным звеном механизма, составляет только 13,0 кГм, тогда как остальные 15,2 кГм теряются при соударениях непроизводительно. Принимая всю поступающую в узел энергию за 100%, для к. п. д. ударного узла машины получаем:

$$\eta = 46\%$$

В этой статье не рассматривается к. п. д. передачи энергии пикой в забой, чему должна быть посвящена специальная работа. Однако здесь следует упомянуть, что при учете к. п. д. передачи энергии удара пикой (32%), полученного расчетным путем с использованием данных кино съемки, общий средний к. п. д. машины без учета потерь холостого хода составляет около 15%, тогда как к. п. д. всей установки, выведенный независимо от кино съемки из сравнения энергоемкости процесса в данной машине с условно оптимальным процессом (чистой необходимой затратой на разрушение аналогичной породы крупным сколом), лежит в пределах 9—13% [4].

Задача анализа полной связи зависимостей, определяющих точность результата, нами еще не решена. Порядок же величины возможной ошибки, выводимый из анализа соотношений (1—4), лежит в пределах 10%. Полная возможная ошибка в оценке энергии фаз не превышает 20%.

Выводы

Эксперимент устанавливает возможность анализа высокоскоростной кино съемкой передачи энергии звеном со многими степенями свободы в ударном узле механизма. В результате анализа установлены и количественно оценены фазы приема и фазы отдачи, или потери энергии в удар-

ном узле. Наглядно вскрыты причины потерь и саморазрушения механизма, которые должны быть учтены при реконструкции опытного образца машины, а также при оценке примененного в ней принципа действия.

ВНИИ Гидроуголь

Поступила в редакцию
20/X 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Сахаров, Высокоскоростная кино съемка. М., Госкиноиздат, 1950.
2. Высокоскоростная кино фотосъемка в науке и технике. Сб. статей. Перевод с англ и нем. со вступительной статьей А. А. Сахарова. Под ред. П. Г. Тагера. М., 1955.
3. С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев, В. М. Макушин, Н. М. Малинин, В. И. Федосеев, Расчеты на прочность в машиностроении, т. 3. М., Машгиз, 1959.
4. В. С. Севастьянов, Основные закономерности процесса ударного скола горных пород. Сб. Горные машины, № 8. Углетехиздат, 1959.

М. С. ШАРЛОВСКАЯ

ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЗОЛОВЫХ ЧАСТИЦ

Изучение с помощью электронного микроскопа формы частиц золых отложений представляет интерес с точки зрения выявления природы образования последних, о чем в настоящее время еще не сложилось одинакового мнения.

Известно, что основная масса частиц, составляющих золотые отложения, представляет собой высокодисперсные фракции размером порядка микронов и их десятых долей. Эти частицы могут быть как продуктами сублимации, образованными при конденсации легкоплавких составляющих золы, так и мельчайшими золотыми остатками сгоревших угольных пылинок. Поскольку условия происхождения аэрозолей накладывают определенный отпечаток на форму частиц [1], изучение золотых отложений под электронным микроскопом дает возможность уточнить, какие из летящих с дымовыми газами частиц наиболее склонны к оседанию на поверхностях нагрева.

Ввиду того, что указанное исследование может дать на первом этапе лишь качественную характеристику просматриваемых образцов, его следует рассматривать как визуальное дополнение к существующим способам анализа золотых отложений.

Исследованиями высокодисперсных систем [1] считается установленным, что аэрозоли, образующиеся в результате конденсации твердого или жидкого вещества (к которым относятся продукты сублимации золы), имеют, как правило, форму застывших капель в виде шариков, эллипсов, диполей или составленных из них агрегатов.

Частицы несгоревшей угольной пыли и ее золотые остатки по происхождению принадлежат к дисперсионным аэрозолям, для которых характерна форма неправильных кусков и обломков. Однако в условиях топочного режима золотые остатки угольных пылинок могут приобретать шарообразную форму в результате оплавления под действием высоких температур. Шарики оплавленной золы отличаются от конденсационных аэрозолей в основном своими размерами. Аэрозоли продуктов сублимации имеют величину порядка десятых долей микрона (например, сконденсированные пары кремнезема), диаметр оплавленных золотых частиц обычно значительно больше микрона [2].

В опубликованных исследованиях не приводятся эталонные снимки образцов золы, сравнение с которыми позволило бы отнести рассматриваемый препарат к той или иной категории аэрозолей. Данная работа представляет попытку классифицировать золотые частицы по их форме и размерам с учетом приведенных выше положений. При этом принято, что бесформенные частички любых размеров и крупные (более 2 мк) частички круглой формы относятся к золотым остаткам угольной пыли, а мелкие частички с четко выраженной формой представляют собой сконденсированные пары продуктов сублимации.

Форма золотых частиц изучалась с помощью электронного микроскопа типа BS-242 (Тесла), который дает возможность отчетливо рассматривать форму частиц размером от 0,1 мк и выше. При этом максимальный размер частиц, находящихся в препарате, определялся условиями его приготовления, т. е. временем отстоя суспензии, наносимой на пленку (метод мокрого препарирования) [2].

Предварительное изучение кривых счетного распределения фракций золотых отложений показало абсолютное преобладание частиц размером менее 1 мк (рис. 1).

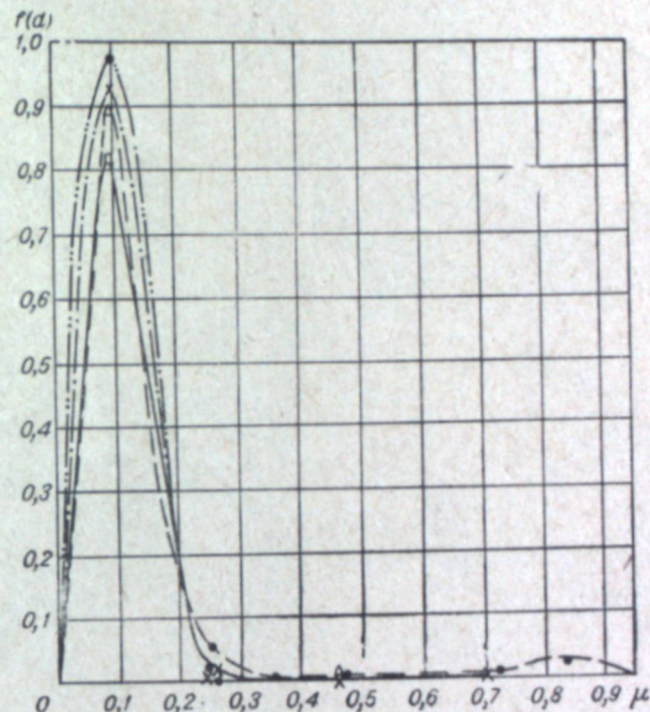
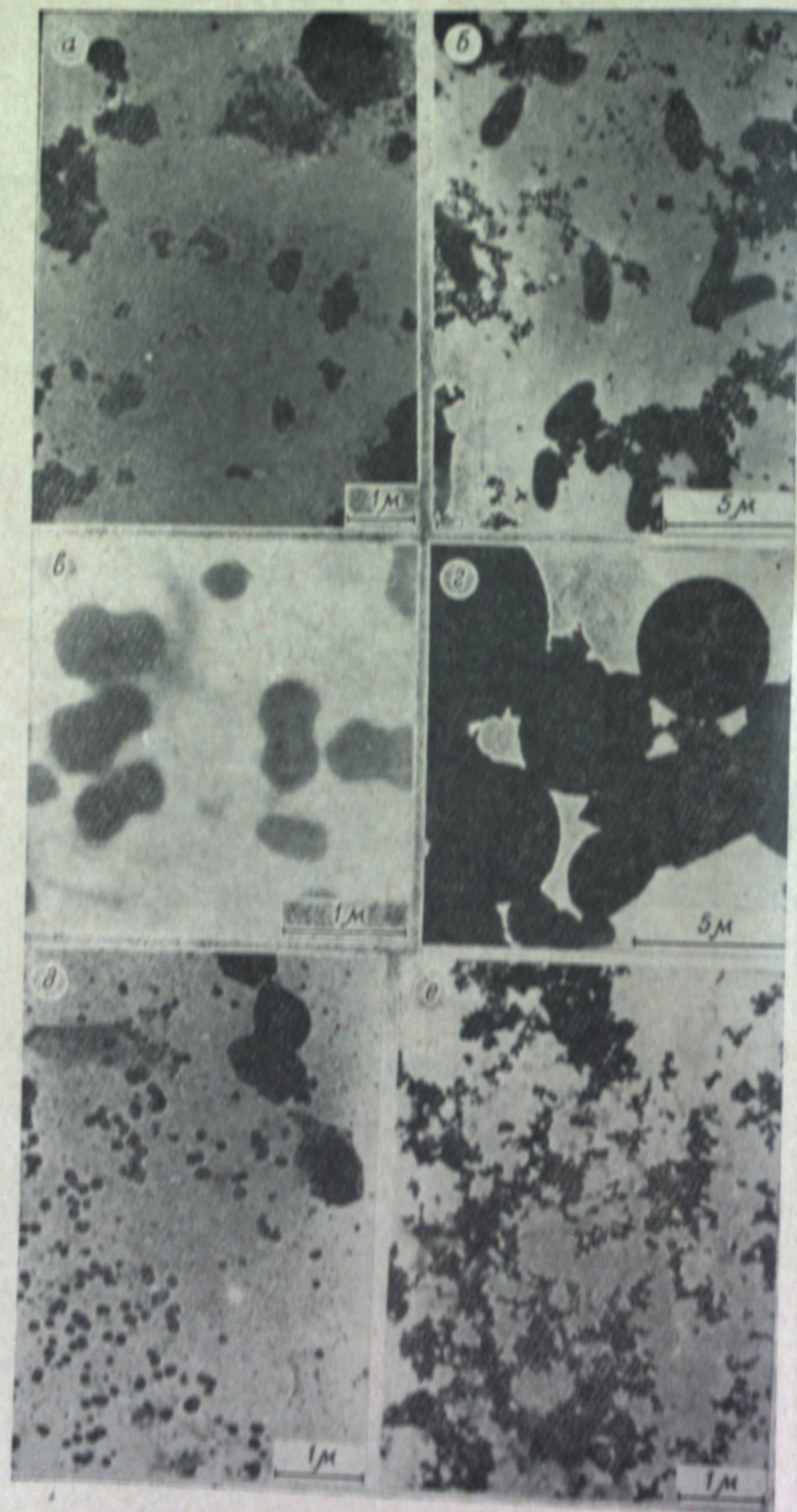


Рис. 1. Кривая счетного распределения частиц в золотых отложениях по данным электронной микроскопии.

В связи с этим считалось целесообразным удалить из золотой пробы частицы размером более 5 мк, которые, не являясь характерными, затемняют общую картину препарата при рассмотрении на электронном микроскопе. Для этой цели суспензия золы, помещаемая на подложку, отстаивалась после взмучивания в течение 1—1,5 ч с таким расчетом, чтобы во взвешенном состоянии остались частички менее 5 мк.

Для избежания агрегации частиц суспензия после указанного времени отстоя переносилась в пробирки и подвергалась воздействию ультразвуковых колебаний. Для этого пробирки помещались в стаканы ультразвукового генератора ГУ-3 и выдерживались там в течение 5 мин при интенсивности ультразвука 4 Вт/см² и частоте 750 кГц. По истечении указанного времени с помощью платиновой петли отбиралась капля суспензии и наносилась на подложку для высушивания.

Наряду с препаратами, изготовленными из золотых отложений, для сравнения брались препараты лабораторной золы, полученной в муфеле из аналитической пробы угля при температуре 500—800°С, и препараты летучей золы, уловленной из газового потока котлоагрегата с помощью пробоотборников уноса и стационарных золоуловителей. Образцы рассматривались при различных увеличениях в зависимости от крупности



находящихся в них частиц. Обычно использовалось увеличение от 7000 до 17000. В целях наиболее подробного исследования каждый препарат подробно рассматривался во всех квадратах поддерживающей сетки, делалось и описание визуальной картины. Наиболее характерные изображения фиксировались на электронограммах (рис. 2).

При рассмотрении большого количества изображений (около 40 препаратов) все многообразие встречающихся форм и сочетаний золых частиц оказалось возможным обобщить в следующие группы.

1. Мелкие частицы, менее 0,2 мк (форма не различается):
 - а) отдельные;
 - б) агрегаты в виде хлопьев и кустиков.
2. Крупные частицы, более 0,2 мк (форма четко выявлена):
 - а) бесформенные;
 - б) продолговатые;
 - в) шарообразные (одиночные и диполи);
 - г) агрегаты из крупных частиц;
 - д) то же, с налипшей мелочью.

Для приблизительной оценки в образце количества частиц данной формы и размера были условно приняты следующие обозначения: небольшое содержание частиц (менее 10%) — Н; среднее содержание частиц (порядка 50%) — С; высокое содержание частиц (более 80%) — В.

Обобщение наблюдений, проведенных с использованием указанной выше классификации, показано в таблице. Как видно из таблицы (см. стр. 46), форма золых частиц, находящихся в области видимости электронного микроскопа (размером от 0,1 до 5 мк), в определенной степени зависит от условий их образования.

Так, препараты, приготовленные из лабораторной золы, состоят преимущественно из бесформенных частиц (рис. 2, а), а частицы правильной формы в них почти не встречаются. Это вполне закономерно, поскольку правильную округлую (или близкую к ней) форму имеют в основном аэрозоли конденсационного происхождения, которые не могут образовываться при низкотемпературном озолении в муфеле.

Сравнительно малое количество оформленных частиц оказалось также в препаратах, приготовленных из уносов. В основном в этих образцах содержатся бесформенные частички, очень мелкие в уносах пылеугольных топок и более крупные в уносах механических топок. По внешнему виду они напоминают частички лабораторной золы (рис. 2, а).

В препаратах, приготовленных из золых отложений, частицы с четко выраженной формой были обнаружены почти во всех образцах независимо от сорта угля, метода сжигания и места отбора пробы (см. таблицу). Эти частицы чаще всего имели продолговатую форму (рис. 2, б), реже — двоячную и круглую (рис. 2, в, г, д), размеры их колебались от десятых долей микрона до 2—3 мк.

Независимость форм и размеров частиц золых отложений от методов сжигания топлива объясняется тем, что эти частицы, по всей

Рис. 2. Образцы форм, частиц и агрегатов, встречающихся в золе.

а. Лабораторная зола тонкого угля, $\times 7500$. б. Продолговатые частицы. Золовые отложения с труб пароперегревателя, котел Дюбульдо, механическая тонка, длиннопламенный уголь, $\times 4500$. в. Двоячные частицы. Золовые отложения со стен газохода котла Бабкок, длиннопламенный уголь, $\times 17000$. г. Круглые частицы. Золовые отложения со стен газохода, котел Бабкок, пылеугольная тонка, длиннопламенный уголь, $\times 4500$. д. Круглые частицы. Золовые отложения с труб фрезона котла ПК-10, длиннопламенный уголь, $\times 13000$. е. Кустообразные агрегаты мелких частиц. Золовые отложения с труб пароперегревателя, котел Дюбульдо, механическая тонка, длиннопламенный уголь, $\times 13000$.

Классификация препаратов золы по внешнему виду электронограмм

Характеристика угля	Тип котла и топки	Место отбора пробы	Колич. электронограмм	Наличие частиц в электронограммах					
				мелкие частицы (менее 0,2 мк)		крупные частицы (более 0,2 мк)			
				отдельные	агрегаты	бесформенные	продолговатые	круглые	в агрегатах
Лабораторная зола									
Длиннопламенный			15	В		С			Н
Газовый			4	Н	В				
Тощий			8			В			
Уносы									
Длиннопламенный	Бабкок пылеугольная	мультициклон	3	В				Н	
То же	ТП-230 пылеугольная	пробоотборник уноса	8	В	В	С			
	ПК-10 пылеугольная	электрофильтр	18			В			
Газовый	ЛМЗ механическая	отсосная трубка из дымовой трубы	6			В		Н	
То же	Лопулько механическая	золоуловитель (циклон)	6			В			В
	Лопулько механическая	бункер золоуловителя	6			В			В
Тощий	ТКЗ-150 пылеугольная	пробоотборник уноса	8	В	В				
Золовые отложения									
Длиннопламенный	СМ-16 механическая	фронтальной экран	10		В	С	С		
То же	СМ-16 механическая	фронтальной экран	6	В	Н		С	С	
Тощий	ТКЗ-150 пылеугольная	боковой экран	8				В	С	
Длиннопламенный	ПК-10 пылеугольная	фестон	12	В			В	С	
Газовый	ЛМЗ механическая	боковой экран	2	В			С	С	
Длиннопламенный	Лопулько механическая	трубы пароперегревателя	16		В		С	С	
Газовый	ЛМЗ механическая	трубы пароперегревателя	8			В	С	С	
Тощий	ТКЗ-150 пылеугольная	второй кипяточный пучок	8	С				С	В
Газовый	ЛМЗ механическая	кипяточный пучок	8	В					
То же	ЛМЗ механическая	водяной экономайзер	6						Н
Длиннопламенный	ПК-10 пылеугольная	водяной экономайзер	9			В		С	

Продолжение табл.

Характеристика угля	Тип котла и топки	Место отбора пробы	Колич. электронограмм	Наличие частиц в электронограммах					
				мелкие частицы (менее 0,2 мк)		крупные частицы (более 0,2 мк)			
				отдельные	агрегаты	бесформенные	продолговатые	круглые	в агрегатах
То же	Бабкок пылеугольная	опускные трубы в 1-м газоходе	9			С	Н	В	С
	Бабкок пылеугольная	опускные трубы во 2-м газоходе	9			С	Н	В	С
	Бабкок пылеугольная	воздухоподогреватель	8					В	С

вероятности, являются продуктами сублимации однородных химических компонентов, содержащихся в минеральной части топлива. Форма же продуктов сублимации при любых способах возгонки не может иметь существенных различий, подобно тому как размеры и форма капель, образующихся при конденсации пара, не зависят от режима, при котором происходило испарение.

Преобладание оформленных золых частиц в препаратах из золых отложений и сравнительно небольшое их количество в уносах, собранных за пределами котлоагрегата, говорит о том, что продукты сублимации имеют большую склонность к налипанию на трубах по сравнению с золовыми остатками угля, имеющими те же размеры. В то же время, рассматривая электронограммы, видим достаточное количество частиц правильной формы, которые по размерам можно отнести к оплавленным частичкам летучей золы (см. таблицу). Здесь обращает на себя внимание то, что крупные частицы имеют преимущественно правильную круглую форму (рис. 2, г), тогда как для частиц диаметром менее 2 мк более характерна сдвоенная и продолговатая. Причиной такого изменения начальной сферической формы мельчайших продуктов сублимации является, по всей вероятности, то, что на мелких фракциях более отчетливо сказывается влияние тепловой коагуляции. Благодаря указанному явлению в результате слияния двух частиц на первом этапе образуются сдвоенные агрегаты или диполи (рис. 2, в), в дальнейшем они вырождаются в продолговатые сигаровидные элементы (рис. 2, б). Возможно, плавленные золые частицы не соединяются в диполи, так как поверхность их менее способствует этому, чем поверхность сублимированных продуктов, которые, как известно, благодаря своей липкости являются основным связывающим элементом слоя натрубных отложений. Замеченное нами различие форм для разных размеров фракций золых частиц требует дальнейшей тщательной проверки и уточнения путем дополнительного исследования на электронном микроскопе чистых продуктов сублимации золы, получаемых в лабораторных условиях.

Наряду с рассмотренными случаями агрегации двух и нескольких частиц, дающих новую форму отдельным фракциям, в препаратах золых отложений наблюдаются также более крупные агрегаты. Для них характерно налипание мелких частиц на крупные и скопление мелочи в виде хлопьев и кустиков (рис. 2, е). Согласно данным ряда исследователей [1, 3], по форме агрегатов можно судить о процессах, происходящих в газовом потоке, несущем в себе первичные частицы аэрозолей. Так, В. Гумц [4], также наблюдавший на электронограммах

картину оседания мелочи на крупных частицах золы, объясняет это осаждением конденсированных паров легкоплавких компонентов золы (щелочные окислы и др.) на частичках остеклявшегося шлака, благодаря чему последние приобретают повышенную способность к налипанию.

Агрегаты в виде кустиков могут быть отнесены к разветвленной форме направленной линейной агрегации (цепочки), которая характерна для аэрозолей, образующихся в дымах при наличии внешнего электрического поля. Такие условия, как известно, имеют место в газоходах котлов, где запыленный поток газа является источником наведения электростатических зарядов.

Однако агрегаты аэрозолей в образцах, рассматриваемых под электронным микроскопом, могут получиться не только вследствие естественных условий в газовом потоке, а также в результате препарирования образца, т. е. в процессе высыхания капли суспензии на подложке. Для выяснения искажающего влияния этого фактора на агрегацию частиц необходимо провести сравнение электронограмм, полученных при различных методах препарирования образца (сухое напыление, втирание в пленку и др.). До проведения указанной работы, имеющей самостоятельное значение, вполне достоверными можно считать только результаты наблюдения размеров и форм отдельных частиц и их простейших сочетаний.

ВЫВОДЫ

1. На основании рассмотрения под электронным микроскопом более 40 образцов золы частиц разного происхождения (лабораторная зола, золы отложения и уносы промышленных топков) составлена классификационная таблица форм и размеров частиц, встречающихся в данных образцах.
2. Выявлена ориентировочная зависимость формы золы частиц от процесса их образования.
3. На основании исследования форм золы частиц в отложениях и уносах подтверждено, что продукты сублимации имеют большую склонность к осаждению на поверхностях нагрева, чем золы остатки угольных частиц, имеющие те же размеры.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
3/X 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Фукс, Механика аэрозолей. Изд. АН СССР, 1955.
2. В. Гумц, Минеральная часть угля и ее влияние на конструкцию и эксплуатацию котлов. Сб. переводов «Влияние минеральной части топлива на работу котлоагрегата. ГЭИ, 1959.
3. В. М. Лукьянович, Электронная микроскопия в физико-химических исследованиях. Изд. АН СССР, 1960.
4. V. Gumz, Investigations on Coal Minerals and Coal and Fuel-Oil Slags. Combustion. vol. 30, № 8 1959.

С. С. БАЦАНОВ, Ю. А. ЛИТВИН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РОДАНИДА МЕДИ С ГАЛОГЕНАМИ

Сообщение 2

В первом сообщении [1] было высказано предположение, что атом меди в CuSCN несет на себе эффективный отрицательный заряд. В целях проверки этой гипотезы нами были проведены реакции галогенирования роданида меди в спиртовой среде, причем предполагалось, что в первую очередь (или исключительно) будет окисляться тот атом, который имеет отрицательный заряд. В результате проделанной работы получились соединения типа $\text{Cu}_m(\text{SO}_4)_n\text{X}_p$, где X — хлор или бром, т. е. было установлено, что окислению подвергаются как атомы меди, так и родано-группы. Поэтому нельзя сделать однозначный вывод о распределении электрических зарядов на основании изучения механизма и продуктов реакции окисления в жидкой фазе.

Настоящая работа посвящена исследованию реакций галогенирования CuSCN в сухом состоянии.

ХЛОРИРОВАНИЕ

Под воздействием газообразного хлора помещенный в стеклянную трубку порошок роданистой меди довольно быстро изменяется в объеме, а цвет его из белого превращается в табачный, при дальнейшем хлорировании образец зеленеет.

Ниже приводятся составы соединений двухвалентной меди, полученные при различном времени воздействия хлора на CuSCN (табл. 1).

Приведенные в таблице анализы делались следующим образом: медь — сульфатным способом, сера определялась в сплаве $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaNO}_3$ в виде BaSO_4 , хлор осаждался действием AgNO_3 .

Таблица 1

t, мин	Состав	M	Анализ			
			Cu	SCN	Cl	Δ
10	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_4\text{Cl}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	969,3	39,58 39,33	23,95 23,97	29,14 29,27	опыт расчет
20	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_4\text{Cl}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1041	36,50 36,62	22,67 22,31	28,41 27,23	опыт расчет
40	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_4\text{Cl}_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1077	35,34 35,39	21,90 21,57	25,75 26,33	опыт расчет
80	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_3\text{Cl}_9 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	982,7	39,54 38,80	18,27 17,73	32,42 32,47	опыт расчет
120	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_2\text{Cl}_{10} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	996,1	35,18 38,27	12,08 11,66	38,36 35,60	опыт расчет

Все хлоророданиды в воде разлагаются с выделением в осадок главным образом CuSCN и переходом в раствор ионов хлора и ничтожного количества (1—3%) SO_4 -ионов. Выписанные выше значения процентного содержания SCN -группы представляют собой разницу между валовым содержанием серы и тем ее количеством, которое содержится в сульфат-ионах. Небольшое количество связанной с SO_4^{2-} меди также вычтено из общего содержания металла в полученных нами соединениях.

Как уже указывалось, нерастворимый осадок состоит в основном из роданистой меди, но содержание SCN -группы в осадке не равно общему количеству SCN в соединении — оно составляет всего 80—90%. Анализ на серу в водном растворе в виде BaSO_4 до и после окисления подтвердил, что в воде имеется некоторое количество SCN -ионов: 3% у образца 10-минутного хлорирования, 4% у «20-минутного» образца и 5% у образцов более длительного времени хлорирования. При анализе на галоген из общего осадка ($\text{AgCl} + \text{AgSCN}$) вычиталось соответствующее количество AgSCN , после чего определялось содержание хлора.

Из табл. 1 видно, что действие хлора вначале сводится к окислению меди. Затем происходит обводнение вещества и лишь затем — вытеснение родано-группы. Интересно отметить, что отношение $\text{Cu} : \text{S}$ в первых соединениях в точности равно тому, что было получено в работе [1] при хлорировании спиртовой суспензии CuSCN .

Химические свойства всех хлоророданидов аналогичны: они не растворяются на холоду ни в одной из сред, причем в кислотах-окислителях выделяется сера, а в щелочах — окись меди. При нагревании образцов хлоророданидов в концентрированных H_2SO_4 и HNO_3 происходит полное растворение с окислением выделившейся элементарной серы и выделением низших окислов азота и серы. Спирт разлагает полученные соединения, а органические масла практически инертны к ним.

Для доказательства индивидуальности синтезированных веществ нами были измерены их рефрактометрические константы, которые сведены в табл. 2. Там же для сравнения даются физические характеристики соответствующих однородных солей меди по данным «Справочника химика».

Таблица 2
Молекулярные рефракции хлоридов и роданидов меди

Состав	n_D	d_4^{25}	R_D	$R = \sum R_n$
CuCl	1,973	4,14	11,74	10,14
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,742	2,39	27,17	26,13
CuSCN	1,644	2,85	20,84	18,86
$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,89*	2,69*	83,2	82,2
$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,86*	2,64*	88,9	89,0
$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,84*	2,60*	91,8	92,4

* Измерено впервые.

Измерения показателей преломления производились иммерсионным методом, однако из-за чрезвычайно тонкой дисперсности определить двупреломление оказалось невозможным, и в табл. 2 приводятся средние показатели преломления (точность $\pm 0,01$ — $0,015$).

Экспериментально измеренные молекулярные рефракции сопоставлены в той же таблице с теоретически рассчитанными по аддитивности из ионных рефракций ($\sum R_n$) [2, 3]: $\text{Cu}^+ = 1,08$, $\text{Cu}^{2+} = 1,20$, $\text{Cl}^- = 9,06$, $\text{Br}^- = 12,66$, $\text{SCN}^- = 17,78$ и $\text{H}_2\text{O} = 3,40 \text{ см}^3$.

Таблица показывает, что показатели преломления и плотности хлоророданидов меди резко отличаются от соответствующих показателей для CuSCN . Следовательно, выделение роданистой меди в воде является результатом внутримолекулярного окисления-восстановления, а не отмывания примесной двуххлористой меди. Представить синтезированные нами соединения в виде смеси $\text{Cu}(\text{SCN})_2 + x\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ также нельзя, поскольку $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ неустойчива в индивидуальном состоянии.

Таблица 3

Рентгенограммы хлоридов и роданидов меди

CuSCN		$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		$\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
интенсивность	d/n	интенсивность	d/n	интенсивность	d/n	интенсивность	d/n	интенсивность	d/n
ср.	9,53	с.	5,58	с.	5,53	сл.	6,23	с.	5,40
с.	5,54	сл.	4,36	о. сл.	4,54	с.	5,58	ср.	4,03
о. сл.	4,95	ср.	3,939	ср.	4,11	о. сл.	5,23	о. сл.	3,73
"	4,40	о. сл.	3,779	о. сл.	3,712	"	4,54	"	3,33
сл.	4,05	ср.	3,301	"	3,430	ср.	4,05	сл.	3,08
о. сл.	3,806	с.	3,098	сл.	3,371	сл.	3,487	о. сл.	2,72
с.	3,637	сл.	2,815	о. сл.	3,281	"	3,234	сл.	2,63
о. сл.	3,479	"	2,697	с.	3,163	с.	3,163	о. сл.	2,52
ср.	3,362	с.	2,635	сл.	3,067	сл.	2,980	"	2,36
о. сл.	3,170	ср.	2,222	"	2,914	"	2,764	сл.	2,20
с.	3,064	сл.	2,161	"	2,790	с.	2,627	о. сл.	2,10
"	2,913	о. сл.	2,122	о. сл.	2,721	о. сл.	2,443	ср.	2,01
о. сл.	2,847	ср.	2,014	с.	2,658	с.	2,336	о. сл.	1,88
сл.	2,745	"	1,926	о. сл.	2,541	ср.	2,210	сл.	1,85
ср.	2,595	о. сл.	1,848	ср.	2,226	сл.	2,097	о. сл.	1,81
с.	2,409	сл.	1,800	о. сл.	2,103	ср.	2,021	"	1,77
"	2,331	о. сл.	1,774	ср.	2,017	сл.	1,921	"	1,73
о. сл.	2,220	"	1,668	"	1,929	"	1,860	"	1,68
ср.	2,092	сл.	1,615	о. сл.	1,872	"	1,776	"	1,64
о. сл.	2,077	о. сл.	1,470	сл.	1,827	о. сл.	1,728	сл.	1,61
с.	1,863	сл.	1,342	"	1,787	ср.	1,608	о. сл.	1,58
о. сл.	1,812	о. сл.	1,186	о. сл.	1,716	о. сл.	1,506	"	1,55
ср.	1,786	"	1,118	"	1,667	"	1,472	"	1,51
сл.	1,754	о. сл.	1,096	ср.	1,601	о. сл.	1,446	"	1,460
ср.	1,725	"	1,073	сл.	1,578	"	1,407	"	1,402
о. сл.	1,688	"	"	о. сл.	1,506	сл.	1,365	сл.	1,370
сл.	1,669	"	"	"	1,462	о. сл.	1,246	"	"
ср.	1,592	"	"	"	1,398	"	1,203	"	"
о. сл.	1,500	"	"	"	1,369	"	1,180	"	"
"	1,472	"	"	"	1,292	"	"	"	"
сл.	1,433	"	"	"	1,247	"	"	"	"
"	1,404	"	"	"	1,198	"	"	"	"
о. сл.	1,362	"	"	"	1,114	"	"	"	"
"	1,335	"	"	"	1,092	"	"	"	"
"	1,315	"	"	"	1,071	"	"	"	"
"	1,280	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,260	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,241	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,216	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,194	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,139	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,048	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,016	"	"	"	"	"	"	"	"
"	1,004	"	"	"	"	"	"	"	"

Хлоророданиды меди были изучены нами также рентгенографическим методом. В табл. 3 приведены результаты рентгеновского изучения $\text{Cu}_m(\text{SCN})_n\text{Cl}_{2m-n} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ и для сравнения межплоскостные расстояния в CuSCN [1] и $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [4]. Съемка рентгенограмм проводилась на медном излучении в камере РКУ.

Сравнение рентгенограмм показывает, что примерно половина линий хлоророданидов совпадает со значениями межплоскостных расстояний CuSCN и $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, остальные же линии строго индивидуальны для каждого из синтезированных соединений. Последнее обстоятельство и означает, что полученные нами вещества не являются смесью, а представляют собой индивидуальные продукты.

Табл. 3 позволяет констатировать, что, за исключением самой первой сильной линии и самых дальних, совпадающие по величине линии обязательно различаются по интенсивностям. Например:

$\text{Cu}_m(\text{SCN})\text{Cl}_n$	CuSCN	$\text{Cu}_m(\text{SCN})\text{Cl}_n$
сл. 3,487	о. сл. 3,479	—
—	ср. 3,362	сл. 3,371
с. 3,163	о. сл. 3,170	с. 3,163
—	с. 3,064	сл. 3,067
—	» 2,913	» 2,914
ср. 2,210	о. сл. 2,220	ср. 2,226
сл. 2,097	ср. 2,092	о. сл. 2,103
» 1,860	с. 1,863	» 1,872
» 1,776	ср. 1,786	сл. 1,787
о. сл. 1,728	» 1,725	о. сл. 1,716

Отмеченное обращение интенсивностей указывает на небольшое искажение кристаллической структуры CuSCN при вхождении в нее атомов хлора. Поскольку образование твердого раствора на базе CuSCN исключается, так как хлоророданиды являются солями двухвалентной меди, установленные факты свидетельствуют в пользу образования химических соединений, геометрически родственных CuSCN .

Следует заметить также, что при совпадении значений межплоскостных расстояний $\text{Cu}_2(\text{SCN})\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ по величине интенсивности этих линий тоже остаются на одном уровне:

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}_2(\text{SCN})\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
сл. 3,08	сл. 3,067
о. сл. 2,10	о. сл. 2,103
ср. 2,01	ср. 2,017
о. сл. 1,88	о. сл. 1,872
» 1,73	» 1,716
сл. 1,61	ср. 1,601
о. сл. 1,58	сл. 1,578
» 1,51	о. сл. 1,506
» 1,460	» 1,462
» 1,402	» 1,398
сл. 1,370	» 1,369

Эта близость величин и интенсивностей наводит на мысль о наличии примеси $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в смешанном соединении, хотя измерение показателей и плотностей, как уже было сказано выше, опровергает такое предположение. Единственное решение этого противоречия заклю-

чается в том, что примесь $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ образуется в ходе самого рентгенографирования.

Нами было замечено, что после рентгеновской съемки образцы хлоророданида несколько изменяются по внешнему виду — становятся более зелеными. Анализ $\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, подвергнутого рентгеновско-

Таблица 4
Кинетика фотохимической реакции

Время, ч	0	7	14	21
Содержание Cu, %	36,5	38,0	38,8	40,4
Содержание SCN, %	22,7	20,9	19,1	16,9

му облучению, показал закономерное уменьшение процентного содержания SCN-группы при увеличении времени экспозиции (табл. 4).

Таким образом, в ходе рентгенографирования (в пределах времени стандартной экспозиции) увеличивается более 25% общего содержания родано-группы, и появление на рентгенограмме линий $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ становится вполне понятным. В случае $\text{Cu}_2\text{SCNCl}_3$ после рентгеновского облучения в течение 21 ч содержание родано-группы падает с 18,3 до 12,1%, т. е. на одну треть.

Учитывая, что CuSCN в ходе рентгенографирования совершенно не изменяется, а двуроданистая медь легко разлагается при ничтожных энергетических воздействиях с выделением $(\text{SCN})_2$ [5], обнаруженная фотохимическая реакция является лишним аргументом в пользу химического соединения Cu^{II} с SCN-группой.

БРОМИРОВАНИЕ

Действие сухого газообразного брома на кристаллический порошок роданистой меди приводит очень быстро к изменению внешнего вида вещества: уже через минуту вещество из белого превращается в темно-серый порошок, а затем быстро чернеет. В зависимости от времени бромирования получаются смешанные бромороданиды разного состава (табл. 5).

Анализы в данном случае делались точно так же, как и в случае хлоророданидов. Единственное исключение состоит в том, что количество SO_4 -ионов здесь ничтожно (1%) и никаких пересчетов делать не нужно.

Табл. 5 показывает, что действие брома сводится вначале только к окислению меди, причем в течение 10 мин успевает окислиться лишь половина атомов меди, а 20-минутное бромирование приводит к полному окислению металла. В дальнейшем количество брома в молекуле накапливается, и, наконец, начинается вытеснение родано-группы. Если еще больше увеличить время бромирования, можно легко получить чистую $\text{CuBr}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Полученные нами бромороданиды на холоду не растворяются нацело ни в одной из обычных сред — везде происходит частичное разложение и в осадок выпадает порошок черного или темно-серого цвета. В кислотах-окислителях (HNO_3 и H_2SO_4) при нагревании происходит растворение осадка с выделением низших окислов азота и серы. В воде и спирте отмывается большая часть CuBr_2 и в осадке остается CuSCN с небольшой примесью бромида. Аммиак интенсивно окрашивается бромороданидами в синий цвет, а нерастворимый осадок представляет собой черный порошок — смесь бромида и окисла одновалентной меди. Соединение $\text{Cu}_m(\text{SCN})_n\text{Br}_p$ нейтрально к органическим жидкостям.

Таблица 5

t, мик	Состав	M	Анализ			
			Cu	SCN	Br	Δ
10	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_6\text{Br}_3$	969,5	39,63 39,32	36,54 35,95	24,00 24,73	опыт расчет
20	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_6\text{Br}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1317	29,19 28,94	27,15 26,46	35,79 36,40	опыт расчет
40	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_6\text{Br}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1505	25,81 25,20	23,77 23,03	42,26 42,26	опыт расчет
60	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_6\text{Br}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1505	26,54 25,20	22,12 23,03	42,91 42,26	опыт расчет
80	$\text{Cu}_6(\text{SCN})_3\text{Br}_9$	127,5	30,37 29,91	14,25 13,67	54,46 56,42	опыт расчет

Для решения вопроса об индивидуальности полученных смешанных соединений проведено их рефрактометрическое исследование, результаты которого приведены в табл. 6. Там же для сравнения даются рефрактометрические характеристики бромидов одно- и двухвалентной меди. Следует еще отметить, что показатели преломления бромороданидов (так же как и хлоророданидов) являются средними величинами, причем разброс в их определении из-за ошибки опыта или анизотропии

Таблица 6

Молекулярные рефракции бромидов и бромороданидов меди				
Состав	n	d	R_D	$R = \sum R_{\text{ион}}$
CuBr	2,116	4,72	16,3	13,74
CuBr ₂		4,71		26,52
$\text{Cu}_2(\text{SCN})_2\text{Br}$	1,94	3,03	51,1	50,62
$\text{CuSCNBrH}_2\text{O}$	1,92	3,31	31,3	35,04
$\text{Cu}_3(\text{SCN})_3\text{Br}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,90	3,60	109,0	121,2
$\text{Cu}_2\text{SCNBr}_3$	1,97	3,60	46,9	45,5

составляет $\pm 0,01-0,015$. Рефрактометрическое исследование подтверждает индивидуальность данных соединений.

Однако основным результатом действия брома на роданид меди нужно считать $\text{CuSCNBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$, а дальнейшее действие галогена приводит к постепенному вытеснению родано-группы из структуры первоначального продукта. Отсюда следует, что разложение бромороданидов в воде на CuBr_2 и CuSCN является результатом внутримолекулярного окисления-восстановления, а не отмывки составных частей соли.

Проверка индивидуальности синтезированных веществ производилась также рентгенографически, в камере РКУ на медном излучении.

Набор линий $\text{Cu}_2\text{SCNBr}_3$ находится в таком же соотношении с величиной и интенсивностью рефлексов CuSCN и CuBr_2 , как и в случае

хлоророданидов. В самом деле, при совпадении d/n CuSCN и $\text{Cu}_2\text{SCNBr}_3$ по величине интенсивности соответствующих линий, как правило, резко изменяются для малых углов отражения и не изменяются для больших:

	CuSCN ←		$\text{Cu}_2\text{SCNBr}_3$
с.	5,54	о. сл.	5,60
сл.	4,05	>	4,02
с.	2,913	>	2,895
ср.	2,595	>	2,591
с.	2,331	>	2,338
>	1,863	>	1,868
ср.	1,725	ср.	1,724
о. сл.	1,500	>	1,507
сл.	1,404	о. сл.	1,402
о. сл.	1,315	>	1,320
>	1,241	>	1,241
>	1,194	>	1,199

При сравнении же рентгенограмм бромороданида и бромида двухвалентной меди видно, что здесь интенсивности близких линий практически совпадают (табл. 7).

Если изменение интенсивности линий при сохранении величины d/n можно объяснить незначительным изменением структурного мотива CuSCN , то появление линий CuBr_2 свидетельствует только о примеси этого вещества.

Таблица 7

Рентгенограммы бромида и бромороданида меди

$\text{Cu}_2\text{SCNBr}_3$		CuBr_2	
интенсивность	d/n	интенсивность	d/n
о. сл.	6,83	ср.	1,724
сл.	6,26	о. сл.	1,561
о. сл.	5,60	ср.	1,507
"	4,02	о. сл.	1,454
"	3,58	"	1,402
сл.	3,39	"	1,353
о. сл.	3,23	сл.	1,320
с.	3,091	о. сл.	1,291
о. сл.	2,895	"	1,241
"	2,847	"	1,199
"	2,784	"	1,163
"	2,591	"	1,148
с.	2,495	"	1,058
о. сл.	2,338	"	1,034
"	1,987	"	0,8943
с.	1,954	"	0,8656
о. сл.	1,868	"	0,8332
ср.	1,778	"	0,7957
		"	0,7845
		о. сл.	6,2
		"	3,62
		с.	3,08
		"	2,49
		о. сл.	2,02
		ср.	1,96
		"	1,92
		"	1,79
		сл.	1,74
		о. сл.	1,67
		"	1,62
		сл.	1,57
		ср.	1,52
		о. сл.	1,415
		сл.	1,322
		"	1,297
		"	1,246
		"	1,152
		о. сл.	1,072

Были сделаны химические анализы бромороданидов, экспонированных в рентгеновских лучах в течение разного времени. Если в исходном соединении ($\text{CuSCNBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$) содержание родано-группы составляло 27,15%, то через 7 ч ее стало 24,04, через 14 ч — 22,64 и через 21 ч — 21,00%. Таким образом, в течение времени, равного стандартной экспозиции, разрушается примерно 23% от общего содержания SCN-группы, что и вызывает появление на рентгенограмме линий двубромистой меди.

ИОДИРОВАНИЕ

При нагревании роданистой меди с йодом в запаянной ампуле в течение 24 ч при температуре 200° получается темно-коричневый порошок йодороданида меди CuSCNJ :

Найдено, % Cu 26,09; SCN 22,16; J 51,20;
Вычислено, % Cu 25,57; SCN 23,37; J 51,07;

Это вещество имеет плотность 3,69, показатель преломления больше 2,0.

Йодороданид меди не растворяется в воде, спирте, частично растворяется в соляной кислоте при нагревании и совершенно не растворяется на холоду. В кислотах-окислителях происходит incongruentное растворение образца, увеличивающееся при нагревании, с выделением окислов азота и элементарного йода. Эти свойства отличают полученный нами продукт от возможной смеси роданистой меди и йода, что указывает на индивидуальность данного соединения.

Для окончательной проверки новизны и специфичности йодороданида меди нами была снята рентгенограмма этого соединения, которая приведена в табл. 8 наряду с данными для CuJ и J_2 [4].

Таблица 8

Рентгенограммы йода, йодида и йодороданида меди					
J_2		CuSCNJ		CuJ	
интенсивность	d/n	интенсивность	d/n	интенсивность	d/n
с.	3,69	о. сл.	3,74	с.	3,49
"	3,09	сл.	3,47	о. сл.	3,01
о. сл.	2,52	о. сл.	3,00	с.	2,14
сл.	2,44	сл.	2,352	ср.	1,82
"	2,33	"	2,133	сл.	1,51
"	2,11	о. сл.	2,011	"	1,386
ср.	2,02	с.	1,813	о. сл.	1,350
"	1,97	о. сл.	1,748	ср.	1,233
сл.	1,81	"	1,674	сл.	1,162
"	1,76	сл.	1,511	о. сл.	1,070
ср.	1,71	с.	1,390	"	1,020
сл.	1,51	о. сл.	1,359	"	0,956
о. сл.	1,460	"	1,280	"	0,921
"	1,400	с.	1,232	"	0,847
		ср.	1,162	"	0,809
		о. сл.	1,135	"	0,787
		сл.	1,066		
		ср.	1,020		
		о. сл.	1,007		
		ср.	0,955		
		сл.	0,920		
		"	0,891		
		ср.	0,873		
		с.	0,846		
		"	0,807		
		"	0,787		

Сравнение рентгенограмм (табл. 8) показывает, что линии йодороданида весьма специфичны: всего только три слабые линии (3,00, 1,51 и 1,359) совпадают по величине и интенсивности с линиями йода и йодистой меди, причем линия 1,51 имеется у этих последних веществ и должна, следовательно, игнорироваться. Сравнение рентгенограммы йодороданида с величинами межплоскостных расстояний роданистой меди

также указывает на очень ограниченное число близких линий, причем в четырех случаях они близки и по интенсивности, а в четырех случаях — резко отличаются (см. табл. 3). Здесь, в весьма ограниченной степени, наблюдается такая же картина, как и у хлоро- и бромороданидов: при малых углах рассеяния происходит инверсия интенсивности, при больших — совпадение.

Однако в случае йодороданида меди наблюдается эффект, которого не было у хлористых и бромистых производных. А именно, примерно половина линий CuSCNJ совпадает по величине, но отличается по интенсивности от йодистой меди, тогда как в прежних случаях такое соотношение было характерно для роданистой меди. В самом деле:

CuSCNJ	→	CuJ
сл. 3,47	с.	3,49
с. 1,813	ср.	1,82
> 1,390	сл.	1,386
> 1,232	ср.	1,233
ср. 1,162	сл.	1,162
сл. 1,066	о. сл.	1,070
ср. 1,020	>	1,020
> 0,955	>	0,956
с. 0,846	>	0,847
> 0,807	>	0,809
> 0,787	>	0,787

Таким образом, если структура хлоро- и бромороданидов основывается на структурном мотиве роданистой меди, то для йодороданида можно считать, что исходной структурой является решетка CuJ . Чтобы проверить это структурное различие, мы пытались обнаружить фотохимическую реакцию, аналогичную приведенным выше. Однако ничего подобного в данном случае обнаружить не удалось, хотя были испробованы многие варианты рентгенографирования по длительности и силе воздействия. Этот отрицательный результат может быть поставлен в связь со структурной специфичностью CuSCNJ и отсутствием CuJ_2 .

Исследование реакций окисления роданистой меди проводилось и в других условиях, например при избытке йода, но результат практически был тем же самым. Поскольку при обработке бензолом йодороданида меди происходит частичное (вообще говоря, очень медленное) отмывание йода, удаление избыточного йода всегда сопряжено с риском получения неточного состава.

ВЫВОДЫ

В результате исследования взаимодействия сухих галогенов с кристаллической роданистой медью установлено:

1. Действие хлора сводится вначале к присоединению и, следовательно, окислению меди, и лишь потом происходит вытеснение родано-группы атомами хлора. Основным продуктом хлорирования роданистой меди является хлоророданид состава $\text{Cu}_3(\text{SCN})_2\text{Cl}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

2. Бром также вначале присоединяется к CuSCN , и только после полного окисления металла при длительном дальнейшем воздействии происходит замещение родано-группы атомами брома. Основной формой бромороданидов является $\text{CuSCNBr} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

3. Йодирование при повышенной температуре приводит к соединению состава CuSCNJ .

4. Физико-химическое исследование галогенороданидов (измерение их удельных весов, показателей преломления, съемка рентгенограмм) доказывает новизну и индивидуальность этих веществ.

5. Под действием рентгеновских лучей в хлоро- и бромороданидах происходит фотохимическая реакция с отщеплением роданогруппы и образованием некоторого количества чистых галогенидов меди. Исследована кинетика фотохимических реакций. В случае йодороданида такого процесса не обнаружено. Это различие в свойствах увязано с различием в структурах хлоро- и бромороданида, с одной стороны, и йодороданида — с другой.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
18/V 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бацанов, Ю. А. Литвин. Изв. СО АН СССР, № 9, 63 (1959).
2. Г. Б. Бокий, С. С. Бацанов. Кристаллография, 1, 81 (1956).
3. Г. Б. Бокий, С. С. Бацанов. Вести. МГУ, № 10, 87 (1954).
4. А. И. Китайгородский. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел. Гостехиздат, 1952.
5. Б. В. Некрасов, Курс общей химии. Госхимиздат, 1952.

П. В. ГЕЛЬД, И. И. МАТВЕЕНКО, С. И. АЛЯМОВСКИЙ

О ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКИСЛОВ ВАНАДИЯ УГЛЕРОДОМ

Вопросы углетермического восстановления окислов металлов пятой группы периодической системы элементов в последнее время привлекают все возрастающее внимание исследователей. В частности, это относится к процессу восстановления окислов ванадия. Выяснилось, что методом углетермии можно получать весьма чистый металл, отличающийся высокими механическими и коррозионными характеристиками [1—4], в связи с этим, а также с перспективностью использования карбидов и оксикарбидов ванадия в технике [5—9] несомненный интерес представляют исследования кинетики и механизма восстановления $V_x O_y$ углеродом и, в частности, выявление характера и последовательности образования промежуточных продуктов взаимодействия, тем более что в системах $V-C$, $V-O$ и $V-C-O$ образуются фазы переменного состава с далеко простирающимися областями гомогенности [5—7, 10]. Оказывается, что здесь возможно полное изоморфное взаимозамещение атома углерода и кислорода, не только не нарушающее типа, но и мало меняющее параметры решетки (табл. 1).

Кинетические характеристики процесса углетермического восстановления окислов ванадия изучались немногими исследователями. Наиболее полно вопросы взаимодействия V_2O_3 с углеродом рассмотрены в работе [1]. Авторы установили зависимость скорости процесса от температуры, давления газовой фазы, условий подготовки шихты, природы восстановителя и т. д. В ряде последующих публикаций [2—4] были изучены условия получения особо чистого металла, обладающего высокими пластическими свойствами. К сожалению, при этом фазовый состав промежуточных продуктов восстановления авторами не определялся.

В работе [14] выполнено тензометрическое исследование условий образования карбидов ванадия (из V_2O_3 и C) и сделан вывод о ступенчатости процесса и последовательном формировании $VO_{1 \pm x}(\delta)$ -, $V_4O(\alpha')$ - и $VC(\varepsilon)$ - фаз.

Кинетика восстановления высших окислов ванадия (V_2O_5 и VO_2) изучалась в области относительно низких температур [15—17]. Авторы [15, 16] установили зависимость температуры начала реакции от точки плавления восстанавливаемого окисла, определили энергию активации взаимодействия, а также высказали предположение о том, что процесс развивается через газовую фазу (с участием паров окислов и продуктов их диссоциации). В работе [17] сообщаются сведения о кинетических характеристиках взаимодействия при $t \leq 1200^\circ C$, а также о природе образующихся промежуточных продуктов восстановления.

Особый интерес представляет серия публикаций [5—7, 18]. В ней приводятся результаты подробных структурных исследований продуктов

Таблица 1
Характеристика фазовых составляющих системы V—C—O по данным ряда авторов

Фаза*	V—C			V—O		V—C—O	
	Симметрия элементарной ячейки	пределы области гомогенности	период решеток, Å	пределы области гомогенности	период решеток, Å	пределы области гомогенности	период решеток, Å
α	Куб. об.-ц.	V—VC ₀₋₀₁ [5-7]	~3,018	V—VO ₀₋₀₃ [5-7]	3,018—3,035	V—VO ₀₋₀₃ C ₀₋₀₁ [5-7]	3,018—3,035
α'	Тетр. об.-ц.	—	—	VO ₀₋₁₅ —VO ₀₋₂₅ [11]	a = 2,984 c = 3,257 — 3,516	Неизвестны	—
β	Тип NaCl	—	—	—	—	VO _{0,6-0,7} C ₀₋₁ [5-7]	4,02
γ	Гексаг.	VC ₀₋₄₁ —VC ₀₋₅₀ [5-7]	a = 2,870 — 2,894; c = 4,546 — 4,572	—	—	VO ₀₋₂₃ C ₀₋₁₆ — VC ₀₋₅₀ O ₀₋₁₅ [5-7]	a = 2,871 — 2,900 c = 4,536 — 4,576
δ	Тип NaCl	VC ₀₋₀₃ —VC ₀₋₇₉ [12]	4,117—4,133	VO ₀₋₈₅ —VO ₁₋₂₅ [13]	4,015—4,130	VO ₀₋₈₀ C ₀₋₂₈ — VC ₀₋₀₂ O ₀₋₁₇ [5-7]	4,115—4,130
ϵ	Тип NaCl	VC ₀₋₇₉ —VC ₀₋₉₂ [12]	4,146—4,157	—	—	VC ₀₋₆₃ O ₀₋₁₈ — VC ₀₋₉₅ O ₀₋₆₈ [5-7]	4,15—4,16
η	Ромбоэдрич. (гексаг.)	—	—	VO > 1,44 — VO < 1,65 [13]	a = 4,94; c = 14,0	—	—

* Здесь и ниже приняты обозначения, использованные в работах [5—7].

частичного восстановления V₂O₃, полученных как при низких, так и при высоких температурах, в зависимости от продолжительности взаимодействия. Основываясь на полученных результатах, авторы разработали вариант фазовой диаграммы системы V—C—O, наметили схему механизма процесса углетермического восстановления и установили некоторые термодинамические характеристики поливариантной системы VC_xO_y—C—CO. В частности, ими предполагается, что при 1100° в начале образуется δ -фаза (по составу близкая к VO_{1,2}), переходящая по мере изоморфного замещения кислорода на углерод в оксикарбидную δ -, а затем и в ϵ -фазу. При более высоких температурах ($\geq 1400^\circ$) первичным продуктом является окисная фаза состава \sim VO_{0,7}. В последующем насыщение ее углеродом приводит к образованию оксикарида, лишь затем переходящего в более богатые углеродом δ - и ϵ -фазы.

Следует заметить, что в работе [17] была установлена несколько иная последовательность образования оксикаридных фаз (при 1100°). Здесь рентгенографически первоначально обнаруживалось присутствие ϵ -фазы, а затем уже δ -фазы. Причина этого обстоятельства оставалась неясной и делала целесообразной постановку более систематических исследований. В частности, интересно было проследить поведение и роль δ -фазы в указанных процессах в связи с ее своеобразным строением. Дело в том, что наличие у нее широкой области гомогенности объясняется [13] однотипностью структур δ -фаз (в системах V—C и V—O), а также статистическим распределением вакансий в обеих подрешетках для VO_{1±x} (и в одной для VC_x [12]). Все это, очевидно, обеспечивает легкую замещаемость атомов углерода и кислорода.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследованиях процесса углетермического восстановления окислов ванадия использовались ламповая сажа, порошок спектрально чистого графита и пятиокись ванадия (ч. д. а.). Кроме того, из пятиокиси ванадия описанными ранее методами [19] синтезировались VO₂ и V₂O₃.

Перед началом опытов реагенты предварительно сушились и обезгаживались, а затем в необходимой пропорции (из расчета получения ванадия или его карбидов) тщательно смешивались и брикетировались (при удельном давлении прессования 300 кг/см²). Полученные цилиндрические образцы имели диаметр 15 мм и высоту около 10—12 мм.

Кинетические исследования осуществлялись в вакуумной установке, аналогичной описанной ранее [17], за скоростью реакции следили с помощью деформационных весов. Образцы нагревали в индукционной печи МВП-3 с графитовым нагревателем. Температура контролировалась W-Мо термопарой. Навеска брикетированной шихты весом 4—5 г помещалась в тонкостенный графитовый тигелек, подвешенный к пружинному индикатору. Наблюдение за изменением веса осуществлялось с помощью катетометра и контролировалось взвешиванием образца до и после опыта на аналитических весах.

Для предупреждения взаимодействия в процессе разогрева эксперименты проводились в следующем порядке. Образец медленно нагревался до 800° (при непрерывной откачке газообразных продуктов), затем в систему, отключенную от вакуума, вводился очищенный аргон (200—300 мм рт. ст.), и температура поднималась до заданного значения. По достижении необходимой температуры снова создавался вакуум и фиксировалось начало опыта.

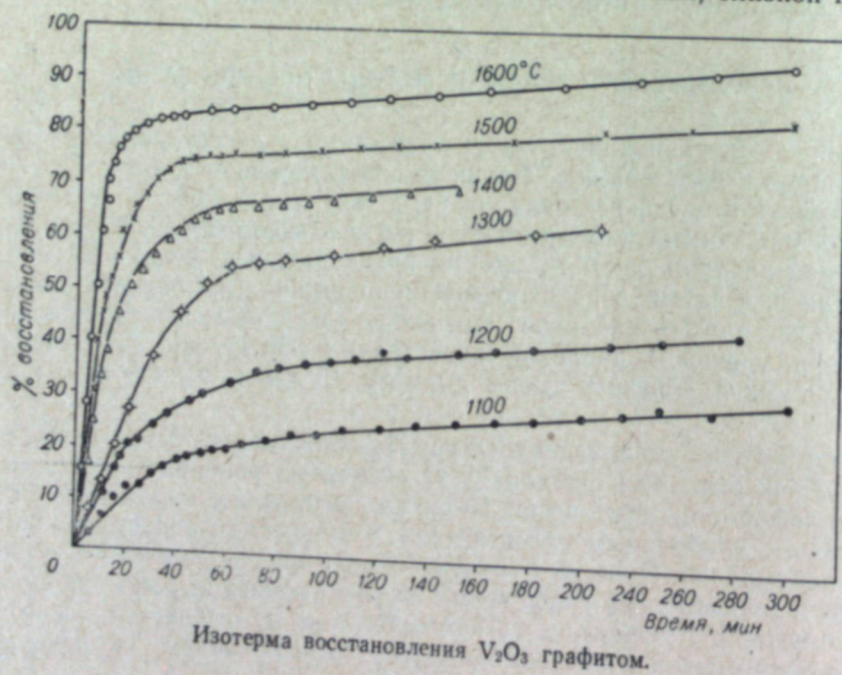
Во второй серии опытов синтез промежуточных продуктов восстановления осуществлялся в неизотермических условиях. В длинную лодочку вплотную друг к другу укладывались 20—25 брикетов. Система устанавливалась в горизонтальную вакуумную печь, обладающую достаточно развитой неизотермической зоной. Благодаря этому при проведении опыта различные образцы нагревались одинаковое время (в разных экспериментах от 2 до 12 ч) при разных температурах (от 400 до 1200°). В результате получалась серия препаратов с заметно отличающимися степенями восстановления.

Наконец, третья серия опытов, проведенная в индукционной печи осуществлялась в изотермических условиях, но при различных периодах взаимодействия (от 0,25 до 5 ч).

Химический состав препаратов определялся весовым и объемным методами [20]. Фазовый состав продуктов взаимодействия контролировался рентгенографически. Съёмки производились в хромовом излучении с применением порошковых камер диаметром 57,3 и 143,3 мм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Кинетика восстановления V_2O_3 порошком спектрально чистого графита изучалась в области температур от 1100 до 1600° с использованием шихты ($V_2O_3 + 7C$), содержащей избыток углерода. Полученные при этом данные обобщены на рисунке. Как видим, при 1100° процесс развивается достаточно быстро до степени восстановления, близкой к 20%.



Последующее удаление кислорода происходит весьма медленно. Аналогичными особенностями характеризуются и высокотемпературные изотермы.

С ростом температуры скорость процесса восстановления (в начальных стадиях его развития) заметно возрастает. Однако даже при 1600° за 20 мин восстановление осуществляется лишь на 75%, а за 3 ч — только на 90%.

Рентгенографический анализ обнаружил, что при низких температурах взаимодействия конденсированные продукты реакции содержат наряду с невосстановленной окисью ванадия также ϵ -оксикарбидную фазу. С ростом температуры в продуктах реакции исчезают оксидные фазы*, а количество оксикарбидных растёт.

Фазовый состав продуктов восстановления пятиоксида ванадия сажей ($V_2O_5 + 7C$) в неизотермических условиях изучался на препаратах, полученных при ступенчатом повышении температуры. Максимальная температура образцов при этом достигала: 600° в течение 4 ч, 680° — 2 ч и 750° — 6 ч. В конце опыта минимальная температура препаратов составляла 410°. Рентгеновские и химические исследования обнаружили во всех препаратах, помимо избыточного углерода, лишь чисто оксидные фазы: VO_2 , V_6O_{13} и V_3O_5 . Последующее нагревание полученных продуктов в течение 5 ч при более высоких температурах (540—1000°) привело к дальнейшему восстановлению. При этом в пробах, нагревавшихся до температуры $\geq 790^\circ$, обнаруживались V_2O_3 и оксикарбидная ϵ -фаза.

Близкие результаты были получены и в опыте, где брикеты $V_2O_5 + 7C$ нагревались в течение 5 ч при несколько более высоких температурах (720—1150°). Оказалось, что и здесь при $t \geq 800^\circ$ в продуктах реакции отмечались лишь фазы V_2O_3 и ϵ -оксикарбида. Положение практически не менялось, если в образцах снижалось содержание углерода до соответствующего условиям получения металлического ванадия ($V_2O_5 + 5C$). И здесь первичной оксикарбидной фазой, рентгенографически обнаруживаемой вместе с трехокисью, являлась ϵ -фаза.

Более глубокое восстановление наблюдалось при работе с шихтами, содержащими низшие окислы. Так было, например, в опыте по восстановлению VO_2 сажей, проведенном в течение 2 ч при температурах 1070—1200°. Оказалось, что и в этом случае во всех образцах наряду с трехокисью присутствовала оксикарбидная ϵ -фаза. Препараты же, нагревавшиеся до 1130—1200°, кроме того, содержали оксикарбидную δ -фазу. Совершенно аналогичные результаты были получены при изучении образцов, находившихся в менее изотермических условиях (перепад температур составлял 600—1200°). Здесь первоначально обнаруживалось присутствие ϵ -, а затем уже δ -оксикарбидной фазы.

К подобному же выводу о последовательности образования промежуточных продуктов приводят результаты исследования образцов, подвергнутых нескольким операциям отжига. Как видно из табл. 2, и в этом случае первоначально выявляется ϵ -фаза, в то время как δ -фаза становится рентгенографически обнаруживаемой лишь после дополнительной прокалики.

Следует заметить, что уменьшение содержания углерода в шихте существенно меняет последовательность образования оксикарбидных фаз. Это, в частности, видно из результатов серии опытов, где использовались брикеты из смеси V_2O_3 и сажи, составы которых рассчитывались на получение низших оксидов ($V_{0,8}$, VO , $VO_{1,2}$). При этом, как видно из данных, приведенных в табл. 3, во всех случаях в продуктах реакции наряду с трехокисью ванадия удавалось фиксировать присутствие лишь δ -оксикарбидной фазы. Образования же ϵ -фазы здесь установлено не было.

Дополнительный материал по обсуждаемому вопросу дают результаты третьей серии опытов, проведенных в изотермических условиях в более широком интервале температур и степеней восстановления. Эти

* Как и ранее [17], ни в одном из препаратов нам не удалось обнаружить V_4O_7 и VO_{1+x} -фазы.

Таблица 2

Рентгенографический фазовый состав продуктов восстановления окислов ванадия углеродом

Заданный состав и исходные компоненты	Фазовые составляющие* после		
	1-й прокалки	2-й прокалки	3-й прокалки
$V_2O_3 + \text{сажа} \rightarrow VC_{0,75}$	1150°, 8 ч $V_2O_3 + \varepsilon$	1150°, 4 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta$	1150°, 4 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta$
$VO_2 + \text{графит} \rightarrow V_{0,75}$	1150°, 4 ч $V_2O_3 + C + \varepsilon$	1150°, 4 ч $V_2O_3 + \varepsilon + C$	1150°, 8 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta + C$
$(V_2O_3 + V_3O_5) + \text{сажа} \rightarrow V$	1200°, 2 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta$	1150°, 6 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta$	—
$(V_2O_3 + V_3O_5) + \text{сажа} \rightarrow VC_{0,75}$	970°, 2 ч $V_2O_3 + \varepsilon$	1150°, 6 ч $V_2O_3 + \varepsilon + \delta$	—

* Здесь и в табл. 4 подчеркнуты фазы, преобладающие в количественном отношении.

Таблица 3

Фазовый состав продуктов восстановления V_2O_3 сажей при 1200° в зависимости от содержания углерода в шихте ($V_2O_3 + nC$)

n	1,4	1,0	0,6
Время спекания, ч	0,5 1,0 2,0	1,0	0,5 1,0 2,0
Фазовые составляющие	$V_2O_3 + \delta$ -фаза		

опыты осуществлялись с использованием брикетов, изготовленных из шихты ($V_2O_3 + 5C$), содержащей в качестве восстановителя как сажу, так и графит. Результаты рентгенографического анализа полученных продуктов представлены в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что при взаимодействии как с сажей, так и с графитом при низких температурах вначале обнаруживается образование ε -фазы. С ростом же температуры удается установить присутствие и других оксикарбидных фаз. В продуктах взаимодействия V_2O_3 с сажей δ -фаза обнаруживается, начиная с 1200° (степень восстановления $x=46\%$). Ее количество сначала растет с повышением температуры и полноты отнятия кислорода (примерно до $x=60-65\%$), а затем довольно быстро убывает (при $x>70\%$). Несколько сложнее дело обстоит при восстановлении V_2O_3 графитом, где наряду с ε - и δ -фазами обнаруживается присутствие γ -фазы. Однако и здесь δ - и γ -фазы являются промежуточными фазами, исчезающими при достаточно высоких температурах и больших степенях восстановления ($>75-80\%$).

Таблица 4
Результаты рентгенографического исследования продуктов восстановления V_2O_3 углеродом

Температура восстановления, t°С	Время восстановления, ч	% восстановления	Фазовые составляющие
1000	2	2,2	$V_2O_3 + \text{сажа} \rightarrow VC$
1100	2	25,2	$V_2O_3 + \text{оч. мало } \varepsilon$
1200	2	46,2	$V_2O_3 + \varepsilon$
1300	0,25	41,8	$V_2O_3 + \varepsilon + \text{мало } \delta$
1300	0,5	46,7	$V_2O_3 + \varepsilon + \text{мало } \delta$
1300	1	47,9	$\varepsilon + \text{мало } \delta + \text{мало } V_2O_3$
1300	1,5	55,9	$\varepsilon + \delta + \text{мало } V_2O_3$
1300	2	64,5	$\varepsilon + \text{ср. } \delta + \text{оч. мало } V_2O_3$
1300	4	65,2	$\varepsilon + \text{ср. } \delta$
1400	0,5	73,4	$\varepsilon + \text{мало } \delta$
1500	1	98,2	ε
1600	0,7	96,2	ε
1150	4,25	36,0	$V_2O_3 + \text{графит} \rightarrow VC$
1200	5	44,1	$V_2O_3 + C + \varepsilon$
1300	3,25	62,9	$V_2O_3 + C + \text{ср. } \varepsilon + \text{мало } \delta$
1400	2,7	70,9	$\text{ср. } \delta + C + \text{мало } \varepsilon + \text{мало } \gamma$
1500	5	79,1	$\text{ср. } \delta + C + \text{мало } \varepsilon + \text{мало } \gamma$
1600	1	87,0	$\varepsilon + \text{мало } C + \text{оч. мало } \gamma + \text{оч. мало } \delta$
			$\varepsilon + \text{мало } C + \text{оч. мало } \gamma$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Своеобразная структура кинетических кривых, приведенных на рисунке, указывает на то, что восстановление V_2O_3 углеродом на различных этапах взаимодействия регламентируется различными элементарными актами. Если начальные стадии процесса, развивающиеся относительно быстро, не связаны с существенными диффузионными осложнениями и в основном зависят от скорости газификации углерода и интенсивности адсорбционно-кристаллохимических актов [17], то с ростом слоя конденсированных продуктов реакции роль этих этапов существенно меняется. Именно в связи с этим изотермы рисунка сравнительно быстро достигают своеобразного насыщения. Достаточно резкие перегибы кинетических кривых, т. е. резкое изменение временной зависимости степени восстановления, указывают на изменение регламентирующих стадий процесса и на переход от кинетического его режима к диффузионному.

В связи с этим вряд ли уместно пытаться обобщить полученные кинетические данные единой закономерностью. На начальных стадиях восстановления, особенно при не слишком высоких температурах, развиваются процессы, достаточно подробно обсуждавшиеся в предыдущей работе [17]. Более глубокое восстановление, очевидно, регламентируется диффузией частиц O, C, V через решетки окислов и особенно оксикарбидов, непосредственные сведения о которых пока отсутствуют. О них можно судить лишь на основании косвенных данных и, в частности, по результатам, полученным при наблюдении за последовательностью формирования различных фазовых составляющих системы. Именно поз-

тому обсуждению условий образования промежуточных продуктов реакций ниже будет уделено большое внимание.

Приведенный выше материал указывает на существенно различные механизмы и глубину восстановления высших и низших окислов ванадия в высоко- и низкотемпературных условиях.

В частности, в продуктах взаимодействия V_2O_5 с сажей ниже 750° обнаруживаются лишь чисто оксидные фазы: V_2O_5 , V_6O_{13} , VO_2 , V_3O_5 и V_2O_3 . Интересно отметить, что как и в случае использования в качестве восстановителя водорода [19], образования $VO_{1,87}$, $VO_{1,86}$, $VO_{1,84}$, $VO_{1,80}$ и $VO_{1,75}$ здесь установить не удалось. По-видимому, достаточно большие скорости взаимодействия и близость структур смежных окислов обусловили либо быстрое превращение гомологических соседей друг в друга, либо то, что последние вовсе не формировались, и по ходу реакции в макроскопических количествах возникали лишь окислы с достаточно отличающимися (и следовательно, медленно перестраиваемыми) структурами. Более подробно этот вопрос был обсужден ранее [19], и приведенный выше материал может рассматриваться лишь как дополнительное обоснование соображений, изложенных в этой статье. Особого внимания заслуживает вопрос о последовательности формирования оксикарбидных фаз. При достаточном избытке углерода в шихте при восстановлении как V_2O_5 , так и VO_2 , V_2O_3 рентгенографически удавалось фиксировать в качестве первичного оксикарида ϵ -фазу, богатую углеродом. Более бедная углеродом δ -фаза обнаруживалась лишь на более глубоких стадиях восстановления или, что особо важно, при весьма небольших содержаниях углерода в системе (см. табл. 3). Это хорошо согласуется с ранее опубликованными данными, полученными при изучении кинетики восстановления V_2O_5 и VO_2 углеродом при температурах до 1200° [17].

На первый взгляд, между результатами наших исследований и данными [5—7] существует некоторое противоречие, однако следует сразу заметить, что это не так. В работах [5—7] отмечалось, что при содержании в шихте углерода в количестве, соответствующем необходимому, для получения карбидов с малым содержанием углерода (до $VC_{0,3}$) получаются продукты реакции, на рентгенограммах которых, наряду с линиями V_2O_3 , первично обнаруживаются интерференции, соответствующие оксикаридной δ -фазе. Первоначальное же образование ϵ -фазы наблюдается только при больших содержаниях углерода. К сожалению, на это обстоятельство при обсуждении результатов опытов авторы не обратили внимания читателя. Между тем именно с этим, по-видимому, связаны возможные различия в последовательности образования оксикаридных фаз, обнаруживаемых рентгеновским методом.

При значительном содержании углерода процесс развивается достаточно интенсивно и образующаяся в качестве первичного продукта тонкая прослойка δ -фазы использованными методами фазового анализа не выявляется. Следует заметить, что в связи с существенным различием в структурах V_2O_3 (ромбоэдрическая решетка) и δ -фазы (кубическая решетка) зарождение и рост последней, очевидно, связаны с заметными энергетическими осложнениями. Между тем перестройка δ - в ϵ -фазу, по-видимому, может осуществляться легко в связи с однотипностью их кристаллических решеток и близостью периодов идентичности. Благодаря этому при достаточно интенсивной подаче атомов углерода, восстанавливающих окислы (оксикариды) и изоморфно замещающих последних кислород, можно ожидать быстрой перестройки δ - в ϵ -фазу. Иными словами, в этих условиях этап зарождения и роста δ -фазы является лимитирующим, а ее перестройка в ϵ -фазу протекает легко

В связи с этим в продуктах взаимодействия не накапливается δ -фаза и рентгеновскими методами обнаруживается лишь ϵ -фаза. По тем же причинам параметры решетки образующейся в этих условиях ϵ -фазы оказываются близкими к правой границе ее области гомогенности ($a=4,16 \text{ \AA}$). Более того, на рентгенограммах продуктов частичного восстановления V_2O_3 сажей ϵ -фазе соответствуют достаточно острые линии, расположенные в больших углах. Это говорит об успешности перестройки $\delta \rightarrow \epsilon$ и квазиравновесности ϵ -фазы, достаточно быстро насыщающейся углеродом. Аналогичными особенностями отличаются и рентгенограммы, снятые с образцов, полученных при восстановлении высших окислов.

Так, вероятно, развивается взаимодействие лишь в условиях интенсивной подачи атомов углерода, т. е. в начальной стадии реакции. Оно, очевидно, существенно ослабляется либо по ходу развития процесса восстановления и утолщения слоя продуктов реакции, либо при заметном понижении содержания углерода в шихте.

В первом случае после периода достаточно интенсивного взаимодействия, ведущего в основном к образованию ϵ -фазы, скорость перестройки δ - в ϵ -фазу постепенно будет замедляться, в то время как стадия $V_2O_3 \rightarrow \delta$ окажется в более благоприятных кинетических условиях. В связи с этим количество δ -фазы со временем начнет возрастать и она окажется рентгенографически обнаруживаемой (см. табл. 4). Следует, однако, заметить, что на рентгенограммах подобных препаратов (полученных, например, при восстановлении V_2O_3 сажей на 40—70%) наблюдается заметное размытие линий δ -фазы, расположенных в больших углах, тогда как линии, принадлежащие ϵ -фазе, остаются достаточно острыми. Это, очевидно, указывает на то, что даже в рассматриваемых условиях диффузионные процессы в ϵ -фазе и скорость ее образования остаются достаточно большими, в то время как «гомогенизация» и формирование δ -фазы осуществляются относительно медленно. Более того, при достаточно большом избытке углерода к концу взаимодействия, когда реакционная граница V_2O_3 — δ -фаза существенно сокращается, относительная скорость процесса превращения $\delta \rightarrow \epsilon$ вновь возрастает и содержание δ -фазы начинает уменьшаться. Иными словами, в рассматриваемых условиях δ -фаза образуется в качестве промежуточного продукта, количество которого меняется в соответствии с кинетической обстановкой, т. е. соотношением скоростей ее образования и перехода в ϵ -фазу.

Немаловажным в описанном взаимодействии является и соотношение скоростей диффузии других реагентов. Например, если скорость отвода кислорода из оксикаридной фазы достаточно велика, а диффузия атомов ванадия в решетку δ -фазы осуществляется успешней, чем атомов углерода (например, благодаря использованию менее активного восстановителя), то, вероятно, δ -фаза может переходить не в ϵ -фазу, а в γ -фазу, а при подходящих условиях и в металлический ванадий. Работая с брикетами, можно ожидать одновременного развития в различных частях системы, находящихся не совсем в эквивалентных условиях, перехода δ -фазы как в ϵ - так и в γ -фазу. Судя по данным табл. 4, так обстоит дело при использовании менее активного восстановителя — порошка графита.

Следует, впрочем, заметить, что в этом случае количество γ -фазы остается заметно меньшим, чем δ -фазы. Это указывает на ограниченность участков, в которых создаются условия, обеспечивающие более интенсивный подвод ионов ванадия (или, что менее вероятно, отвода атомов кислорода).

Если же в шихте имеется недостаток углерода, то скорость образования δ -оксикарбидной фазы перестает регламентировать процесс и ϵ -фаза в продуктах реакции отсутствует. В этих условиях относительно небольшой поток атомов углерода полностью используется на осуществление первого этапа превращения $V_2O_3 \rightarrow \delta$ и новая реакционная граница может не возникать (см. табл. 3).

Таким образом, при любых вариантах углетермического восстановления V_2O_3 в качестве первичного продукта реакции образуется оксикарбидная δ -фаза. Последующие стадии ее превращения определяются относительной подвижностью и концентрацией частиц O, C и V. В зависимости от конкретных условий δ -фаза может с различной скоростью перестраиваться в решетку высшего ϵ -карбида (большие избытки углерода, высокая активность восстановителя и повышение температуры) или низшего γ -карбида и даже металла (меньшее количество восстановителя, пониженная активность его и т. д.). В этой схеме восстановления V_2O_3 углеродом, обоснованной результатами наших опытов и согласующейся с данными [5—7], подчеркивается исключительное значение промежуточной δ -фазы, обеспечивающей относительно легкий перенос частиц O, C и V. По-видимому, это обусловлено своеобразной, дефектной, ее структурой, на роль которой обращалось внимание ранее [13].

ВЫВОДЫ

1. Изучена кинетика восстановления V_2O_3 углеродом в области температур от 1100 до 1600° С.
2. Отмечено, что начальная стадия процесса регламентируется газификацией углерода и адсорбционно-кристаллохимическими актами, в то время как заключительная — диффузионными процессами.
3. Установлено, что первичным продуктом углетермического восстановления V_2O_3 является δ -фаза. В зависимости от конкретных условий (состав шихты, природа восстановителя, температура и т. д.) она может переходить либо в ϵ -фазу, либо в γ - и δ -фазу.
4. Отмечено, что при низких температурах (<800° С) восстановление высших окислов (V_2O_5 , VO_2) углеродом ведет к формированию V_6O_{13} -, VO_2 -, V_3O_5 - и V_2O_3 -фаз. Промежуточные окислы $VO_{1,87}$, $VO_{1,86}$, $VO_{1,84}$, $VO_{1,80}$ и $VO_{1,75}$ при этом не обнаруживаются.

Уральский филиал АН СССР,
Свердловск

Поступила в редакцию
24/VI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Карасев, В. И. Кашин, М. С. Макунин, А. Ю. Поляков, А. М. Самарин. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 4, 94 (1956).
2. А. Ю. Поляков. В сб. Применение вакуума в металлургии, Изд. АН СССР, 1958, стр. 147.
3. М. С. Макунин, А. Ю. Поляков, А. М. Самарин. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, металлург. и топливо, № 2, 35 (1959).
4. А. Ю. Поляков. Металлургия ванадия. Metallurgizdat, 1959.
5. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт. Докл. АН СССР, 96, 1165 (1954).
6. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт. Журн. неорг. хим., 2, 1566, 2581 (1957).
7. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт. Журн. неорг. хим., 3, 403 (1958).
8. Г. В. Самсонов, Я. С. Уманский. Твердые соединения тугоплавких металлов. Metallurgizdat, 1957.
9. Г. А. Меерсон, О. Р. Крейн. Журн. неорг. хим., 5, 1924 (1960).
10. H. Krainer, K. Kopricky. Berg. u. Hüttenmann Mh., 92, 166 (1947).
11. A. U. Seybolt, H. T. Sumsion. J. Metals, 5, 292 (1953).

12. С. И. Алямовский, П. В. Гельд, И. И. Матвеев. Журн. структ. хим. (в печати).
13. П. В. Гельд, С. И. Алямовский, И. И. Матвеев. Физ. металлов и металловед. 9, 315 (1960).
14. Г. В. Самсонов. Укр. хим. журнал. 23, 287 (1957).
15. В. П. Елютин, Р. Ф. Меркулова, Ю. А. Павлов. Науч. докл. высш. школы, Металлургия, № 3, 10 (1958).
16. Ю. А. Павлов. В сб. Производство и обработка стали и сплавов, Metallurgizdat, 1960, стр. 16.
17. И. И. Матвеев, П. В. Гельд, С. И. Алямовский. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 11, 77 (1960).
18. В. И. Желанхин, В. С. Куцев, Б. Ф. Ормонт. Журн. неорг. хим. 3, 1237 (1958).
19. П. В. Гельд, С. И. Алямовский, И. И. Матвеев. Журн. неорг. хим., 5, 1678 (1960).
20. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт, М. З. Нахимовская. Журн. анал. хим., 11, 177 (1956).

В. Г. БАМБУРОВ, Н. В. ДЕМЕНЕВ, В. М. ПОЛЯКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ
В СИСТЕМЕ $KF - ZrF_4 - H_2O$ ПРИ $20^\circ C$

Исследование растворимости и состава твердых фаз в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$ важно для научного обоснования технологического процесса извлечения циркония из концентратов. Эта система является частью более сложной системы, получающейся при переработке комплексного сырья, содержащего титан, ниобий и цирконий, кремнефторидным методом.

С фторидами различных металлов тетрафторид циркония образует большое число комплексных соединений, носящих название фторцирконатов — $Mx[ZrFy]$. Из водных растворов выделены фторцирконаты с различным отношением $MF : ZrF_4$, где M — одновалентный металл.

В технологии циркония большое значение имеет калиевая соль K_2ZrF_6 , выпадающая при испарении раствора, содержащего ZrF_4 и KF [1]. Она образуется также при сплавлении двуокиси циркония с бифторидом калия [1].

Двойной фторид циркония и калия состава K_2ZrF_6 , как указывают Венабл, Гевеси и др. [2, 3], может быть получен при смешивании эквивалентных количеств ZrF_4 и KF . Эта соль кристаллизуется в виде бесцветных ромбических призм [1]. По данным Берцелиуса и др. (см. [4]), при наличии в растворе избытка ZrF_4 выпадает соль состава $KZrF_5$.

В литературе [5] есть указания, что при избытке KF образуется гептафторцирконат калия K_3ZrF_7 , кристаллизующийся в кубической системе.

Согласно данным Венабла [2], при кристаллизации указанных солей всегда выпадает соль состава K_2ZrF_6 . Однако Гевеси [3] утверждает, что соль состава $KZrF_5$ растворяется конгруэнтно и не разлагается при перекристаллизации.

Таким образом, из краткого литературного обзора видно, что о свойствах комплексных фтористых солей циркония в литературе имеются разноречивые данные.

В настоящей статье приводятся данные по растворимости в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$ при $20^\circ C$. Рентгенографический анализ соединений, полученных нами при исследовании этой системы, производился мл. науч. сотр. УФАН СССР С. И. Алямовским.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования системы $KF - ZrF_4 - H_2O$ были приготовлены соли тетрафторида циркония ($ZrF_4 \cdot 3H_2O$) и фтористого калия (KF).

Тetraфторид циркония был приготовлен растворением чистой двуокиси циркония в плавиковой кислоте с последующим выпариванием раствора до кристаллизации соли состава $ZrF_4 \cdot 3H_2O$ [4]. Полученная

соль содержала 41,60% Zr , 35,20% F и 24,20% H_2O . Для $ZrF_4 \cdot 3H_2O$ вычислено 41,23% Zr , 34,35% F и 24,42% H_2O .

Фтористый калий, приготовленный из водного реактивного препарата марки «чистый» путем двойной перекристаллизации, содержал 67,30% K и 32,10% F . Для KF вычислено 67,40% K и 32,60% F .

Методика эксперимента описана нами ранее [6].

Данные по растворимости в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$ приведены на рис. 1, 2 и в табл. 1.

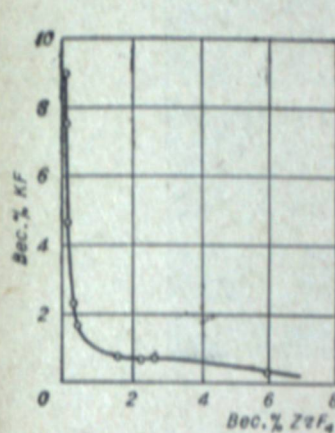


Рис. 1. Изотерма растворимости при $20^\circ C$ в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$.

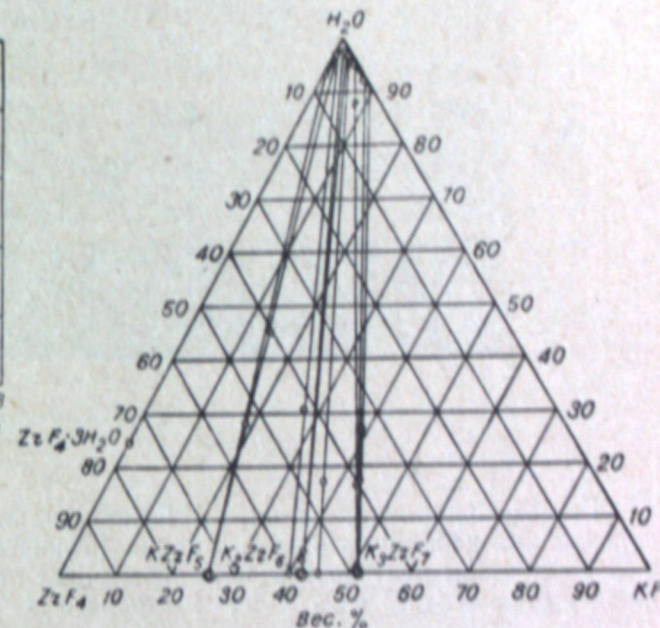


Рис. 2. Определение состава твердых фаз в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$ (изотерма 20°).

Исследование изотермы растворимости показало, что в равновесии с раствором находятся три твердые фазы: K_3ZrF_7 , K_2ZrF_6 и $KZrF_5$, получающиеся при вполне определенных соотношениях компонентов системы.

Как видно из табл. 1, растворимость тетрафторида циркония зависит от концентрации фтористого калия в растворе. С повышением концентрации KF растворимость ZrF_4 падает (см. рис. 1). При этом состав твердой фазы меняется в направлении насыщения тетрафторида

Таблица 1

СИСТЕМА $KF - ZrF_4 - H_2O$ (изотерма $20^\circ C$)

№ опыта	Отношение $ZrF_4 : KF$ в исходном растворе		Состав жидкой фазы, вес. %			Состав «остатка», вес. %			Твердая фаза
	весовое	молярное	KF	ZrF ₄	H ₂ O	KF	ZrF ₄	H ₂ O	
1	0,111	0,038	9,060	0,025	90,915	39,12	33,88	27,00	K_3ZrF_7
2	0,250	0,087	7,520	0,065	92,415	39,87	43,33	16,80	K_3ZrF_7
3	0,429	0,131	4,665	0,100	95,235	43,20	40,53	16,27	K_3ZrF_7
4	0,667	0,232	2,300	0,262	97,438	37,11	45,60	17,29	$K_3ZrF_7 + K_2ZrF_6$
5	1,000	0,348	1,700	0,306	97,994	40,50	57,08	2,42	K_2ZrF_6
6	1,500	0,522	0,786	1,565	97,651	40,00	55,82	4,18	K_2ZrF_6
7	2,430	0,846	0,630	2,250	97,120	26,82	42,10	31,08	$K_2ZrF_6 + KZrF_5$
8	4,000	1,391	0,642	2,600	96,758	14,21	40,12	45,67	$KZrF_5$
9	9,000	3,129	0,315	5,940	93,745	18,20	53,50	28,30	$KZrF_5$

циркония фтористым калием и последовательного образования пентафторцирконата, гексафторцирконата и гептафторцирконата калия.

Состав полученных твердых фаз определялся методом «остатков» и химическим анализом промытых и хорошо просушенных кристаллов.

Индивидуальность солей также подтверждена рентгенографически*, что видно из рис. 3 и табл. 2.

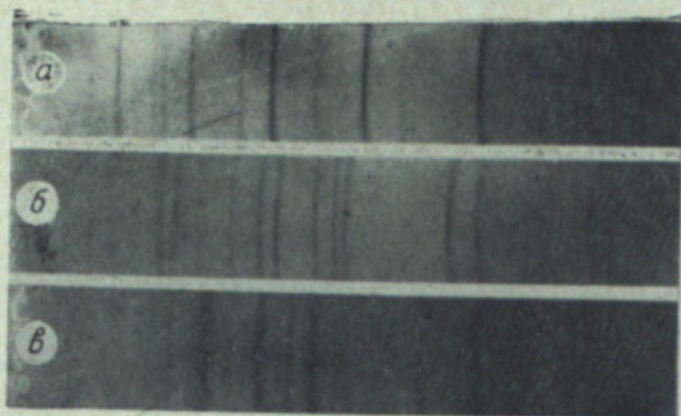


Рис. 3. Рентгенограмма фторцирконатов калия.
а — K_5ZrF_7 , б — K_3ZrF_6 , в — $KZrF_5$.

Гептафторцирконат калия K_3ZrF_7 кристаллизуется из растворов, содержащих избыток фтористого калия (отношение ZrF_4 к KF меньше 0,43 в исходном растворе) в виде прозрачных кристаллов кубической формы (рис. 4, а). В воде K_3ZrF_7 растворяется инконгруэнтно.

Таблица 2

Рентгенографические данные для комплексных фтористых солей циркония

K_5ZrF_7			K_3ZrF_6			$KZrF_5$		
№	<i>I</i>	<i>d</i>	№	<i>I</i>	<i>d</i>	№	<i>I</i>	<i>d</i>
1	ср.	5,16	1	ср.	5,68	1	ср.	6,64
2	ср.	4,48	2	с.	4,43	2	с.	6,30
3	о. сл.	3,51	3	о. с.	3,29	3	о. сл.	4,97
4	о. с.	3,19	4	о. с.	2,97	4	сл.	3,94
5	сл.	2,71	5	о. сл.	2,85	5	сл.	3,83
6	о. сл.	2,48	6	о. сл.	2,37	6	о. сл.	3,36
7	о. с.	2,24	7	ср.	2,21	7	о. сл.	3,28
8	о. сл.	2,03	8	ср.	2,14	8	с.	3,16
9	ср.	2,00	9	ср.	2,06	9	сл.	2,77
10	о. с.	1,83	10	ср.	1,89	10	сл.	2,75
11	ср.	1,73	11	ср.	1,84	11	о. сл.	2,24
12	с.	1,58	12	сл.	1,73	12	сл.	2,19
13	ср.	1,52	13	о. сл.	1,66	13	сл.	2,10

* Съемка рентгенограмм образцов фторцирконата калия производилась в $CuK\alpha$ излучении на порошковых камерах диаметром 143,3 мм.

Продолжение табл. 2

K_5ZrF_7			K_3ZrF_6			$KZrF_5$		
№	<i>I</i>	<i>d</i>	№	<i>I</i>	<i>d</i>	№	<i>I</i>	<i>d</i>
14	сл.	1,492	14	о. сл.	1,64	14	ср.	2,07
15	с.	1,434	15	о. сл.	1,60	15	ср.	1,97
16	о. сл.	1,366	16	о. сл.	1,58	16	ср.	1,92
17	о. сл.	1,353	17	о. сл.	1,54	17	ср.	1,85
18	сл.	1,294	18	о. сл.	1,53	18	ср.	1,68
19	сл.	1,255	19	о. сл.	1,483	19	ср.	1,66
20	о. сл.	1,243	20	о. сл.	1,472	20	о. сл.	1,64
21	с.	1,197	21	о. сл.	1,440	21	сл.	1,58
22	сл.	1,168	22	о. сл.	1,428	22	о. сл.	1,53
23	о. сл.	1,121	23	о. сл.	1,373	23	о. сл.	1,51
24	о. сл.	1,087	24	о. сл.	1,320	24	сл.	1,442
25	ср.	1,056	25	о. сл.	1,308	—	—	—
26	о. сл.	1,035	26	о. сл.	1,284	—	—	—
27	сл.	1,003	27	о. сл.	1,273	—	—	—
28	о. сл.	0,985	28	о. сл.	1,225	—	—	—
29	о. сл.	0,956	29	о. сл.	1,215	—	—	—
30	о. сл.	0,915	30	о. сл.	1,180	—	—	—
31	о. сл.	0,901	31	о. сл.	1,170	—	—	—
32	сл.	0,879	32	о. сл.	1,131	—	—	—
33	о. сл.	0,865	33	о. сл.	1,293	—	—	—
34	о. сл.	0,832	34	о. сл.	1,078	—	—	—
35	о. сл.	0,819	35	о. сл.	1,063	—	—	—

Примечание. *I* — относительная интенсивность линий; *d* — межплоскостное расстояние в килоэксах; о. с. — очень сильная; с. — сильная; ср. — средняя; сл. — слабая; о. сл. — очень слабая.

При перекристаллизации происходит отщепление KF и образуется гексафторцирконат калия — $K_3ZrF_7 \rightarrow K_2ZrF_6 + KF$.

Эти данные подтверждают результаты, полученные другими исследователями [3].

Схема разложения гептафторцирконата калия при перекристаллизации подтверждается анализом насыщенного раствора соли при 20°. Состав раствора следующий:

Вес. %	Мол. %	
ZrF_4 0,634	0,00378	$ZF_4 : KF = 1 : 4,02$
KF 0,898	0,0152	

Химический и оптический анализы донного остатка после насыщения раствора K_3ZrF_7 показали наличие соли состава K_2ZrF_6 .

Данные табл. 1 (опыты 5 и 6) свидетельствуют о том, что при смешивании эквивалентных количеств $2KF$ и ZrF_4 из раствора выпадает нормальный фторцирконат калия K_2ZrF_6 в виде бесцветных удлиненных призм (рис. 4, б). Гексафторцирконат калия находится в равновесии с раствором, содержащим 0,8—1,7% KF. Он устойчив в воде и при

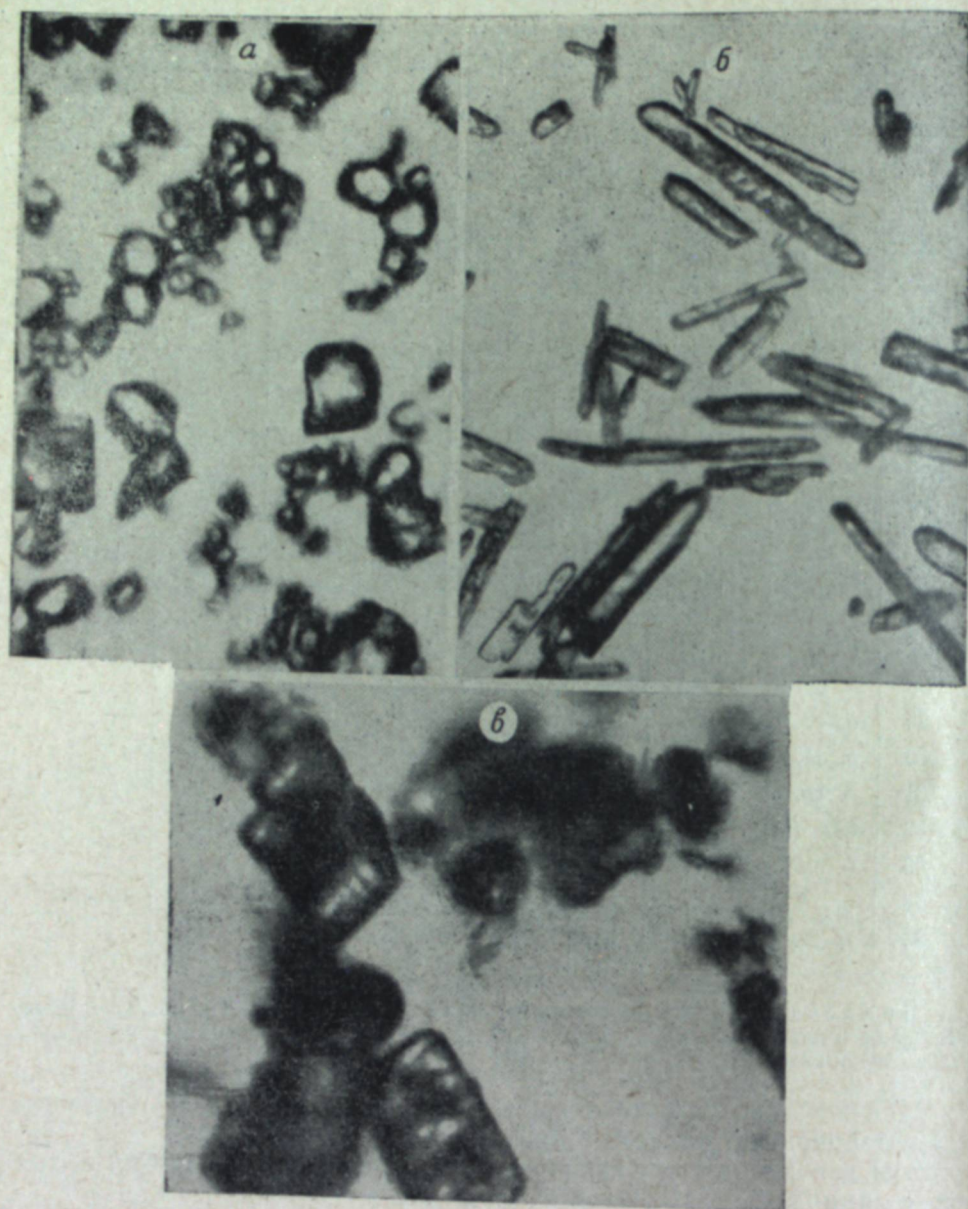


Рис. 4. Микрофотографии кристаллов фторцирконата калия.
а — K_3ZrF_7 , б — K_2ZrF_6 , в — $KZrF_5$.

перекристаллизации растворяется конгруэнтно, не меняя своей кристаллической структуры.

Раствор, соответствующий точке перехода твердых фаз K_3ZrF_7 в K_2ZrF_6 , содержит 4,36% KF и 0,10% ZrF_4 (найденно интерполяцией).

Пентафторцирконат калия $KZrF_5$ образуется при взаимодействии избытка тетрафторида циркония с фтористым калием. Как видно из результатов, приведенных в табл. 1, весовое отношение $ZrF_4 : KF$ в исходной смеси должно быть не менее 2,5. Кристаллизуется пентафторцирконат в виде темных прямоугольных призм (рис. 4, в). Как и гексафторцирконат калия, $KZrF_5$ растворяется в воде конгруэнтно и может быть перекристаллизован.

Ниже приводится состав насыщенных водных растворов гексафторцирконата и пентафторцирконата калия при 20° .

	Вес. %	Мол. %	$ZrF_4 : KF$
K_2ZrF_6	ZrF_4 1,074	0,00643	1 : 2,04
	KF 0,766	0,0132	
$KZrF_5$	ZrF_4 0,635	0,00416	1 : 1
	KF 0,247	0,00416	

В некоторых случаях наблюдается выделение из растворов кристаллов двух солей вместе.

При большом избытке фторида циркония в растворе, когда весовое отношение ZrF_4 к KF равно 2,43, твердая фаза содержит одновременно K_2ZrF_6 и $KZrF_5$ (опыт 7 табл. 1). При избытке же KF, а именно $ZrF_4 : KF = 0,667$, наблюдается наличие двух фаз — K_3ZrF_7 и K_2ZrF_6 .

Результаты по растворимости комплексных фтористых солей циркония в воде при 20° приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что наименьшей растворимостью обладает соль состава $KZrF_5$. Полученные результаты по растворимости фторцирконатов калия близки к литературным данным [4].

Таблица № 3
Растворимость комплексных фтористых солей в воде

Соль	Температура, $^\circ C$	Растворимость, вес. %
K_3ZrF_7	20	1,31
K_2ZrF_6	20	1,48
$KZrF_5$	20	0,94

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в системе $KF - ZrF_4 - H_2O$ с увеличением содержания фтористого калия последовательно образуются три твердые фазы: $KZrF_5$, K_2ZrF_6 и K_3ZrF_7 . Индивидуальность этих солей подтверждена аналитически, а также микроскопическим и рентгеноструктурным анализами.

2. Пентафторцирконат и гексафторцирконат калия растворяются в воде конгруэнтно. Соль K_3ZrF_7 в воде неустойчива, и при перекристаллизации происходит отщепление KF с образованием гексафторцирконата калия.

3. Определена растворимость комплексных фтористых солей циркония в воде при $20^\circ C$.

Уральский филиал АН СССР,
Свердловск

Поступила в редакцию
15/III 1961

ЛИТЕРАТУРА

- О. Н. Морозова, Химия редких элементов. ГОНТИ, 1938.
- F. P. Venable, Zirconium and its Compounds. N. Y., 1922.
- G. V. Hevesy, I. A. Christiansen, V. Berglund. Z. anorg. Chem., 144, 69 (1925).
- И. Г. Рысс, Химия фтора и его неорганических соединений. Госхимиздат, М., 1956.
- G. S. Hampson, L. Pauling. J. am. Chem. Soc., 60, 2702 (1938).
- В. Г. Бамбуров, Н. В. Деменев, В. М. Полякова. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 4 (1962).

А. Г. СТРОМБЕРГ

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОЛИЗА,
ОБЪЕМА РАСТВОРА И РАДИУСА РТУТНОЙ КАПЛИ
НА ГЛУБИНУ АНОДНОГО ЗУБЦА
В АМАЛЬГАМНОЙ ПОЛЯРОГРАФИИ

В последние годы в аналитической практике для определения ультрамикроримесей (10^{-5} — 10^{-6} и менее процентов) в материалах высокой частоты все более широко распространяется метод амальгамной полярографии на стационарной ртутной капле при линейно меняющемся потенциале. Метод высокочувствителен и сравнительно прост, дает быстрые и точные определения [1—7].

Он состоит в том, что определяемый ион предварительно концентрируется путем электролиза на стационарной ртутной капле с образованием амальгамы, затем снимается полярограмма анодного раствора этого металла при изменении потенциала от отрицательного (при котором происходил предварительный электролиз) к более положительным значениям. При этом на полярограмме получается зубец (пик), глубина (высота) которого пропорциональна концентрации вещества в растворе. Предварительное концентрирование определяемого металла в ртутной капле позволяет определять ряд элементов, образующих амальгаму, в концентрации 10^{-7} — 10^{-8} моля в литре раствора, т. е. повысить чувствительность полярографического метода на 2—3 порядка.

Целью данной работы является количественное разъяснение опытных фактов влияния времени электролиза (t), объема раствора (V_1) и радиуса ртутной капли (r) на глубину анодного зубца путем учета изменения концентрации ионов определяемого элемента в растворе в течение предварительного электролитического концентрирования (накопления) его в ртутной капле. В литературе это обстоятельство не учитывается. Обычно принимается, что в ртутной капле концентрируется только очень небольшая часть вещества из раствора, поэтому концентрация вещества в растворе к концу электролиза практически не меняется. Это приводит к кажущемуся отклонению опытных данных по влиянию трех указанных выше факторов от ожидаемых теоретических зависимостей.

Сделаем ряд допущений.

1. Полагаем, что к концу электролиза и началу полярографирования металл практически равномерно распределен в капле. Теоретические работы [8, 9] показывают, что после нескольких минут электролиза распределение металла в капле лишь немного отличается от равномерного*.

2. Полагаем, что ток электролиза (i) пропорционален поверхности ртутной капли (S) и концентрации вещества (C_1) в растворе. При этом

* К аналогичному выводу в результате проведенного математического исследования независимо пришли также Л. Н. Васильева и Е. Н. Виноградова [10].

считаем, что коэффициент пропорциональностей (K_1) одинаков во всех опытах. Это означает, что условия перемешивания во всех опытах при изменении рассматриваемых факторов остаются неизменными.

3. Полагаем, что глубина анодного зубца (I) пропорциональна поверхности ртутной капли и средней концентрации (C_2) металла в ртутной капле после электролиза. При этом считаем, что коэффициент пропорциональности (K_2) одинаков во всех опытах и, в частности, не зависит от радиуса капли.

На основании сказанного выше можем написать

$$i = K_1 S C_1, \quad (1)$$

$$I = K_2 S C_2. \quad (2)$$

Средняя концентрация (C_2) металла (молей/л) в капле после электролиза в течение t секунд, током i ампер определяется соотношениями

$$C_2 = \frac{q}{zFV_2}; \quad q = \int_0^t i dt \quad (3)$$

(q — количество электричества, протекшее через каплю в течение электролиза; V_2 — объем капли; F — постоянная фарадея; z — число электронов, принимающих участие в электродной реакции на один атом металла).

Ток электролиза может быть выражен также через скорость выделения определяемого элемента на ртутной капле по формуле

$$i = -zF \frac{dN_1}{dt}; \quad N_1 = C_1 V_1 \quad (4)$$

(N_1 — общее количество грамм-ионов определяемого элемента в объеме раствора V_1 мл).

Из (1) и (4) после интегрирования получаем

$$C_1 = C_1^0 e^{-b} \quad (5)$$

(C_1^0 — начальная концентрация ионов определяемого элемента в растворе). Из (2), (3) и (5) получаем искомое выражение для зависимости глубины анодного зубца от рассматриваемых факторов:

$$I = af; \quad f = 1 - e^{-b}, \quad (6)$$

$$b = \frac{4\pi K_1 r_2 t}{zF V_1}, \quad (7)$$

$$a = 3K_2 C_1^0 V_1 \frac{1}{r} \quad (8)$$

(r — радиус капли).

Рассмотрим частный случай малых значений параметра b , когда при разложении функции f в ряд можно ограничиться первым членом разложения:

$$1 - e^{-b} \approx b \quad \text{при } b < 0,1 \quad (9)$$

(с ошибкой меньше 5%). Если справедливо соотношение (9), из формулы (6) получаем

$$I = ab = \frac{12\pi}{zF} K_1 K_2 C_1^0 r t. \quad (10)$$

Из (7) и (5) имеем

$$r^2 \frac{t}{V_1} < 0,1 \frac{zF}{4\pi K_1}, \quad (11)$$

$$C_1 > 0,95 C_1^0. \quad (12)$$

Из неравенства (11) видно, что формула (10) для глубины анодного зубца справедлива при достаточно большом объеме (V_1) раствора электролита, при достаточно малом времени электролиза (t) и малом радиусе ртутной капли (r), когда практически (с точностью до 5%) концентрация ионов определяемого металла остается постоянной*.

Из формулы (10) следует далее, что если справедливо неравенство (11), глубина анодного зубца (с ошибкой менее 5%) не зависит от объема раствора (V_1) и пропорциональна радиусу капли (r) и времени предварительного электролиза t . Концентрация раствора к концу электролиза отличается от начальной концентрации раствора менее, чем на 5%, т. е. может рассматриваться практически постоянной при принятой нами точности расчетов.

Рассмотрим другой предельный случай больших значений b , когда в выражении (6) можно пренебречь слагаемым e^{-b} по сравнению с единицей с ошибкой менее 5%.

Из (6), (7) и (5) получим

$$f \approx 1; \quad I = a = 3K_2 C_1^0 V_1 \frac{1}{r} \quad \text{при } b > 3; \quad (13)$$

$$r^2 \frac{t}{V_1} > 3 \frac{zF}{4\pi K_1}, \quad (14)$$

$$C_1 < 0,05 C_1^0. \quad (15)$$

Из этих соотношений и формулы (8) следует, что при достаточно малом объеме раствора, большом времени электролиза и большом радиусе капли** глубина анодного зубца пропорциональна объему раствора, обратно пропорциональна радиусу капли и не зависит от времени электролиза. Концентрация (C_1) ионов в растворе к концу электролиза составляет менее 5% от начальной концентрации.

При средних значениях параметра b ($0,1 < b < 3$) зависимости глубины анодного зубца от трех рассматриваемых факторов выражаются формулой (6). Эти зависимости представлены на рис. 1 в безразмерных координатах y и x . Кривая 1 дает зависимость глубины зубца от времени электролиза. При этом

$$y = \frac{I}{a} = f; \quad x = b. \quad (16)$$

Кривая 2 дает зависимость глубины зубца от объема раствора (при $C_1^0 = \text{const}$). При этом

$$y = \frac{I}{ab} = \frac{f}{b}; \quad x = \frac{1}{b}. \quad (17)$$

Кривая 3 дает зависимость глубины зубца от радиуса капли. При этом

$$y = \frac{I}{ab^{1/2}} = \frac{f}{b^{1/2}}; \quad x = b^{1/2}. \quad (18)$$

Кривая 1 дает также зависимость глубины зубца от величины отношения $\frac{t}{V}$ при условии $C_1^0 V_1 = \text{const}$ при разных t и V_1 . Этот случай особенно интересен для практики, так как при анализе данная навеска

* При энергичном перемешивании раствора магнитной мешалкой $K_1 \approx 10^4 \cdot r^2 \frac{t}{V_1} < 0,15$. Полагая $V_1 = 20$ мл и $r = 0,04$ см, получим из [11] $t < 1870$ сек. Следовательно, при этих условиях формула (10) будет справедлива.

** При $K_1 \approx 10^4$ из (14) получаем $r^2 \frac{t}{V_1} > 4,6$, т. е. формула (13) будет справедлива, например, при $V_1 = 2$ мл, $r = 0,1$ см и $t > 920$ сек.

материала высокой чистоты (в котором определяются микропримеси) растворяется в разных объемах фона для полярографирования. Смысл выбора тех или иных координат на рис. 1 ясен из формул (6—8) и (16—18).

Интересно отметить, что на кривой зависимости глубины зубца от радиуса капли (кривая 3) имеется максимум при значении безразмерного параметра $b = 1$. При этом

$$\left. \begin{aligned} f &= 0,63; \quad r_m^2 = \frac{zF}{4\pi K_1} \frac{V_1}{t}, \\ I_m &= 0,63a = 1,9K_2 C_1^0 V_1 \frac{1}{r_m}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Учет влияния изменения концентрации раствора на зависимость глубины анодного зубца от различных факторов, выражаемый формулой (6), позволяет разъяснить ряд спорных вопросов и расхождений в работах разных авторов. Так, одни авторы [3, 4] получали линейную зависимость между глубиной зубца и временем электролиза, другие [2, 5] — криволинейную. Из формулы (6) и кривой 1 (рис. 1) ясно, что первые авторы работали при условии $b < 0,1$, вторые — при $b > 0,1$.

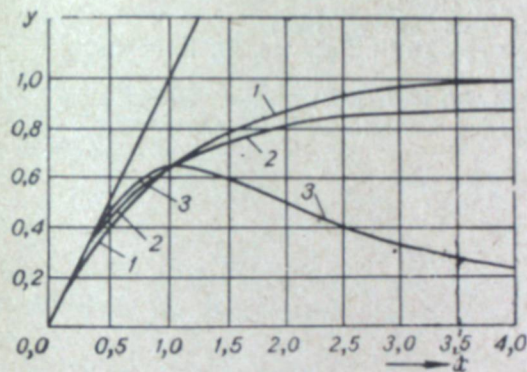


Рис. 1.

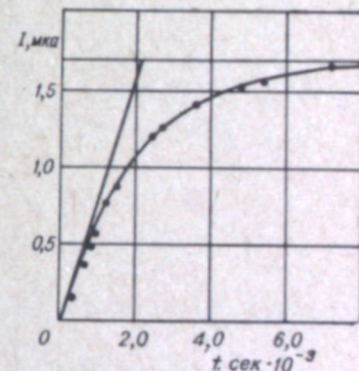


Рис. 2.

Для повышения чувствительности метода исследователи [11, 12] пытались заменить маленькую ртутную каплю большим квадратным сантиметром, но не добились успеха. Из формулы (6) и кривой 3 (рис. 1) становится понятно, что увеличение размера капли больше некоторого оптимального размера (при $b = 1$), даваемого формулой (19), приводит к уменьшению глубины зубца и, следовательно, к понижению чувствительности метода.

На рис. 2 приводится сравнение опытных данных по влиянию времени электролиза на глубину анодного зубца свинца на фоне 0,1 M раствора КОН. Кривая на рис. 2 вычислена по следующим данным: $K_1 = 1,61 \cdot 10^{-4}$; $K_2 = 7,0$ мка · см² · моль⁻¹ · л; $r = 0,037$ см; $V_1 = 3$ мл; $C_1^0 = 10^{-3}$ ммол/л. Из рис. 2 видно, что вычисленная кривая хорошо согласуется с опытными данными.

ВЫВОДЫ

1. Выведена формула, дающая зависимость глубины анодного зубца в методе амальгамной полярографии на стационарной ртутной капле с линейно меняющимся потенциалом от времени электролиза, объема раствора и радиуса капли с учетом изменения концентрации раствора во время предварительного электролиза.

2. Проведено аналитическое и графическое исследование этого уравнения. Рассмотрены два предельных случая в зависимости от величины безразмерного параметра b .
3. Дано разъяснение некоторым опытным фактам, которые не были ранее объяснены.
4. Получено опытное количественное подтверждение теоретической зависимости глубины анодного зубца от времени электролиза.

Томский политехнический институт

Поступила в редакцию
15/VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Стромберг, Э. А. Стромберг. Зав. лаб., 27, 3 (1961).
2. А. Г. Стромберг, В. Е. Городовых. Зав. лаб. 26, 46 (1960).
3. С. И. Синякова, Шень Юй-Чи. Докл. АН СССР, 131, 101 (1960).
4. Е. Н. Виноградова, Г. В. Прохорова. Зав. лаб., 26, 41 (1960).
5. I. Nickely, W. Cooke. Anal. Chem., 29, 933 (1957).
6. R. De Marg, I. Shain. Anal. Chem., 29, 1825 (1957).
7. W. Kemula, Z. Kublik, S. Glodowski. J. Electroanal. Chem., 91, 1959—1960.
8. W. Reinmuth. Anal. Chem., 33, 185 (1961).
9. I. Shain, I. Lewinson. Anal. Chem., 33, 187 (1961).
10. Л. Н. Васильева, Е. Н. Виноградова. Зав. лаб. 27, 1079 (1961).
11. R. Rooney. Talanta, 2, 190 (1959).
12. D. Rosie, W. Cooke. Anal. Chem., 27, 1360 (1957).

В. П. РЯБИНИН

ЗАКОН ПРИБЛИЖЕНИЯ К НАСЫЩЕНИЮ МОНОКРИСТАЛЛА КРЕМНИСТОГО ЖЕЛЕЗА

В работе исследовался закон приближения к насыщению для главных кристаллографических осей на образцах в виде диска и прямоугольных параллелепипедов, а также была предпринята попытка вычислить константу магнитной анизотропии на образцах, изготовленных в несимметричных направлениях.

ВВЕДЕНИЕ

Расчет кривой намагничивания монокристалла кубической системы в области подхода к насыщению, согласно Акулову [1], приводит к соотношению

$$I = I_s \left(1 - p \frac{K^2}{I_s^2 H^2} \right) \quad (1)$$

Здесь I_s — намагниченность насыщения, K — константа магнитной анизотропии, коэффициент p задается равенством

$$p = 2 \sin^6 \nu' \cos^2 \varphi' \sin^2 \varphi' (2 \cos^2 \varphi' - 1)^2 + 2 \sin^2 \nu' \cos^2 \nu' \cdot (2 \cos^2 \nu' + 2 \sin^2 \nu' \sin^2 \varphi' \cos^2 \varphi' - 1)^2, \quad (2)$$

где ν' и φ' — полярные углы вектора внешнего магнитного поля H .

Большинство экспериментальных работ по закону приближения к насыщению было выполнено на поликристаллических образцах, при этом коэффициент p в соотношении (1) получался путем усреднения и оказался равным 8/105.

Вычисленные по формуле (1) из опыта на поликристаллических образцах значения константы анизотропии K для различных веществ удовлетворительно согласовывались с данными, полученными на монокристаллах методом площадей или механических моментов.

Непосредственной проверке формулы (1) на монокристаллах посвящено всего четыре работы [2—5], дающие весьма противоречивые результаты.

Согласно исследованиям Данана [3], для главных кристаллографических направлений кристалла кремнистого железа зависимость намагниченности I от намагниченного поля H имеет вид

$$I = I_s \left(1 - \frac{a}{H} \right),$$

где a — коэффициент магнитной жесткости, численная величина которого зависит от направления:

$$a_{100} = 22,4; a_{110} = 26,5; a_{111} = 28.$$

Эксперимент проводился на образце, имеющем форму диска, в интервале внутренних полей 1000—27 000 э, причем о восприимчивости парапроцесса никаких сведений не дано.

Л. В. Киренский и Б. П. Хромов провели измерения на образцах, имеющих форму прямоугольных параллелепипедов в полях от 900 до 1800 э [4, 5]. По их данным, закон приближения к насыщению для направлений легкого — [100] и трудного — [111] намагничивания выражается формулой

$$I = I_s \left(1 - \frac{a}{H}\right) + \chi_p H \text{ или } \chi = \frac{A}{H^2} + \chi_p,$$

что в общем согласуется с наблюдениями Данана. Однако существенную часть общей восприимчивости составляет восприимчивость парапроцесса, которая равна для этих направлений $4,5 \cdot 10^{-4}$.

Коэффициенты магнитной жесткости для направлений легкого и трудного намагничивания различны:

$$a_{100} = 0,3, \quad a_{111} = 0,7,$$

т. е. численно очень сильно отличаются от значений, приведенных в работе Данана.

Что касается направления [110], то здесь оказался справедливым закон

$$I = I_s \left(1 - \frac{B}{H^2}\right) + \chi_p H \text{ или } \chi = \frac{B}{H^2} + \chi_p,$$

причем восприимчивость парапроцесса также равна $4,5 \cdot 10^{-4}$.

Согласно данным, приведенным в работе [4], для несимметричных направлений [443], [221], [112] закон приближения к насыщению может быть записан в виде

$$\chi = \frac{B}{H^2} + \frac{A}{H^2} + \chi_p.$$

Таким образом, разными авторами получены не совсем согласующиеся друг с другом, а иногда и противоречивые результаты. Поэтому представляет интерес провести дополнительные экспериментальные исследования, хотя бы для главных кристаллографических направлений, как на образцах в виде прямоугольных параллелепипедов, так и на дисках. Кроме того, поскольку попытка количественного определения константы анизотропии по формуле (1) на монокристаллах была предпринята лишь в одной работе [4], имеет смысл предпринять повторную попытку вычисления константы анизотропии на образцах, изготовленных в несимметричных направлениях.

Выполнению этих задач и посвящена настоящая работа.

ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследования проводились на монокристаллических образцах, вырезанных из листов холоднокатаной трансформаторной стали. Выбиралась кристаллиты, плоскость (110), которых точно совпадала с плоскостью листа. Ориентация кристаллов определялась способом ЛАУЭ с дополнительной проверкой методом наблюдения доменов при помощи порошковых фигур. Образцы вытравливались азотной кислотой, тщательно шлифовались и затем подвергались двукратному отжигу в вакууме по 3 ч каждый при температуре 1000°C.

Изготовленные таким способом образцы представляли собой полоски длиной от 52 до 58 мм, сечением $0,32 \times 1$ мм и диск диаметром 18 мм

толщиной 0,41 мм, которые вырезались соответственно из листов трансформаторной стали толщиной 0,35 мм (содержание кремния 2,8—2,9%) и 0,5 мм (содержание кремния 3,1%). Размагничивающее поле такого диска при $I = I_s$ равно приблизительно 400 э.

Кривые намагничивания, снятые с образцов в виде полосок (прямоугольных параллелепипедов), в трех главных направлениях хорошо совпадают с кривыми, полученными на кремнистом железе другими авторами [6].

Исследования проводились при комнатной температуре на экспериментальной установке, принципиально не отличающейся от описанной в статье Б. П. Хромова [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Направления [100] и [111]

Для данных направлений наблюдается линейный ход χ в зависимости от $\frac{1}{H^2}$ (или соответственно I от $\frac{1}{H}$) в полях выше 900 э как на образцах в виде полосок, так и на диске (рис. 1, 2). (Здесь и далее H — внутреннее поле).

Восприимчивость парапроцесса оказалась соответственно равной $3,2 \cdot 10^{-4}$ и $8 \cdot 10^{-4}$.

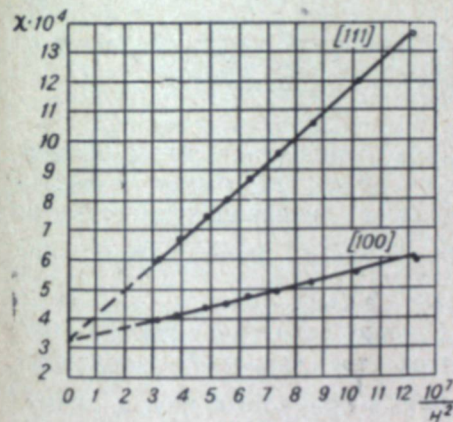


Рис. 1. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^2}$ для направлений [100], [111] (образцы — полоски).

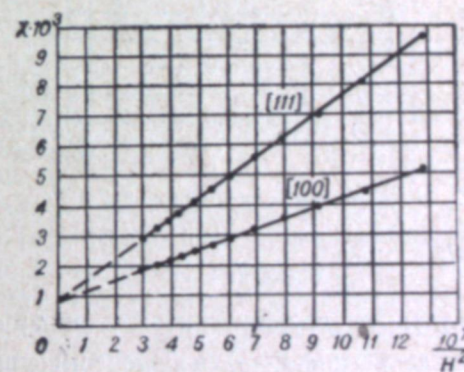


Рис. 2. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^2}$ для направлений [100], [111] (диск).

Таким образом, изучение закона приближения к насыщению для направлений [100] и [111] еще раз показало, что для данных направлений справедлив закон

$$\chi = \frac{A}{H^2} + \chi_p \text{ или } I = I_s \left(1 - \frac{a}{H}\right) + \chi_p H,$$

при этом восприимчивость парапроцесса действительно составляет существенную часть общей восприимчивости.

Коэффициенты магнитной жесткости для образцов в виде полосок

$$a_{100} = 0,13, \quad a_{111} = 0,51,$$

для диска

$$a_{100} = 2,4, \quad a_{111} = 4,4.$$

Направление [110]

Для образца, вырезанного в направлении [110], закон приближения к насыщению в полях 900—1500 э должен быть записан в виде

$$\chi = \frac{B}{H^3} + \chi_p,$$

что подтверждается данными рис. 3.

В более сильных полях линейный ход χ от $\frac{1}{H^3}$ нарушается. Это следует объяснить влиянием члена $\frac{A}{H^2}$, роль которого в этих полях возрастает.

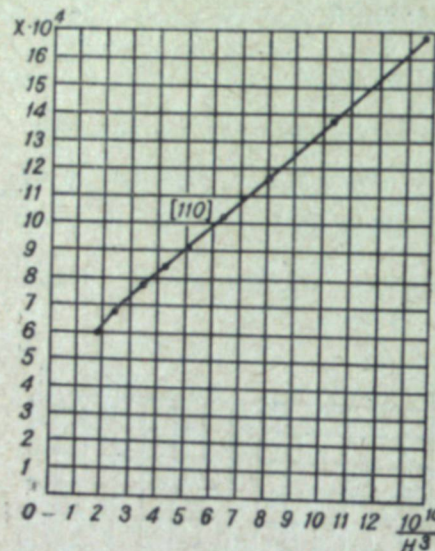


Рис. 3. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^3}$ для направления [110] (образец — полоска).

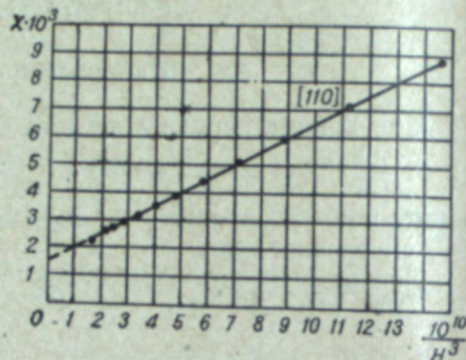


Рис. 4. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^3}$ для направления [110] (диск).

Для направления же [110], взятого на диске, не было замечено нарушения линейной зависимости χ от $\frac{1}{H^3}$ вплоть до внутренних полей 1840 э (рис. 4).

Однако, если величину $8 \cdot 10^{-4}$ считать за восприимчивость парапроцесса, то необходимо допустить появление члена $\frac{A}{H^2}$ в более высоких полях и для этого направления.

Несимметричные направления

Для образцов, изготовленных в направлениях [334], [112], в полях от 630 до 990—1080 э выполняется соотношение (рис. 5)

$$\chi = \frac{B}{H^3} + \chi_p.$$

Для образца, вырезанного в направлении [221], в интервале полей 800—1280 э также имеет место линейная зависимость χ от $\frac{1}{H^3}$ (рис. 5), что позволяет предпринять попытку вычислить константу анизотропии.

В полях 900—1800 э эта закономерность нарушается, и для указанных направлений закон приближения к насыщению, как это видно из рис. 6, достаточно хорошо выражается формулой

$$\chi = \frac{A}{H^2} + \chi_p.$$

Вычисление дает для образцов типа [221] значение K в два раза, а для [112] в восемь раз меньше табличных данных. Для направления [334] также получено заниженное значение константы примерно в два с половиной раза. Коэффициенты магнитной жесткости в направлениях [221], [334] и [112] соответственно равны

$a_{221} = 0,49$, $a_{334} = 0,39$, $a_{112} = 0,28$,
восприимчивость парапроцесса $3,2 \cdot 10^{-4}$.

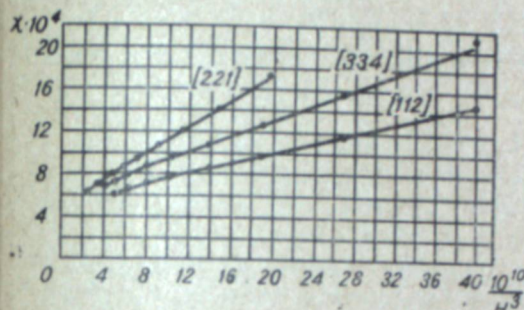


Рис. 5. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^3}$ для направлений [334], [112], [221].

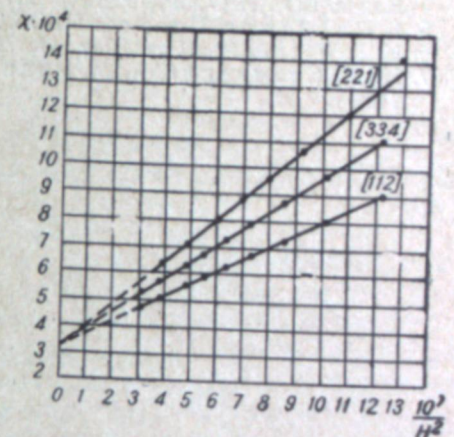


Рис. 6. Зависимость восприимчивости χ от $\frac{1}{H^2}$ для направлений [334], [112], [221] в интервале полей от 900 до 1800 э.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Исследования показывают, что восприимчивость парапроцесса действительно составляет существенную часть общей восприимчивости. Совершенно непонятно, как она не была обнаружена Дананом, работавшим в очень сильных полях.

Коэффициенты магнитной жесткости для направлений [100], [111], рассчитанные на диске, имеют примерно на порядок более высокое значение, чем соответствующие коэффициенты, определенные на образцах в виде полосок. Это можно объяснить более сильным размагничивающим полем, его непостоянством по объему диска, а также изменением внешнего магнитного поля по мере удаления от оси соленоида. По-видимому, эти же причины в основном определяют сильно завышенные значения коэффициентов магнитной жесткости, приведенные Дананом.

Хорошее качественное совпадение закона приближения к насыщению в главных кристаллографических направлениях для образцов различной формы (диски, прямоугольные параллелепипеды) еще раз говорит о надежности результатов, полученных в работах [4, 5].

Заниженные значения константы магнитной анизотропии, получаемые при вычислении последней для несимметричных направлений по формуле (1), подтверждают неприменимость закона приближения к насыщению в его классической форме к образцам, изготовленным из монокристаллов значительных размеров. Это, по-видимому, может быть объяснено тем, что в законе приближения к насыщению не учтена доменная структура, которая существенно зависит от размеров кристалла.

Особенно большую роль при этом играют, очевидно, поверхностные и замыкающие домены, которые очень устойчивы и в отдельных кристаллографических направлениях сохраняются до высоких полей [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. N. S. Akulov, Z. Phys., **69**, 822 (1931).
2. H. Danap. C. r. Acad. sci., **238**, № 12, 1304 (1954).
3. H. Danap. C. r. Acad. sci., **242**, № 6, 748 (1956).
4. Л. В. Киренский, Б. П. Хромов. Магнитная структура ферромагнетиков. Изд-во СО АН СССР, 1960, стр. 217.
5. Б. П. Хромов. Изв. вузов МВО СССР, Физика, № 1, 171 (1960).
6. H. I. Williams. Phys. Rev., **52**, 747 (1937).
7. Н. М. Саланский, А. М. Родичев, В. А. Буравихин. ФММ, **11**, 6, 843 (1961).

И. И. КИКНАДЗЕ

**ИЗУЧЕНИЕ НУКЛЕОЛОНЫ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ КЛЕТКИ**

В предыдущих исследованиях [1, 3] нами был проведен анализ тонкой структуры ядрышка клеток ряда растений (пшеница, горох, бобы, люпин, фасоль, лук, крепис) и некоторых животных (циклоп).

Эти исследования позволили установить, что построение ядрышка из нитчатых структур и аморфной части представляет собой широко распространенное явление. В определенных стадиях митоза (у лука, пшеницы, бобов, крепис — с поздней профазы, у гороха, люпина, фасоли — с метафазы до телефазы) на хромосомах также наблюдается появление вещества, сходного, судя по цитохимическим реакциям, с ядрышковым.

В настоящей работе приводятся данные о структуре ядрышка и поведении ядрышкоподобного вещества хромосом при митозе в животной клетке, а также в специальных клетках, обладающих политенными хромосомами, или способных к обширной продукции ядрышковых веществ (слюнные железы двукрылых, питающие клетки яичников насекомых). Методика обнаружения нуклеолоны была та же, что и в предыдущих исследованиях [1, 2]. Она сочеталась с цитохимическим анализом нуклеиновых кислот в этих структурах (окраска по Браше, реакция Фельгена).

**1. НУКЛЕОЛОНЫ В МИТОТИРУЮЩИХ КЛЕТКАХ
КУЛЬТУРЫ ТКАНИ**

Клетки культуры тканей, представляя собой исключительно удобный объект для изучения митоза, являются не слишком благоприятным материалом для изучения нуклеолоны вследствие незначительных размеров нуклеолоны в интерфазном ядрышке и малых размеров самих хромосом при их большом количестве. Нами была использована культура ткани фибробластов человека, любезно предоставленная нам в лаборатории Ю. Я. Керкиса.

Структура интерфазного ядрышка имеет типичный вид, характерный для ядрышек при импрегнации серебром: бесцветное аморфное вещество и включенная в него зернистая нить нуклеолоны (рис. 1). При переходе клетки в стадию профазы первым исчезает аморфное вещество. Аргентофильное вещество сохраняется в виде рыхлого клубка, к которому сходятся концы всех хромосом (рис. 2, а). В поздней профазе склонность к серебрению обнаруживается и у хромосом. В этот период резко уменьшившиеся клубки нуклеолоны (так как ядрышек в клетках культуры ткани обычно несколько) оказываются связанными с отдельными хромосомами. Постепенно они исчезают. В метафазе, анафазе и телофазе наблюдается интенсивная импрегнация всех хромосом (рис.

2, б, в). В отличие от картины, получающейся при импрегнации хромосом растительных клеток, аргентофильное вещество на хромосомах клеток культуры тканей располагается сплошным слоем, а не в виде зернистых рядов. При образовании дочерних ядер (рис. 2, г) замечается значительное снижение способности хромосом к импрегнации. Аргентофильное вещество сохраняется только в местах образования ядрышек.

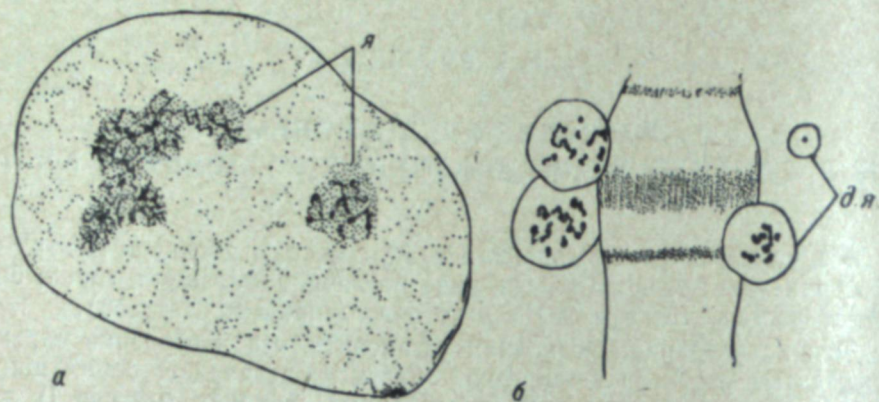


Рис. 1.

а — Структура ядрышек в клетках культуры ткани при импрегнации серебром по Эстеблю и Сотело. я. — ядрышки. б — Образование добавочных ядрышек в области аргентофильных дисков хромосом хирономуса. д. я. — добавочные ядрышки.

Следует заметить, что до последнего времени данные о поведении нуклеолонемы в митозе животной клетки практически отсутствовали, исключая отрывочные указания Эстебля и Сотело [4]. Однако в недавно опубликованной работе Е. и С. Гаттесов [5] приводятся данные о поведении аргентофильного вещества в ядрышке и при митозе фибробластов цыпленка, несколько отличающиеся от наших. Авторы смогли обнаружить аргентофильное вещество на хромосомах в митозе, только

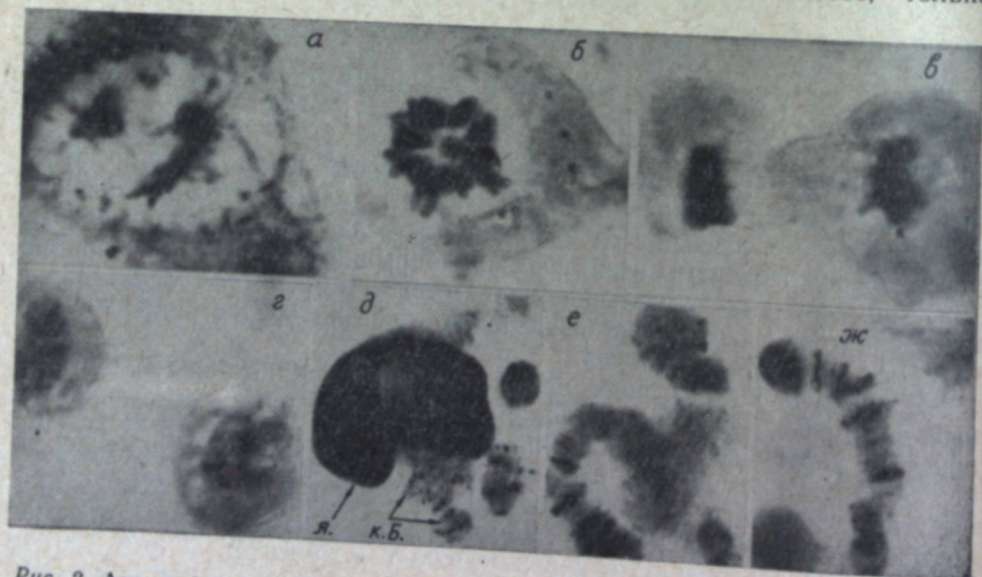


Рис. 2. Аргентофильное вещество в клетках культуры ткани (а—г) и в хромосомах слюнных желез хирономуса (д—ж). Импрегнация серебром по Эстеблю и Сотело. к. б. — кольцо Балбиани. я. — ядрышко. Ув. об. 90хок. 10.

начиная с анафазы (исключая интерфазное ядрышко). В анафазе аргентофильное вещество располагается нитями вдоль хромосом и при образовании дочерних ядер собирается в ядрышки. Таким образом, число нитей нуклеолонемы в интерфазном ядрышке равно числу хромосом. В профазе эти нити дезинтегрируются.

В наших исследованиях аргентофильное вещество обнаруживается в хромосомах на всех стадиях митоза. Такое расхождение результатов связано, вероятно, с тем, что в цитированной работе применялся обычный метод импрегнации по Кахалю, не модифицированной специально для определения ядрышкового вещества.

2. НУКЛЕОЛОНЕМА В КЛЕТКАХ С РАЗЛИЧНОЙ СИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ*

Вывод о возможности продукции хромосомами в определенные периоды жизни клеток больших количеств ядрышкоподобных аргентофильных веществ, полученный при изучении митоза и мейоза у ряда растительных организмов [2, 3], подтверждается в ходе анализа питающих клеток в яйцевых камерах дрозофилы. В самых молодых яйцевых камерах у питающих клеток серебрению поддаются только ядрышки клеток. Они имеют незначительные размеры (рис. 3, а). В ходе роста

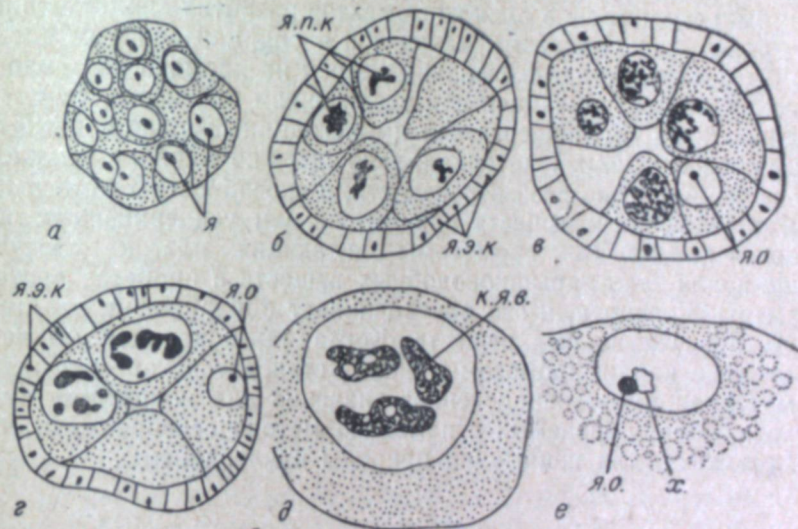


Рис. 3. Аргентофильное вещество в развивающихся яйцевых камерах дрозофилы.

я. — ядрышки клеток самых ранних яйцевых камер. я. п. к. — ядрышки питающих клеток, я. э. к. — ядрышки эпителиальных клеток, я. о. — ядрышко овоцита. к. я. в. — капли ядрышкоподобного вещества, х. — хромосомы овоцита. Импрегнация серебром по Эстеблю и Сотело. Ув. об. 90хок. 10.

яйцевых камер увеличиваются размеры ядрышек, параллельно возрастает и количество аргентофильного вещества в них (стадия 3, рис. 3, б). Определение стадии соответствует градации, утвержденной Кингом [6]. Однако хромосомы в эти периоды остаются совершенно аргентофобными. В следующей стадии развития (рис. 3, в) аргентофильное вещество, имеющееся до этого только в ядрышке, обнаруживается уже на всех хромосомах. Как и в случае с клетками культу-

* Исследование выполнено совместно с Л. С. Немцовой.

ры тканей, серебрением охватывается вся поверхность хромосом гомогенно, зернисто-нитчатых структур не обнаруживается. Сохраняется ли ядрышко в этот и последующие периоды роста питающих клеток, установить пока не удается. Таким образом, по мере роста питающих клеток значительно возрастает и количество аргентофильного вещества на них (рис. 3, а, в).

Проведенные параллельно цитохимические реакции на ядрышковое вещество показывают, что описанный выше процесс нарастания количества аргентофильного вещества отражает идущий в эти периоды процесс увеличения ядрышка, а затем рибонуклеопротеидов на хромосомах. Начиная со стадии 8, рибонуклеопротеиды, обнаруживаемые ранее на поверхности всех хромосом, собираются в крупные пиронинофильные капли. В этот период аргентофильное вещество обнаруживается также только в пиронинофильных каплях. Хромосомы же на импрегнированных серебром препаратах остаются бесцветными (рис. 3, д).

Иными оказываются результаты серебрения ядра развивающегося овоцита, которое не принимает активного участия в синтезе цитоплазматических веществ. В течение всего хода развития овоцита аргентофильная субстанция обнаруживается только собственно в ядрышке (рис. 3, а, г, е). Увеличение количества серебрищегося материала наблюдается исключительно в связи с возрастанием массы ядрышка. Хромосомы же овоцита, собирающиеся в кариосферу, не проявляют склонности к импрегнации ни в один из моментов развития овоцита (рис. 3, е).

В кариосфере хромосомы находятся в спирализованном состоянии, и если бы появление аргентофильных зерен на хромосомах было связано только с их спирализацией или увеличением плотности, то кариосфера должна была бы подвергаться импрегнации серебром. Однако, как показывает исследуемый материал, дело здесь не только в физико-химических условиях, а, по всей вероятности, в способности хромосом к продукции определенных веществ при митозе или усилении синтетической активности клеток. Так, хромосомы питающих клеток продуцируют большое количество ядрышкоподобных веществ в процессе роста яйцевой камеры и овоцита, и это обуславливает обнаружение на них в эти периоды аргентофильных веществ. Когда ядрышкоподобные вещества собираются в капли, хромосомы вновь становятся аргентофильными. Этот материал имеет определенное значение для понимания сущности процессов, обнаруживаемых с помощью метода серебрения в обычных случаях митоза, для понимания природы нуклеолонемы.

3. НУКЛЕОЛОНЕМА В КЛЕТКАХ С ПОЛИТЕННЫМИ ХРОМОСОМАМИ

Кроме изложенных выше случаев, анализу подвергались также клетки слюнных желез двукрылых (дрозофилы и хирономуса). Эти клетки представляют интерес для обсуждаемого вопроса в связи с тем, что, во-первых, они имеют политенные хромосомы, а во-вторых, являются железистыми клетками, ядра которых находятся в стадии активного функционирования. Выявление нуклеолонемы в них показало, что аргентофильное вещество содержится прежде всего в основном ядрышке. Основное ядрышко в клетках слюнных желез очень велико (рис. 2, д). Часто импрегнация его бывает настолько интенсивна, что внутреннюю структуру установить не удается. Однако на тонких срезах внутри ядрышка видна четкая зернисто-нитчатая или нитчатая структура, представляющая типичную картину нуклеолонемы. Это явление характерно

как для дрозофилы, так и для хирономуса. У дрозофилы аргентофильное вещество выявляется, кроме ядрышка, только в области ядрышкового организатора. У хирономуса же четкую импрегнацию серебром обнаруживают также определенные диски на всех четырех хромосомах РНК, другие же аргентофильные диски соответствуют таковым, не содержащим РНК, что особенно характерно для дисков из области центральных утолщений.

Другим интересным моментом в изучении клеток слюнных желез хирономусов является тот факт, что кольца Бальбиани не содержат аргентофильного вещества, за исключением некоторых дисков, входящих в их состав (рис. 2, д). Это факт неожиданный, так как по своей цитохимической природе (и может быть функции) кольца Бальбиани и ядрышки сходны. Кольца Бальбиани содержат большое количество РНК, особенно в боковых частях. Однако импрегнации колец Бальбиани не наблюдается, хотя близлежащие к ним диски содержат аргентофильное вещество. Отсюда можно заключить, что неприсутствие РНК является ведущим фактором в определении способности тех или иных клеточных структур к серебрению. За это прежде всего ответственны белки.

Третий момент, который следует отметить при изучении клеток слюнных желез хирономуса, связан с наличием так называемых добавочных ядрышек. Добавочные ядрышки (рис. 1, б) образуются различными участками хромосом, причем в зависимости от стадии развития личинки соответственно разные участки хромосом могут продуцировать эти ядрышки. Природа их также меняется с возрастом личинок и со стадией метаморфоза. У личинок добавочные ядрышки не содержат РНК, тогда как у предкулолок появляются добавочные ядрышки с РНК. Однако во всех случаях добавочные ядрышки обнаруживают склонность к импрегнации серебром. Количество аргентофильного вещества в добавочных ядрышках зависит от их размеров: чем больше ядрышко, тем больше в нем аргентофильного вещества. В самых маленьких ядрышках обнаруживается лишь 1—2 аргентофильных зерна. Было установлено, что добавочные ядрышки образуются в области аргентофильных дисков. Но осталась непроверенной возможность образования добавочных ядрышек от иных дисков. А она вполне вероятна. Наблюдаемый в данном случае процесс отделения от хромосомы мелких ядрышек с аргентофильной структурой сходен с явлениями, описанными нами при мейозе у лилии [3]. Факты, установленные при изучении аргентофильного вещества в клетках слюнных желез хирономуса, могут говорить о следующем.

Во-первых, серебрению поддаются только отдельные диски, а не все хромонемы, как это можно было ожидать, исходя из понятия нуклеолонемы как нити. Серебрение же отдельных дисков указывает скорее на наличие в этих участках хромосом белков определенного типа. Кроме того, аргентофильное вещество на дисках обнаруживается в период, когда ядрышко полностью сформировано и не проявляет никакой тенденции к распаду, как это имеет место в период митоза, т. е. аргентофильное вещество ядрышка и аргентофильное вещество политенных хромосом обнаруживаются параллельно друг другу. С другой стороны, важно, что добавочные ядрышки образуются в области аргентофильных дисков и сами обнаруживают аргентофилию. Это говорит о том, что метод импрегнации специфичен для выявления определенного типа веществ (белков) с определенной структурой, характерных для ядрышек и соответствующих участков хромосом. Здесь следует подчеркнуть, что

кольца Бальбиани не обнаруживают склонности к импрегнации, так как они отличны от ядрышек по своей структуре, хотя сходны по химическому составу.

ВЫВОДЫ

1. При изучении аргентофильных веществ в клетках различных животных организмов установлено, что как и у растительных клеток, в интерфазе аргентофильное вещество содержится только в ядрышке. Исключение составляют политенные хромосомы хирономуса, которые содержат на всех хромосомах ряд аргентофильных дисков.

2. В ходе митоза в профазе аргентофильное вещество появляется на хромосомах обычно еще до начала или в самом начале разрушения ядрышка.

3. Было проанализировано поведение аргентофильного вещества в клетках с высокой функциональной активностью (питающие клетки ячника дрозофилы, клетки слюнных желез хирономуса).

Установлено, что при усиленной продукции хромосомами веществ типа ядрышковых (РНК-протенды в питающих клетках дрозофилы, добавочные ядрышки в клетках слюнных желез хирономуса) в них обнаруживается и резкое увеличение количества аргентофильных веществ.

В тех случаях, когда хромосомы ядра не принимают активного участия в синтезе веществ цитоплазмы, они не обнаруживают склонности к импрегнации серебром.

4. Таким образом, в приведенных исследованиях структуры, известные нуклеолономой, выявлены, помимо основного ядрышка, в добавочных ядрышках у хирономуса, скопления ядрышкоподобного вещества в питающих клетках дрозофилы, в определенных дисках политенных хромосом.

Иными словами количество нуклеолономы в значительной мере зависит от функционального состояния клетки и соответственно хромосом. Являясь характерной структурой ядрышка, ядрышкоподобных образований и участков хромосом, содержащих ядрышкоподобное вещество, нуклеолонома, по-видимому, не играет той генетической роли, какую ей приписывает ряд авторов [4, 7].

Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
23/XI 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Кикнадзе, Нуклеолярный аппарат в овогенезе циклопа. Докл. АН СССР, 120, 644—646, 1958.
2. И. И. Кикнадзе, Нуклеолонома в ядрышках интерфазных клеток и в митозе. Цитология, 3, № 5, 1961.
3. Е. С. Беляева, И. И. Кикнадзе, Изучение нуклеолономы в митозе и мейозе у *Lillium*. Изв. Сиб. отд. АН СССР, № 7, 92—97, 1961.
4. C. Estéble, I. Sotelo, The behaviour of the nucleolonemata during mitosen. Symp. of fine structure of cells. Groningen, 1955.
5. E. Guttes, S. Guttes, On the filamentous elements in the nucleoli of chick embryo fibroblasts. Quart Jour. Microsc. Sci., 102, 23—26, 1961.
6. R. King, A. C. Rubinson, R. F. Smith, Oogenesis in adult *Drosophila melanogaster*. Growth, 20, 121—157, 1956.
7. E. D. De Robertis, W. W. Nowinski, F. A. Saez, General cytology. Philadelphia—London, 1955.

И. Ф. БЕЛИКОВ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ФОТОСИНТЕЗА У РАСТЕНИЙ В ПЕРИОД ИХ ВЕГЕТАЦИИ*

Изучение передвижения пластических веществ в организме растения имеет важнейшее теоретическое и практическое значение. С целью регуляции поступления пластических веществ к тем или иным органам растения для усиления их роста в сельском хозяйстве издавна применяются такие приемы, как прищипка и чеканка верхушек, пасынкование, удаление ветвей, цветков и лишних плодов. Уметь своевременно направить поток ассимилятов в органы растения, имеющие наибольшую хозяйственную ценность, значит овладеть секретом получения высоких урожаев.

Вопросам, связанным с передвижением веществ в организме растений, посвящена большая литература [1—8 и др.], и все же эта проблема изучена еще недостаточно.

С освоением новых методов исследования, особенно метода меченых атомов, получено много интересных данных, углубляющих наше понимание важнейшего физиологического процесса оттока ассимилятов.

А. Л. Курсанов [5], делая обзор работ о круговороте органических веществ, писал, что до недавнего времени он представлялся ученым в виде довольно простой схемы — ассимиляты из листьев направляются в корни, обогащаются там продуктами корневой деятельности и снова возвращаются в надземные органы. Но последние исследования показали, что в действительности не все так просто, как казалось. В той же работе А. Л. Курсанов указывал, что у тыквы, например, от третьего и четвертого нижних листьев в корни направляется всего 18—50% общего количества ассимилятов этих листьев. После обменных реакций с продуктами корневой деятельности из поступивших в корень ассимилятов в надземную массу растения возвращается только около 40%. В некоторых случаях из листьев в корни поступало всего 5% от всех ассимилятов листа.

При изучении процесса распределения продуктов фотосинтеза в период вегетации у сои нами было показано, что в корни ассимиляты поступают только от листьев нижнего яруса и частично от листьев среднего яруса, а в верхушку стебля и к молодым растущим листьям они движутся от листьев верхнего и частично среднего яруса [9—12]. Молодые растущие листья не отдают ассимиляты в другие органы растения, а используют их полностью на месте. От одного взрослого листа в другой взрослый лист продукты фотосинтеза не поступают или поступают лишь в незначительном количестве. Даже сильное затемнение листьев не увеличивает притока ассимилятов к ним от соседних листьев.

С наступлением периода плодоношения направленность обмена в

* В практической работе принимал участие студент Дальневосточного университета Э. Я. Костецкий.

организме растения резко меняется и продукты фотосинтеза поступают только в бобы. В случае удаления последних вегетативный рост не возобновляется, а вновь образуются бобы.

Подобные исследования сои проводились и другими авторами. Так, С. Аронов [13] говорит, что «меченый» продукт фотосинтеза движется в основном в направлении растущих частей растения. Г. Нельсон и П. Горхэм [14] показали, что «меченый» продукт ассимилятов из листа нижнего яруса поступает главным образом в корень. И. И. Гунар и Е. Е. Крастина [15], наблюдая распределение продуктов фотосинтеза в период вегетации у двух сортов сои, отметили, что распределение органических веществ в растении определяется в первую очередь фазой его развития. Они установили, что «из листа среднего яруса активные пластические вещества поступают только в молодые растущие листья; в листьях, прекративших рост, активность не обнаруживается».

Австралийские ученые Р. Тайн, С. Овенден и Д. Тернер [16] почти полностью повторили наши опыты с подкормкой сои радиоактивным углеродом $C^{14}O_2$ и пришли к выводам, аналогичным нашим: «меченые» ассимиляты от нижних листьев направляются в корень, от средних — в корень и верхушку стебля, от верхних — в верхушку стебля и к молодым растущим листьям. Молодые растущие листья не передают свои ассимиляты в другие органы, а потребляют их на месте. О передвижении ассимилятов из одних взрослых листьев в другие авторы говорят, что «движение их было небольшим по сравнению с движением в растущие или распускающиеся листья». Подобное же распределение ассимилятов между органами растений томата, паслена и махорки отмечал А. И. Литвиненко [17, 18]. Он также не обнаружил «меченых» ассимилятов во взрослых листьях.

При сопоставлении наших данных с литературными невольно возник вопрос: характерны ли отмеченные закономерности в распределении продуктов фотосинтеза лишь для некоторых растений или они носят общеприродный характер? Но для решения этого вопроса имеющихся в настоящее время экспериментальных данных недостаточно, слишком мало еще исследовано растительных форм. Цель нашей работы — проследить за распределением ассимилятов, меченых углеродом C^{14} , между органами различных растений — огурцов, тыквы, капусты, наперстянки, топинамбура, фасоли, гречихи.

Воздушная подкормка растений проводилась $C^{14}O_2$ при помощи камеры через листья по методу О. В. Зеленского [19]. Концентрация CO_2 в камере поддерживалась на уровне 1%, а C^{14} — 5 мкюри на 1 л воздуха. Опыты с подкормкой велись в утренние часы (9—11 ч) и полуденное время (15—18 ч). Экспозиция давалась 15—20 мин (больше время — в пасмурную погоду, меньше — в солнечную).

Для обнаружения у опытных растений радиоактивного углерода брались пробы — диски листовых пластинок, цветков и плодов диаметром 19 мм, а из сухого материала делались таблетки диаметром 17 мм. Радиоактивность их определялась с помощью торнового счетчика на установке типа Б-2 и рассчитывалась на поверхность диска или таблетки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Огурцы (*Cocumis sativus* L.)

Огурцы взяты для опытов потому, что в отличие, например, от сои с появлением плодов у них не прекращается рост стебля и образование новых листьев.

Искусственное удаление бобов у сои, как правило, не активизирует ростовых процессов, а у огурцов, наоборот, удаление плодов усиливает рост побегов и появление новых листьев. Было весьма важно проследить за распределением ассимилятов в организме этого вида растений в различное время их жизни. Посев семян проведен 5 июня 1958 г., всходы появились 11 июня. С подкормкой растений $C^{14}O_2$ было проведено два опыта.

Опыт 1. В фазе начала цветения (19/VII) радиоактивной углекислотой подкормлено три растения. Пробы — диски для определения радиоактивности листовых пластинок — взяты через два дня после подкормки (21/VII).

Растение 1 в день подкормки имело 9 листьев. $C^{14}O_2$ вводилась в первый настоящий лист. К моменту взятия проб появилось три новых листа, что указывало на большую активность ростовых процессов. На рис. 1 показано, что зеленая пластинка подкормленного листа обладала сравнительно высокой радиоактивностью. От этого листа C^{14} поступал в больших количествах в молодые растущие листья, цветки, завязи плодов, находящиеся в пазухах других листьев. Во взрослых листьях C^{14} не был обнаружен в заметных количествах.

Растение 2 в момент проведения подкормки (19/VII) имело 8 листьев. В течение двух дней после подкормки образовалось еще три новых листа. Радиоактивная углекислота вводилась в пятый лист снизу, ростовые процессы у которого затухали. С момента подкормки до взятия пробы листовая пластинка опытного листа увеличилась с 224 до 289 см². Данные о радиоактивности различных органов и тканей представлены на рис. 2, где видно, что от пятого листа радиоактивный углерод C^{14} поступал так же, как и у первого растения, к растущим листьям, цветкам и завязям плодов, находящимся выше и ниже кормленного листа.

Растение 3 в день подкормки $C^{14}O_2$ (19/VII) имело 10 листьев. Ко времени взятия пробы (21/VII) у него прибавилось еще 2 листа. Подкормлен был девятый лист снизу, молодой, энергично растущий. За два дня (19—21/VII) его листовая пластинка увеличилась с 64,8 до 155,2 см². Данные радиоактивности листовых пластинок, представленные на рис. 3, показывают, что листовая пластинка подкормленного листа активно поглощала углекислоту. Следовательно, процесс фотосинтеза здесь протекал более интенсивно, чем у взрослых листьев первых двух растений. Несмотря на большую продуктивность листа, ассимиляты от него не перемещались ни в плоды, ни в молодые растущие листья, очевидно, все вырабатываемые пластические вещества, как и у сои, потреблялись на месте.

Опыт 2. В этом опыте (1/VIII) подкармливалось $C^{14}O_2$ только одно растение, имевшее несколько больших плодов и обильное цветение. Пробы-диски листовых пластинок, плодов и цветков брались два раза (2 и 4/VIII). Число листьев на главном стебле с 1 по 4 августа возросло с 19 до 22. Подкормлен тринадцатый лист снизу, у которого ростовые процессы уже закончились. Два нижних листа опали. Данные радиоактивности различных органов растения, представленные на рис. 4, указывают, что уже на второй день после введения в организм растения $C^{14}O_2$ продукты фотосинтеза переместились от подкормленного листа в цветок, расположенный в пазухе этого листа, и молодые растущие листья главного стебля.

В молодых листьях боковых побегов, плодах и цветках главного и боковых побегов ниже и выше кормленного листа C^{14} не был обнаружен, не изменилось распределение C^{14} в растении и 4/VIII, когда была взята вторая проба.

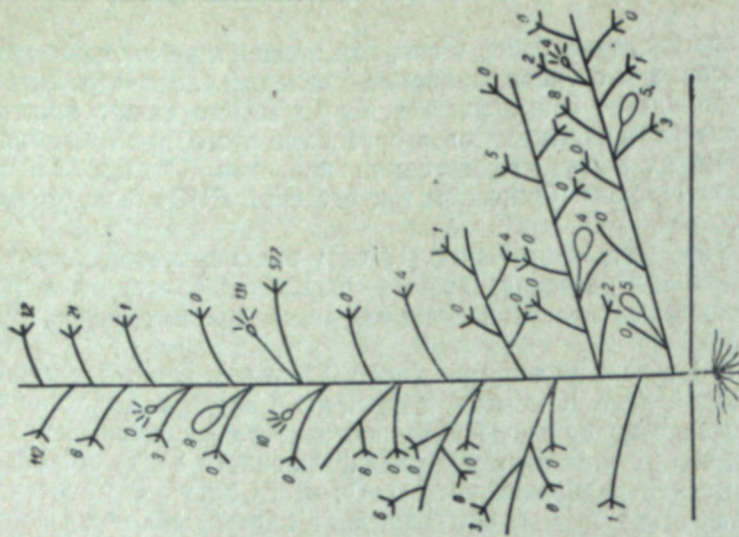


Рис. 4. Распределение продуктов фотосинтеза в организме огурцов при введении C^{14} в лист среднего яруса в начале плодообразования (имп/мин, d диска листа 19 мм). Обозначения те же, что и на рис. 1.



Рис. 3. Распределение продуктов фотосинтеза в организме огурцов при введении C^{14} в молодой растущий лист (имп/мин, d диска листа 19 мм). Обозначения те же, что и на рис. 1.

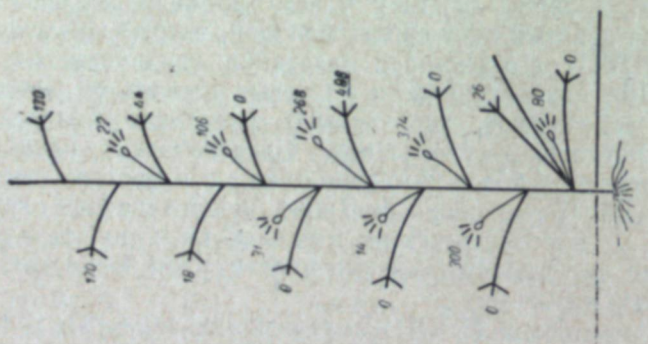


Рис. 2. Распределение продуктов фотосинтеза в организме огурцов при введении C^{14} в лист среднего яруса (имп/мин, d диска листа 19 мм). Обозначения те же, что и на рис. 1.

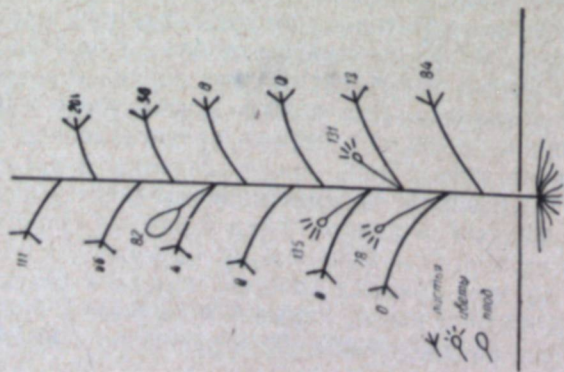


Рис. 1. Распределение продуктов фотосинтеза в организме огурцов при введении C^{14} в прикорневой лист (имп/мин, d диска листа 19 мм).

В 1959 г. при повторении опытов с огурцами было установлено, что по мере старения плода он поглощал ассимиляты не только от листа, в пазухе которого находился, но и от других листьев. Рост побегов в это время замедлялся.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Взрослые листья огурцов в данном опыте не обменивались друг с другом продуктами ассимиляции.

2. От молодых листьев, имеющих ассимиляционную поверхность примерно около 60% размера взрослого листа, ассимиляты поступают в молодые растущие листья, цветки и плоды растения. При меньшей ассимиляционной поверхности молодого листа и активных процессах роста его листовой пластинки продукты фотосинтеза от него не перемещаются в другие органы и ткани растения, а потребляются на месте.

3. При появлении плодов-зеленцов на растении не отмечается локального использования ими ассимилятов, рост стебля и появление на нем новых листьев при этом не останавливаются. Вегетативный рост замедляется, но прекращается он только с появлением на растении семенников. Переход из одного физиологического состояния в другое у огурцов совершается значительно медленнее, чем у сои.

Тыква (*Cucurbita pepo*)

Опыт 1. Семена тыкв 5 июня были высеяны в лунки, по 2—3 штуки в каждую. Всходы появились 10 июня. Подкормка растений $C^{14}O_2$ проведена 4 июля. В это время растения имели семядоли, парные листья и два настоящих листа с довольно большой поверхностью; третий лист только начинал разворачиваться. В узле первого настоящего листа отмечен зачаток бокового побега. Погода во время подкормки стояла солнечная.

Подкормлены были: у 1-го растения один из парных листьев, а у 2-го — третий, молодой, активно растущий лист. Пробы-диски взяты 6 и 10 июля. За это время у обоих растений появилось по два новых листа и отросли боковые побеги. Данные о радиоактивности листьев представлены в табл. 1. Они свидетельствуют о том, что в ранней фазе развития растений парные листья (растение 1) обильно снабжали ассимилятами растущий молодой лист.

Во взрослые листья C^{14} не поступал. Молодой растущий лист (растение 2) обеспечивал ассимилятами только себя. Необходимо отметить, что в молодых листьях C^{14} убывал намного быстрее, чем в листьях старшего возраста, что говорило о более активных обменных реакциях у первых.

Опыт 2. В данном опыте (18/VII) было подкормлено $C^{14}O_2$ три растения. В это время растения начали цвести. Подкармливались листья разных возрастов: второй, седьмой и десятый.

Растение 1 имело в день подкормки тринадцать листьев. В пазухах первого — четвертого листьев главного стебля образовались бо-

Таблица 1

Радиоактивность листьев тыквы (имп/мин, поверхность диска $d=19$ мм)

Листья снизу вверх	Растение 1		Растение 2	
	6/VII	10/VII	6/VII	10/VII
5	—	10	—	7
4	456	62	0	0
3	41	16	545	210
2	0	0	0	0
1	0	0	0	0
парные листья				
а) —		12	0	0
б) 400		354	0	0

ковые побеги. Подкормлен второй лист снизу. Пробы-диск листовых пластинок взяты 21 июля. Площадь листовой пластинки подкормленного листа со времени подкормки до взятия пробы не изменялась и составляла 291,0 см². С 18 до 21 июля на главном стебле растения образовалось четыре новых листа.

Растение 2 в день подкормки (18/VII) имело 10 листьев, а в момент взятия проб для определения радиоактивности (21/VII) их уже было 13. Подкормлен был седьмой лист снизу. Площадь его поверхности 18 июля составляла 416, а 21 июля — 529 см². В пазухах у 6 нижних листьев имелись небольшие побеги.

Растение 3 в день подкормки (18/VII) имело 11 листьев, в день взятия пробы (21/VII) — 13 листьев. У этого растения был подкормлен молодой, сильно растущий десятый лист снизу. Его площадь от времени подкормки до взятия пробы увеличилась с 56,2 до 281,0 см², т. е. в пять раз.

Степень радиоактивности листовых пластинок всех трех растений (табл. 2) говорит о том, что у тыквы взрослые листья в данных условиях не обмениваются ассимилятами друг с другом. В ранней фазе развития

Таблица 2

Радиоактивность листьев тыквы на третий день после подкормки растений $C^{14}O_2$ (имп/мин, поверхность диска $d = 19$ мм)

Листья снизу вверх	Растения			Примечание
	1	2	3	
17	19	—	—	Большая радиоактивность листовых пластинок у растения 1 отмечена на побегах, которые находились в пазухе 3, 4, 6, 7 листьев главного стебля; у растения 2 — только у побега 6 листа; у растения 3 радиоактивный углерод не обнаружен ни в одной листовой пластинке. В цветах и плодах последнего растения радиоактивность также не была отмечена.
16	34	—	—	
15	24	—	—	
14	1	—	—	
13	13	66	0	
12	7	110	0	
11	0	38	10	
10	0	37	345	
9	0	9	0	
8	0	0	0	
7	0	1096	0	
6	0	0	0	
5	0	0	0	
4	0	0	0	
3	0	0	0	
2	56	0	0	
1	0	0	0	

растений продукты фотосинтеза от взрослых листьев поступают преимущественно к молодым растущим листьям главного стебля и боковых побегов. У молодых растущих листьев, ассимиляционная площадь которых равна $1/10$ площади взрослого листа, выработанные ими ассимиляты потребляются целиком на месте, а по достижении таким листом $3/4$ площади взрослого листа ассимиляты от него уже в большом количестве поступают в другие органы и ткани растения.

Табак (*Nicotiana tabacum*)

Опыт 1. Растения выращивались в теплице в горшках. Подкормка $C^{14}O_2$ проведена 27 мая, пробы взяты 28 и 31 мая. Подкормлен 6 лист снизу. 27 мая растение имело 8 взрослых листьев и 3 растущих, из них десятый и одиннадцатый листья были с небольшой рабочей поверхностью. К 31 мая растение имело тринадцать листьев. Данные табл. 3 по-

казывают, что у табака ассимиляты от взрослого листа направлялись так же, как и у сои, к молодым растущим и вновь появляющимся листьям, а в старые не поступали.

Опыт 2. В день подкормки $C^{14}O_2$ (27/V) растения имели по 7 взрослых листьев и по 1 молодому листу. Верхушки обоих растений оканчивались бутонами разной степени развития. У некоторых листьев имелись пазушные побеги с двумя молодыми листочками. У растения 1 подкармливался второй лист снизу, а у растения 2 — седьмой. Экспозиция длилась 10 мин. Погода стояла солнечная. Пробы для определения радиоактивности были взяты 30 мая (табл. 4).

Таблица 3

Листья снизу вверх	Радиоактивность листьев табака (имп/мин, поверхность диска $d = 19$ мм)	
	28/V	31/V
13	—	137
12	—	134
11	—	347
10	—	47
9	2	20
8	1	34
7	1	28
6	672	410
5	2	31
4	2	5
3	3	—
2	0	—
1	0	—

Таблица 4

Листья снизу вверх	Радиоактивность листьев табака (имп/мин, поверхность диска пластинки $d = 19$ мм)	
	Растения	
	1	2
8	3	11
7	2	601
6	3	1
5	0	—
4	5	1
3	5	—
2	431	12
1	—	—

У растений 1 и 2 радиоактивный углерод был обнаружен в наибольшем количестве в подкормленных листьях, в остальных листьях его было очень мало. В значительном количестве он был обнаружен в других органах растения (табл. 5). От листа, расположенного ближе к корневой системе, ассимиляты направлялись в бутоны и корневую систему (растение 1), а от листа, расположенного ближе к верхуш-

Таблица 5

Радиоактивность бутонов и корней табака (имп/мин, диск таблетки $d = 17$ мм)

Наименование органов	Растения		Примечание
	1	2	
Бутоны только что оформившиеся	—	486	У растения 1 листовая пластинка пазушного побега 5 листа главного стебля имела радиоактивность 226 имп/мин
Бутоны вполне сформировавшиеся	970	1573	У растения 2 листовая пластинка пазушного побега 6 листа главного стебля имела 8 имп/мин, а 7 листа 452 имп/мин
Главный корень	466	67	
Мелкие корешки	148	43	

ке стебля (растение 2), пластические вещества поступали главным образом в бутоны и лишь в небольшом количестве в корневую систему. Следовательно, у табака с появлением бутонов рост листовых пластинок на главном стебле прекращается и основной поток ассимилятов направляется в органы плодоношения.

Капуста белокочанная (*Brassica capitata* F. alba)

Рассада была высажена в грунт 27 мая. Растения быстро прижились и хорошо росли. 9 июня проведена подкормка двух растений, у которых в это время было по семь листьев. У растения 1 подкормлен первый лист, а у растения 2 — четвертый снизу. В этот же день у них была измерена листовая поверхность. Ко дню взятия последней пробы число листьев на растениях удвоилось, значительно возросла и их площадь (табл. 6).

Таблица 6

Радиоактивность листьев капусты (имп/мин, диск $d = 19$ мм)

Листья снизу вверх	Растение 1			Растение 2		
	9/VI. Пло- щадь ли- стовых пластинок, см ²	имп/мин		9/VI. Пло- щадь ли- стовых пластинок, см ²	имп/мин	
		12/VI	25/VI		12 VI	25 VI
16	—	—	—	—	—	0
15	—	—	—	—	—	22
14	—	—	9	—	—	12
13	—	—	14	—	—	2
12	—	—	8	—	—	23
11	—	—	7	—	—	7
10	—	—	20	—	—	9
9	—	—	2	—	—	0
8	—	37	25	—	—	8
7	16,0	191	11	4,0	256	50
6	28,8	47	6	16,8	10	8
5	72,0	11	7	32,0	8	8
4	96,8	1	29	59,2	437	265
3	105,6	3	11	89,6	3	3
2	105,6	0	4	92,8	0	4
1	100,8	270	228	108,0	1	2

У капусты радиоактивный углерод вскоре после внедрения был обнаружен в большом количестве в молодых растущих листьях и в небольшом количестве во взрослых листьях. А с появлением новых листьев он перемещался в них.

Наперстянка (*Digitalis purpurea*)

Растения наперстянки выращивались в горшках в теплице. В день подкормки у растения 1 имелось двенадцать листьев, из которых шесть были взрослыми, а шесть молодыми растущими. Подкармливался лист второго яруса снизу. У растения 2 имелось четырнадцать листьев, из них восемь взрослых и шесть растущих. Подкормлен лист верхнего яруса. Подкормка обоих растений проведена 12 июня, пробы-дискеты взяты 13 июня.

В опыте с наперстянкой (табл. 7) при кормлении взрослого листа радиоактивный углерод обнаруживался в молодых растущих листьях. При подкормке молодого растущего листа все ассимиляты поглощались на месте, они не перемещались даже в супротивный лист (растение 2).

Весьма характерно, что и у растения 1 продукты фотосинтеза поступали в верхнюю часть растения, в листья, расположенные над подкормленным листом, в супротивных листьях они были обнаружены в незначительных количествах.

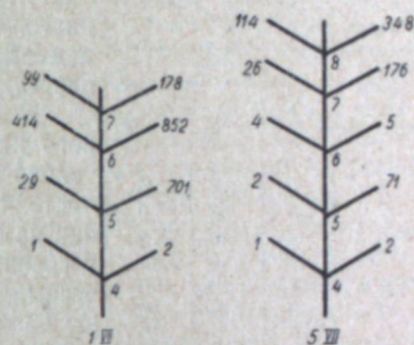
Таблица 7

Радиоактивность листьев наперстянки (имп/мин, поверхность диска $d = 19$ мм)

Пары листьев	Растение 1	Растение 2
7 а) б)	листья отсутствовали	439 6
6 а) б)	333 13	3 4
5 а) б)	32 16	0 0
4 а) б)	4 2	0 2
3 а) б)	0 0	0 3
2 а) б)	100 0	0 10
1 а) б)	0 0	0 0

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.)

Такое же распределение радиоактивного углерода, как у наперстянки, мы наблюдали у топинамбура. Подкормка $C^{14}O_2$ была проведена 30 июня. К тому времени растение

Рис. 5. Распределение продуктов фотосинтеза при введении C^{14} в листья топинамбура.

имело четырнадцать листьев, из них четыре молодых растущих. Подкармливался один из парных листьев 5 узла. Пробы-дискеты листовых пластинок брались 1 и 5 июля. На рис. 5 видно, что подкормленный лист имел довольно большую радиоактивность, в то время как в супротивном листе C^{14} было очень мало, практически он отсутствовал. В значительных количествах радиоактивный углерод в ассимилятах поступал в растущие листья 6, 7 и 8-го узлов. Причем больше его оказывалось в листьях, расположенных на той же стороне стебля, где находился подкормленный лист. Во взрослых листьях C^{14} почти не обнаруживался.

Фасоль (*Phaseolus vulgaris*)

Подкормлен $C^{14}O_2$ -лист кустовой фасоли. К моменту подкормки (21/VIII) часть бобов начала уже желтеть, а листья все еще были зелеными. 23 августа взяты пробы листовых пластинок и убраны все бобы. После подсушки из семян делались таблетки и определялась их радиоактивность.

В листовых пластинках радиоактивный углерод обнаружен только в подкормленном листе. В семенах же наибольшее количество C^{14} было обнаружено в бобах, находившихся в пазухе подкормленного листа и в семенах верхнего узла того же побега. В семенах других побегов C^{14} не обнаружен.

Гречиха (*Fagopyrum sagittatum*)

Посев проведен 30 мая. В день подкормки $C^{14}O_2$ (7/VII) растения цвели и имели высоту около 100 см. Пробы взяты у трех растений 8 июля.

Растение 1 имело на главном стебле семь вполне сформировавшихся листьев. Подкормлен первый лист снизу.

Растение 2 на главном стебле имело девять листьев. Подкормлен третий лист главного стебля.

Растение 3 имело на главном стебле восемь листьев. Подкормлен шестой лист снизу.

Данные табл. 8 показывают, что из прикорневого листа (растение 1) ассимилянты не поступали ни в молодой верхний лист главного стебля, ни в цветки. Из листьев, расположенных ближе к верхушке, у растений 2 и 3 радиоактивный углерод попадал уже в молодые растущие листья и цветки. Поскольку у всех растений гречихи имелись боковые побеги, то радиоактивность мы определяли в листьях и цветках боковых побегов (табл. 9).

Таблица 8

Радиоактивность листьев главного стебля растения гречихи (имп/мин, поверхность диска $d = 19$ мм)

Листья снизу вверх	Растения		
	1	2	3
9	0	22	—
8	0	4	130
7	4	8	9
6	1	0	378
5	0	0	0
4	0	0	0
3	0	142	0
2	0	0	0
1	77	0	0

Из табл. 9 видно, что у растения 1 от первого нижнего листа ассимилянты поступали только в верхушечный лист первой ветви, в листьях остальных ветвей и главного стебля они не были обнаружены. По всей видимости, у гречихи, как и у растений других семейств, ассимилянты от прикорневых листьев поступают преимущественно в корни.

От листьев среднего и верхнего ярусов (растения 2 и 3) радиоактивный углерод перемещался в молодые растущие листья главного стебля и боковых побегов.

Кроме того, от шестого листа (растение 3) ассимилянты двигались в цветки, находившиеся в пазухах других листьев. Но больше всего C^{14} было обнаружено в цветках, находящихся в пазухе листа, в который

Таблица 9

Радиоактивность листьев боковых побегов гречихи (имп/мин, поверхность диска $d = 19$ мм)

Листья снизу вверх	Растение 1			Растение 2				Растение 3			
	побеги			побеги				побеги			
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
5								27	0		
4		0		91		172	78	0	0	53	
3	60	0	0	7	3	4	6	0	0	0	34
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1	0	0	0	6	0	11	0	0	0	5	0

вводился радиоактивный углерод. Здесь отмечается та же закономерность в распределении ассимилятов между органами, что и у других растений. Пластические вещества направляются в большом количестве в растущие органы и особенно в те, которые расположены ближе к местам их выработки.

ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные нами данные о распределении продуктов фотосинтеза в период вегетации у растений различных систематических групп позволяют по некоторым вопросам затронутой проблемы высказаться более определенно, хотя экспериментальных данных все еще недостаточно.

В первый период вегетации, до плодообразования, у многих растений продукты фотосинтеза от места их образования поступают в наи-

большем количестве в растущие органы — корни, стебель, листья, верхушку главного стебля, боковые побеги. В рассматриваемый период вегетации эти органы являются основными потребителями ассимилятов.

Если исходить из того, что ассимилянты из листового аппарата направляются в корни, откуда после обогащения продуктами корневой деятельности они должны возвратиться в надземные органы, то при подкормке $C^{14}O_2$ одного из взрослых листьев «меченые» продукты должны оказаться во всех взрослых листьях. Но мы их там не обнаруживали, или их оказывалось незначительное количество. То же самое отмечали и другие исследователи [15, 16, 17].

После подкормки одного из взрослых листьев радиоактивной углекислотой мы не обнаруживали «меченых» продуктов фотосинтеза в соседних взрослых листьях ни через короткий промежуток времени, ни через сутки, ни через несколько дней. Даже кратковременное и длительное затемнение не вызывало притока ассимилятов к ним. Австралийские ученые [16] отметили, что если в камере увеличить концентрацию радиоактивной кислоты, то в соседние взрослые листья «меченого» продукта поступает больше, но по сравнению с молодыми растущими листьями по-прежнему намного меньше. Если взрослые одновозрастные листья находятся в равных условиях светового режима экспозиции и температуры, то причин обмена ассимилятами у них нет. Неясно, почему от взрослого листа, находящегося на свету, не поступают ассимилянты к другим листьям в случае их затемнения даже при явных признаках голодания. В молодой растущий лист, если он и будет затемнен, ассимилянты от взрослых листьев поступают в большом количестве [20, 21, 22]. Упомянутые выше авторы [16] пытались найти причину в анатомическом строении проводящих путей. Оказалось, что с этой стороны препятствий для прохода ассимилятов во взрослые листья нет. Пока этот вопрос остается открытым.

У исследуемых растений была замечена определенная закономерность в распределении ассимилятов между органами: от листьев нижнего яруса продукты фотосинтеза направляются главным образом в корневую систему, от листьев среднего яруса они поступают в корни и верхушку стебля, к молодым растущим листьям. От верхних листьев ассимилянты перемещаются преимущественно в верхнюю часть растения. Из молодых растущих листьев ассимилянты не поступают в другие органы, а полностью используются на месте. С увеличением количества листьев у растения такое разделение функций в снабжении ассимилятами органов растения проявляется более отчетливо. Из этого не следует, что в организме растений существует какая-то автономность. В случае удаления того или иного листа ассимилянты начинают поступать в соответствующий орган от других листьев. Например, в одном из наших опытов (данные не опубликованы) на растениях сои и подсолнечника оставалось всего по три листа, с появлением нового листа нижнего яруса оставалось всего по три листа, с появлением нового листа нижнего яруса каждый раз удалялся. Корни этих растений обеспечивались ассимилятами, хотя существовавшие листья и принадлежали к листьям верхнего яруса. Первую попытку объяснить такое распределение функций между листьями различных ярусов в части снабжения различными органами ассимилятами предпринял А. И. Литвиненко [18]. У томатов он изучал расположение сосудистых пучков и отметил, что листовые следы выходят в ситовидные трубки флоэмы. Листовые следы первого листа совпадают с листовыми следами пятого листа, второго — с шестым и т. д. Пятый молодой лист отдает продукты фотосинтеза в проводящую сеть значительно больше, чем первый лист. Ассимилянты пятого листа как бы перекрывают каналы продуктам фотосинтеза первого листа, в силу чего они вынуждены направляться вниз, в корень. Весьма возможно,

что это имеет место, но нужны дополнительные исследования, объектом которых явились бы другие растения.

С момента появления плодов растения переходят в иное физиологическое состояние. Изменяется при этом обмен веществ и, как следствие этого, ток ассимилятов направляется в другие органы растения. Но не у всех семейств переход от одного физиологического состояния в другое происходит одинаково. Например, у некоторых сортов сои, в период плодообразования занимает 10—15 дней. С появлением первых бобов в пазухе листа, обычно среднего яруса, ассимиляты от данного листа направляются только к этим бобам, т. е. используются локально. Мало того, к ним направляются ассимиляты и от листьев, еще не имеющих своих бобов. По этой причине ростовые процессы в растении с образованием первых бобов начинают затухать. При появлении бобов в пазухах всех листьев ростовые процессы прекращаются совсем. Искусственное удаление бобов не активизирует ростовых процессов; пробуждаются спящие почки и снова образуются бобы. Следовательно, переход от одного физиологического состояния в другое у сои совершается в сравнительно короткое время, причем процесс этот необратим [10, 12].

В средних широтах у огурцов, тыкв и томатов период плодообразования длится 60 и более дней, а в теплицах около года. Смена физиологических состояний у этих растений совершается постепенно. При появлении плодов у них ассимиляты от взрослых листьев направляются в плоды и в точки роста главного и боковых побегов, к молодым растущим листьям, в цветки. Ростовые процессы при образовании первых плодов не затухают, а протекают довольно интенсивно.

Нам представляется, что эти биологические особенности растений при переходе из одного физиологического состояния в другое можно с успехом использовать с целью получения более высоких урожаев. У растений с ясной сменой физиологических состояний, таких как соя, фасоль и др., бобы которых используются зелеными для приготовления консервированных продуктов, можно получать 2—3 сбора в зависимости от наличия у растений спящих почек. Кроме того, внося удобрения в этот период, можно не опасаться, что будет отрастать вегетативная масса, все элементы питания будут использованы растением только на образование репродуктивных органов [23]. Для растений каждого вида необходимо практически установить оптимальное время обрыва бобов.

К растениям с длительным периодом плодообразования и менее ясным переходом из одного физиологического состояния в другое нужен иной подход. Внесение удобрений (например, азотистых) в виде подкормки может настолько активизировать ростовые процессы, что большая часть ассимилятов и продуктов корневой деятельности будет направлена в точки роста на образование вегетативной массы и в меньшей степени — в плоды. Фосфорные, калийные удобрения, а также внесение микроэлементов, наоборот, будут способствовать оттоку ассимилятов в плоды. Чеканка, прищипывание верхушек побегов, пасынкование будут также способствовать большему притоку ассимилятов к плодам.

ВЫВОДЫ

1. Наблюдениями за распределением ассимилятов, «меченых» C^{14} , у огурцов, тыквы, наперстянки, топинамбура в первые фазы их развития было установлено, что к молодым растущим листьям «меченые» продукты фотосинтеза поступают больше всего из листьев верхнего и сред-

него ярусов и меньше из листьев, расположенных ближе к корням. От последних, так же как и у сои [11] и томатов [18], ассимиляты поступают главным образом в корни.

2. От одного взрослого листа к другому «меченые» продукты фотосинтеза у огурцов, тыквы, топинамбура, наперстянки, капусты, гречихи и табака, так же как и у сои, перемещаются лишь в незначительных количествах или не обнаруживаются совсем.

3. Из молодых растущих листьев огурцов, тыквы, табака и наперстянки продукты фотосинтеза не перемещаются в другие органы растения, а полностью потребляются на месте.

4. При появлении плодов у огурцов и тыквы ассимиляты направляются одновременно в плоды, верхушки побегов и молодые растущие листья. Локального использования ассимилятов плодами отмечено не было. У табака с появлением бутонов верхние молодые растущие листья перестают снабжаться ассимилятами и рост их прекращается. Почти весь поток ассимилятов при этом направляется в органы плодоношения.

5. У огурцов и тыквы при появлении плодов ассимиляты продолжают все так же активно поступать в вегетативные органы, рост которых не прекращается. Удаление плодов усиливает приток ассимилятов к вегетативным органам и рост их заметно активизируется. Эти особенности растений можно с успехом использовать в целях повышения урожайности.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Владивосток

Поступила в редакцию
23/II 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. A. S. Crafts, Movement of assimilate, viruses, growth regulators and Chemical indicators in Plants. The Botanical Review, v. 17, No. 4, 1951.
2. Ф. Кэртис, Передвижение растворимых веществ в растениях. ИЛ, Сельхозгиз, 1937.
3. Д. А. Сабинин, Минеральное питание растений. Изд-во АН СССР, 1940.
4. А. Л. Курсанов, Значение изотопов и других новейших методов исследования в биологии для решения вопросов сельского хозяйства. Вестн. АН СССР, 12, 1953.
5. А. Л. Курсанов, Корневая система растений как орган обмена веществ. Изв. АН СССР, сер. биол., 6, 1957.
6. А. Л. Курсанов, Взаимосвязь физиологических процессов в растении. 20-е тивриязевские чтения. Изд-во АН СССР, 1959.
7. М. В. Афанасьева, Передвижение веществ в растениях. Изд-во ЛГУ, 1955.
8. E. Munch, Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Jena, 1930.
9. И. Ф. Беликов, О локальном использовании продуктов фотосинтеза у сои. ДАН СССР, т. 102, № 2, 1955.
10. И. Ф. Беликов, О движении и распределении продуктов фотосинтеза у сои в период вегетации. Физиология растений, т. 2, вып. 4, 1955.
11. И. Ф. Беликов, Э. Я. Костецкий, Распределение продуктов фотосинтеза у сои в ранние фазы ее развития. ДАН СССР, т. 119, № 6, 1958.
12. И. Ф. Беликов, П. Г. Ткаченко, Культура сои в Приморском крае. Примориздат, 1961.
13. S. Aronoff, Translocation from soybean leaves Plant Physiology, v. 30, No. 2, 1955.
14. C. Nelson, P. Gorham, Uptake and Translocation of C^{14} labelled sugars applied to primary leaves of soybean seedling. Canad. J. of Bot. v. 35, No. 3 and 5, 1957.
15. И. И. Гунар, Е. Е. Крастина, Распределение продуктов ассимиляции углерода по органам в онтогенезе сои. Докл. ТСХА, вып. 29, 1957.
16. R. Thaine, S. Oviden, J. Turner, Translocation in the Soybean. Austr. J. Biolog., v. 12, No. 4, 1959.

17. А. И. Литвиненко, Ассимиляция меченых продуктов фотосинтеза подвоя привоем при межродовой и внутривидовой прививке. *Агробиология*, № 3, 1957.
18. А. И. Литвиненко, Изучение передвижения органических веществ в растении томата. *Тр. Харьковск. с.-х. ин-та*, т. 29 (56), 1960.
19. О. В. Зеленский, О. А. Семихатова, В. Л. Вознесенский, Методы применения радиоактивного углерода C^{14} для изучения фотосинтеза. *Изд-во АН СССР*, 1955.
20. И. Ф. Беликов, Движение продуктов фотосинтеза у сои по ходу роста в затенении. *Изв. СО АН СССР*, № 10, 1958.
21. И. Ф. Беликов, О перераспределении ассимилятов в пластинке листа сои. *ДАН СССР*, т. 120, № 4, 1958.
22. И. Ф. Беликов, Применение метода меченых атомов при изучении биологии сои. *Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве*, № 11, 1958.
23. И. Ф. Беликов, Влияние удобрений на химический состав сои. *Тр. ДВФ АН СССР*, сер. растениеводческая, 1, 1952.

Л. С. КОЗЛОВСКАЯ, Е. Н. ЖДАННИКОВА

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ И МИКРОФЛОРЫ

Сообщение 1

Взаимоотношения почвенной фауны и микрофлоры отличаются многосторонностью и издавна привлекают к себе внимание исследователей. К числу более простых связей этих двух компонентов биогеоценоза относятся непосредственно отношения между хозяином и паразитом, потребителем пищи и объектом пищи. В настоящее время описаны грибы и бактерии — паразиты насекомых, дождевых червей и других групп животных. Отмечено также, что при гибели животных разложение их трупов начинается главным образом из кишечника и осуществляется в первую очередь микрофлорой, попадающей туда в процессе питания [1]. Непосредственные пищевые связи с микрофлорой наблюдаются у животных, обладающих недифференцированным или слабо расчлененным пищеварительным трактом. Примером таких взаимоотношений могут служить простейшие, поглощающие бактерии, водоросли и микроскопические грибы. Они являются в известной степени регуляторами численности микрофлоры с воздействием которых приходится считаться при различных сельскохозяйственных мероприятиях [2]. С другой стороны, известны случаи, когда в качестве хищников выступают грибы, гифомицеты, уничтожающие круглых червей и простейших [3, 4].

Существует преемственность между почвенной фауной и микрофлорой в разложении растительных остатков. Установлено, что многие животные употребляют в пищу только опад, затронутый грибным или бактериальным разложением [5]. В свою очередь, почвенные животные, размельчая даже грубые, трудноусвояемые растительные остатки, ускоряют тем самым поселение на них микрофлоры [6].

Наконец, передвигаясь, почвенные животные вместе со своими экскрементами рассеивают микрофлору, заражая ею новые участки почвы. Однако особый интерес представляют сложные взаимоотношения, осуществляющиеся внутри кишечника высокоорганизованных беспозвоночных с дифференцированным пищеварительным трактом и большим набором поступающих в него ферментов.

В настоящее время данные по этому вопросу весьма отрывочны и лишь частично освещают некоторые его стороны.

В исследованиях Фалька [7] указывается, что в кишечнике клещей преобладают грибы, разлагающие клетчатку. Присутствие целлюлозоразрушающих бактерий в кишечнике насекомых отмечено М. С. Гиляровым [8]. Качественный состав микрофлоры пищеварительного тракта орибатид изучался Е. А. Москачевой [9]. Значительно большее внимание было уделено микрофлоре кишечника дождевых червей в работах, освещающих вопросы ее качественных и количественных изменений по сравнению с почвой или экскрементами.

Полученные результаты довольно противоречивы. История этого вопроса подробно изложена нами ранее [10]. Исследования ряда авторов [11, 12] указывают на симбиотический характер этих взаимоотношений, который имеет важное значение для процесса разложения растительных остатков. Ниже в ходе обсуждения полученных нами результатов мы подробнее остановимся на этих работах.

В 1960 г. мы провели опыты, освещающие еще совсем не изученные взаимоотношения многоножек, энхитрид, почвенных личинок двукрылых, пресноводных изопод и люмбрикулид с окружающей их микрофлорой почвы.

Энхитриды, почвенные личинки двукрылых и олигохеты (у люмбрикулиды) относятся к гумусообразователям, многоножки и изоподы — к первичноразлагающим животным [5, 13—17].

Материал для опытов добывался в смешанном кедрово-елово-березовом лесу, растущем на низинном болоте. Нижний ярус растительности представлен в основном осокой дернистой, вейником тростниковидным, костяником, майником, а в понижениях — вахтой и гипновыми мхами. Зеленые мхи занимают 70% общей площади, сфагновые — 25%. Глубина торфа колеблется от 2,15 до 3 м. Степень разложения торфа — 20—25%. Сезонная мерзлота держится на глубине 20—30 см до июля. Средние летние температуры почв невысоки, примерно 10—11°C. Почвенно-грунтовые воды находятся вблизи поверхности.

Энхитриды, наши личинки двукрылых и многоножки относятся к собственно почвенным животным. Люмбрикулиды и изоподы — пресноводные животные, они населяют мелководные мочезины, занимающие около 40% поверхности в лесу.

В естественных условиях в течение вегетационного периода учитывались численность и биомасса подопытных животных, а в отдельных случаях — и продукция их экскрементов. Кроме того, в лабораторных условиях изучался состав микрофлоры кишечника животных и почв, в которых они обитали.

Опыты ставились с двукратной или трехкратной повторностью, за исключением опытов с изоподами. Суммарный вес энхитрид, люмбрикулид и личинок *Diptera* достигал в опыте около 1 г при численности в первых двух группах от 150 до 80 экземпляров и 20—35 экземпляров у двукрылых*.

В первом опыте личинки двукрылых были представлены мухами (сем. *Tabanidae*, *Rhagionidae*, *Sciophilidae*). Во втором — комарами (сем. *Tipulidae*, род *Prionocera*). *Myriapoda* (многоножки) ввиду их малой численности являются в опытах сборной группой, состоящей из *Diplopoda* и *Chilopoda*, преимущественно *Geophilomorpha*. Первые из них питаются растительными остатками, вторые (*Geophilomorpha*) имеют смешанный тип питания и являются одновременно хищниками и сапрофагами [18].

Качественный и количественный состав микрофлоры кишечника описанных групп почвенных животных и почв изучался микробиологом Е. Н. Жданниковой. Сбор материалов, зоологические исследования и общая схема постановки опытов принадлежат Л. С. Козловской. Статьи и выводы написаны обоими авторами совместно.

Контролем данных, полученных для кишечника, служила характеристика почвы, в которой обитали животные.

* Авторы приносят глубокую благодарность за определения изопод, личинок, типулид, диплеспод и пресноводных олигохет проф. Е. В. Боруцкому, Е. Н. Савченко, И. Е. Локшиной и Н. Л. Сокольской.

В микробиологической лаборатории животные перед анализом 4—5 раз отмывались в стерильной водопроводной воде. После этого они помещались на стерильную фильтровальную бумагу и обсушивались, а затем переносились в стерильную пробирку и взвешивались. Взвешенных животных растирали в стерильной ступе до получения однородной массы и количественно переносили в пробирку с водой в отношении 1 : 10. Из разведений, приготовленных из такой болтушки, производились посевы на ряд питательных сред (по методике Института микробиологии АН СССР для микробиологического анализа почв). Предварительно нами был проведен анализ состава микрофлоры с поверхности животных на примере пресноводных олигохет. Животные отмывались многократно в стерильной воде. Затем из этих отмывов (каждого в отдельности) был произведен посев на мясо-пептонный агар с целью установления действенности этого метода стерилизации. Стерилизация спиртом, формалином и другими подобными способами исключена из-за проницаемости кожных покровов животных. Анализ показал, что уже во втором отмыве (смыве) резко снижено количество микроорганизмов по сравнению с первым. Аммонификаторы, выросшие на мясо-пептонном агаре, были идентичны с теми, которые вырастали при анализировании почв.

Последующие отмывы содержали все меньшее количество бактерий. В пятом отмыве насчитывались уже единицы бактерий на чашке по сравнению со сплошным ростом их в первом отмыве. Оставшиеся на поверхности животных после стерилизации единичные микроорганизмы не могли повлиять на учет количественного и качественного состава микрофлоры кишечника почвенных беспозвоночных.

Данные по учету микрофлоры кишечника животных и контрольных почв представлены ниже, в табл. 4—8.

Все цифры для контролей приведены в тысячах на 1 г абсолютно сухого вещества. Для кишечника животных расчет велся на 1 г абсолютно сухого веса кишечника. Влажность кишечника и их относительный вес приняты согласно табл. 1 на основании специальных исследований.

Прежде чем рассмотреть данные таблиц, остановимся на экологии почвенных животных, взятых нами для опыта, и их значении в процессе почвообразования.

Энхитриды составляют одно из семейств, входящих в подкласс малощетинковых червей. Это небольшие, в большинстве случаев белые или желтые черви, длина которых колеблется от 5 до 24 мм, ширина — от 1/4 до 3/4 мм [5, 19]. В почве обитают роды *Mesenchytraeus*, *Enchytraeus*, *Fridericia*, *Bryodrilus*, *Henlea* и др. [5, 20]. Среди первых двух родов имеется много гидрофильных форм, роды *Bryodrilus* и *Achaeta* представлены целиком ксерофильными видами [21].

Энхитриды встречаются в почвах в массовых количествах. Этому благоприятствует их способность размножаться и жить в больших температурных интервалах (от +5 до +20° [22, 23] и даже на снегу [24]) и малая продолжительность развития внутри яйца (10—12 дней) [22]. Согласно Шмидеггу [25], энхитриды не способны к сколько-нибудь

Таблица 1

Влажность и относительный вес кишечника почвенных беспозвоночных

Изучаемые животные	Влажность кишечника, %	Относительный вес кишечника
Пресноводные олигохеты	87	0,85
Энхитриды	87	0,65
Личинки мух	80	0,60
Личинки комаров	80	0,40
Многоножки	70	0,60
Изоподы	72	0,30

значительным горизонтальным и вертикальным миграциям в минеральных почвах, поэтому при наступлении неблагоприятных условий происходит их массовая гибель. Однако проведенные нами на торфяных почвах наблюдения, согласующиеся с данными Вольца [26], Хандшина [27] и Овергаарда-Нильсена [20] для минеральных почв, опровергают это мнение. Энхитреиды могут перемещаться под влиянием неблагоприятных условий в вертикальном направлении в слое 0—20 см, что увеличивает их почвообразующее значение.

Благодаря нескольким циклам размножения в течение вегетационного периода и быстрому развитию энхитреиды даже после значительного снижения своей численности в результате неблагоприятных условий способны быстро ее восстанавливать и активно участвовать в почвенных процессах [20, 28].

Вопреки мнению об отсутствии энхитреид в болотных почвах [5], их можно встретить не только на низинных, но и на переходных и верховых болотах [28]. При этом в европейской части Союза в двух последних типах болот, они и являются преобладающим компонентом почвенной микрофауны. Количество энхитреид в болотных почвах в первую очередь зависит от типа болот и степени его обводненности. Так, в Вологодской и Архангельской областях наименьшая средняя численность наблюдалась в ельниках болотно-травяной группы, наибольшая — в сосняках сфагновых, растущих на почвах верхового типа (табл. 2). Однако

Таблица 2
Средние данные по энхитреидам в различных типах леса Вологодской области за 1956 г.

Тип леса	Средняя численность, экз	Биомасса, г
Сосняк сфагновый	2500	0,440
Ельник сфагновый	2000	0,520
Ельник болотно-разнотравный	1760	2,204
Ельник травяно-зеленомошный	2080	16,640

В минеральных почвах количество энхитреид значительно больше, чем в заболоченных, и достигает десятков тысяч и даже более сотни тысяч на 1 м² поверхности [19, 20].

Строение кишечного тракта энхитреид сложно и обнаруживает большое сходство с таковым у дождевых червей. В частности, у них имеются аналоги известковых желез, которые, по мнению многих авторов, создают щелочную среду внутри кишечника. Кроме того, в кишечник поступают ферменты, разлагающие жиры, белки и углеводы, но отсутствуют целлюлозоразлагающие секреты [21].

По мнению большинства авторов, энхитреиды питаются в основном отмирающими растительными остатками [5]. Свежий опад ими не поедается, они не могут поддерживать свою жизнедеятельность и за счет сильно разложившегося органического вещества [25]. Ряд энхитреид, помимо растительных остатков, участвует в уничтожении трупов животных [24].

Принимают пищу энхитреиды при помощи выделения сильнощелочного секрета слюнных желез, выпускаемого на поверхность пищи. Секрет растворяет ткани животных или растений, которые затем всасываются червем в жидком состоянии. Согласно некоторым наблюдениям, энхитреиды уничтожают также яйца кобылок, куколок двукрылых и маленьких круглых червей, предварительно воздействуя на них своим лизирующим секретом. Интересны наблюдения Франца и Лейтенберге-

ра [29], идущие в разрез с общепринятым мнением о питании энхитреид. Авторы кормили животных свежими листьями ольхи, клена и бука, изучая изменения состава растительного материала в результате прохождения через кишечник животных. При химическом анализе их экскрементов было обнаружено значительное увеличение содержания гумусовых веществ по сравнению с исходной пищей (32,3% содержания гумусовых веществ в выбросах при кормлении листьями бука против 19,8% первоначального содержания в листьях).

По данным А. И. Зражевского [30] в экскрементах энхитреид происходит увеличение подвижных форм азота.

Нами исследовалась суточная продукция экскрементов энхитреид в низинной торфяной почве согры Томской области. Получены следующие данные: длина энхитреид — 1,8—2,0 см, средний вес 1 экземпляра — 4,04 мг, средняя численность на 1 м² — 5111,0, средняя биомасса на 1 м² — 20,64 г. Средняя суточная продукция экскрементов 100 животных составляет 18,0 мг, а средняя продукция всех энхитреид на 1 м² в согре 92,0 мг. Пересчеты показали, что в течение вегетационного периода энхитреиды выбрасывают на 1 га 80 кг экскрементов.

Из приведенных данных видно, что, несмотря на относительно невысокую численность, энхитреиды перерабатывают за вегетационный период около 1 т органического вещества. Нам кажется, что продукция экскрементов энхитреид в полевых условиях должна превышать найденную в эксперименте, так как животные в лаборатории находятся в несколько худших условиях. В течение зимы жизнедеятельность энхитреид в почвах согры прекращается. Таким образом, энхитреиды, особенно при большой численности, играют немаловажную роль в разложении органического вещества.

Сравнительное исследование микрофлоры кишечника энхитреид и населенной ими почвы показало, что в кишечнике животных имеются практически все группы микроорганизмов, присутствующие в почве.

При этом в кишечнике по сравнению с почвой значительно больше микроорганизмов, развивающихся на МПА и КАА. Отношение микроорганизмов, выросших на КАА, к таковым на МПА, чуть превышает единицу (табл. 3). Споровых бактерий также значительно больше в

Таблица 3
Численность микроорганизмов, развивающихся на МПА и КАА в кишечнике почвенных беспозвоночных (средние данные)

Учитываемые группы	Объект обследования	Энхитреиды	Пресноводные лямблиды		Личинки двукрылых	
			благоприятные условия	неблагоприятные условия	мух	комаров
МПА	кишечник контроль	210 000	207 000	41 600	4 500 000	294 000
		78 000	127 000	97 500	94 000	139 000
КАА	кишечник контроль	216 500	337 700	69 000	6 000 000	216 000
		104 000	235 000	226 000	134 000	190 000
КАА/МПА	кишечник	1,04	1,63	1,65	1,33	0,74

кишечнике, чем в почве. При этом в кишечнике преобладают вегетативные формы, тогда как в почве большее количество находится в виде спор (табл. 4, 5). Если рассмотреть процентное содержание споровых и желтопигментных бактерий на МПА, то оказывается, что процент споровых бактерий в кишечнике энхитреид выше, а желтопигментных споровых бактерий в кишечнике энхитреид выше, а желтопигментных споровых бактерий в почве. Плесневые грибы не находят условий

Таблица 4

Численность спорных бактерий в кишечнике почвенных беспозвоночных (средние данные)

Учитываемые группы	Объект исследования	Энхитреиды	Пресноводные олигохеты		Личинки двукрылых	
			благоприятные условия	неблагоприятные условия	мух	комаров
МПА (вегет. формы + споры)	кишечник контроль	17750	11800	900	75 000	3740
		1950	2260	4840	3400	1380
МПА + сусло (споры)	кишечник контроль	247	41,3	2,7	8,3	64
		572	114	—	445	166
Колич. спорных бактерий в кишечнике к количеству в контроле		9,1	5,2	5,4	22,0	2,7
Споры в % к общему колич. на МПА	кишечник контроль	1,4	0,35	0,3	0,01	1,7
		29,4	5,1	—	13,1	12,0

Примечание. Контроль — почва.

для развития в кишечнике энхитреид, и их там содержится меньше по сравнению с почвой (табл. 6). Что касается разлагающих клетчатку микроорганизмов, то количество их увеличивается в кишечнике весной, превосходя содержание в почве, и уменьшается в августе (табл. 7).

Таблица 5

Изменение численности микрофлоры в кишечнике почвенных беспозвоночных в отдельные сроки

Учитываемые группы	Объект исследования	8/VII		1/VIII	16/VIII	
		энхитреиды	личинки мух	пресноводные олигохеты (неблагоприятные условия)	пресноводные олигохеты	личинки комаров
МПА Общее количество	кишечник	301 000	4 500 000	41 600	—	—
	контроль	94 500	94 500	97 500	—	—
КАА Общее количество	кишечник	308 000	6 000 000	69 000	—	—
	контроль	134 000	134 000	22 600	—	—
МПА Число спорных бактерий	кишечник	284 000	75 000	—	1800	3740
	контроль	3400	3400	—	1380	1380

Своеобразие в составе и количестве микрофлоры кишечника энхитреид показывает, что разложение растительных остатков в пищеварительном тракте этих животных происходит полнее и глубже, чем в почве. С другой стороны, оно сохраняет ряд черт, указывающих, что минерализация все же не достигает очень глубоких стадий. Последнее согласуется с характером пищи энхитреид, поглощающих остатки растений, лишь слегка затронутые разложением (см. выше).

Любрикулиды являются пресноводным семейством подкласса малощетинковых червей (*Oligochaeta*). Некоторые виды любрикулид способны переносить временное пересыхание водоемов. Этому помогает их способность инцистироваться [21]. Большинство современных

любрикулид приурочено к водам с относительно низкой температурой [31]. Любрикулиды размножаются как половым, так и бесполовым путем. Последний занимает у них при температуре 18—20° около месяца. Мы встретили любрикулид в мочежинах согры совместно с изоподами. Черви были сосредоточены в самой гуще растений и листьев. Количество их на 1 м² поверхности мочежины составляло 3200 экземпляров при биомассе 28,1 г, сами же мочежины занимают 40% площади леса.

Микрофлора кишечника любрикулид исследовалась при благоприятных и неблагоприятных для деятельности животных условиях. Последние были обусловлены подсушиванием торфа.

Таблица 6

Численность плесневых грибов в кишечнике почвенных беспозвоночных (средние данные)

Объект исследования	Энхитреиды	Пресноводные олигохеты	Личинки двукрылых	
			мух	комаров
Кишечник	17,2	23,35	11,6	1,25
Контроль	43,3	11,08	47,5	2,56

При благоприятных условиях существования животных в их кишечнике обнаруживается значительное увеличение количества микроорганизмов, развивающихся на МПА и КАА, по сравнению с почвой (см. табл. 3). Соотношение микроорганизмов, развивающихся на КАА, к таковым на МПА намного больше единицы (см. табл. 3). Последнее указывает на углубленные процессы минерализации. Увеличивается в кишечнике и абсолютное число спорных (см. табл. 4, 5). Относительное содержание спорных бактерий больше, а желтопигментных меньше, чем в почве (табл. 8). Число микроорганизмов, разлагающих клетчатку, превышает в начале лета их содержание в почве и снижается к осени (см. табл. 7).

В отличие от энхитреид у любрикулид в кишечнике постоянно отмечается повышенное содержание грибов.

При неблагоприятных условиях (подсыхание почвы) жизнедеятельность любрикулид затухает: животные собираются в одно место и остаются там неподвижными, не принимая пищу. Соответственно затухают в их кишечнике и микробиологические процессы. Количество микрофлоры по сравнению с почвой резко уменьшается (см. табл. 3). Однако интересно отметить, что соотношение микроорганизмов, развивающихся на МПА, к таковым на КАА остается тем же (см. табл. 3).

На основании проведенного анализа микрофлоры можно сделать заключение о глубоких процессах минерализации органического вещества, происходящих в кишечнике любрикулид. Этому, мы считаем, способствует характер пищи, поглощаемой червями. Они питаются способствующими растительными остатками [24], и поэтому в их кишечнике находит для себя источники энергии и питания та микрофлора, которая осуществляет глубокие процессы разложения.

Таблица 7

Изменение численности клетчаткоразлагающих микроорганизмов в кишечнике почвенных беспозвоночных

Сроки анализов	Объект исследования	Энхитреиды	Пресноводные олигохеты	Личинки двукрылых	
				мух	комаров
8/VII	кишечник контроль	47,4 36,6	102 34,9	58,5 33,6	
1/VIII	кишечник контроль		0 2,1		
5/VIII	кишечник контроль	10,6 15,0			
16/VIII	кишечник контроль		0 83	0 83	

Личинки *Diptera* (двукрылых) являются преимущественно почвенными животными и широко представлены подотрядами *Brachycera* и *Nematocera*. Длительность пребывания в личиночной стадии колеблется у двукрылых от нескольких дней до 2—3 лет. Число крупных личинок двукрылых в сограх составляет 4—8 экземпляров на 1 м².

Личинки двукрылых обладают большой стойкостью по отношению к неблагоприятным условиям. Например *Tabanidae*, по наблюдениям Браунса [17] и нашим исследованиям в таежной зоне, способны длительное время выдерживать затопление обогащенной кислородом водой.

Таблица 8

Изменение процентного содержания спорых и желтопигментных бактерий

Сроки анализов	Объект исследования	Энхитреиды		Пресноводные олигохеты		Личинки двукрылых	
		сп.	ж.	сп.	ж.	сп.	ж.
8/VII	кишечник контроль	9,4	1,5	5,2	0,5	1,7	0
		3,6	13,5	2,7	10,2	3,6	13,5
1/VIII	кишечник контроль			Неблагоприятные условия			
				2,1	2,1		
5/VIII	кишечник контроль	6,0	6,0				
		3,7	20,8				
16/VIII	кишечник контроль			3,0	0	1,2	7,1
				1,0	13,0	1,0	13,0

Эта способность личинок объясняется различными приспособлениями, делающими организм менее зависимым от условий внешней среды. Так, личинки *Tipulidae* имеют в своем покрове железы, выделяющие жир и предохраняющие их как от пересыхания, так и от излишнего поступления водных растворов [32]. Браунс [17] отмечает также высокую устойчивость почвенных двукрылых к низким температурам и большую чувствительность к ее повышению и солнечной радиации. Считается, что личинки двукрылых малоподвижны и не способны к большим миграциям [32].

По характеру питания большинство почвенных личинок двукрылых принадлежит к фитофагам, геофагам и сапрофагам, меньшая часть является, кроме того, временными зоофагами [17, 32].

Разнообразие питания личинок двукрылых объясняется, видимо, многообразием строения их пищеварительного аппарата, куда поступают самые различные ферменты [32]. Интересно, что *Cecidomyidae* выделяют ферменты, разлагающие целлюлозу, тогда как в кишечнике других личинок клетчатка остается нетронутой.

Таким образом, в настоящий момент существуют две точки зрения на взаимоотношения личинок двукрылых и микрофлоры. Согласно первой [17], бактерии и грибы служат личинкам пищей. Согласно второй, взаимоотношения их более сложны и носят симбиотический характер. Так, по указаниям Сегюи [32], при отсутствии в кишечнике некоторых личинок ферментов, расщепляющих целлюлозу, разложение ее происходит с помощью бактерий.

В литературе имеются отрывочные данные, освещающие более подробно роль личинок *Diptera* в разложении растительных остатков и создании плодородия почв.

В результате опытов Францу и Лейтенбергеру удалось установить, что при кормлении личинок типулид листьями ольхи происходит гумификация последних. При этом количество веществ, не растворимых в ацетилбромиде составляло: в пище 0,285 г, в экскрементах 0,389 г, повышение в экскрементах +36,5%.

Опыты А. И. Зражевского [30] доказали, что у личинок *Diptera* по отношению к виду пищи существует избирательная способность. По его наблюдениям, личинки *Diptera* уничтожают в чистых насаждениях береста около половины всего опада еще до выпадения снега.

На значение личинок типулид в разложении растительных остатков, в частности мхов, указывал Шаллер [16]. По его мнению, экскременты типулид охотно поедаются коллемболами, нематодами и энхитреидами.

Большая роль личинок комаров *Sciara* sp. и *Scatopse fuscipes* в переработке грубых трудноразлагающихся растительных остатков была отмечена М. М. Кононовой [33]. В ее опытах корни люцерны и клевера сохраняли в течение нескольких лет свое строение, но лишь только на них поселялись личинки комаров *Sciara*, корни в течение нескольких дней превращались в мулль.

Приведенные выше данные говорят о большом интересе, который вызывают личинки двукрылых как почвообразователи.

Исследования взаимоотношений личинок двукрылых и микрофлоры велись нами дифференцированно: у мух и комаров. Личинки мух относились к семействам *Tabanidae*, *Rhagionidae*, *Sciophilidae*, личинки комаров — к семейству *Tipulidae*, p. *Prionocera*.

Как у личинок мух, так и у личинок комаров в кишечнике развивается значительно большее количество микрофлоры на МПА и КАА, чем в почве. При этом количество микроорганизмов, развивающихся в кишечнике мух, превышает таковое у комаров. Кроме того, отношение числа микроорганизмов на КАА к числу их на МПА выше у личинок мух, чем у личинок комаров (см. табл. 3).

В кишечнике личинок мух и личинок комаров количество спорых больше, чем в почве (см. табл. 4, 5). У личинок мух оно, в свою очередь, значительно больше, чем у личинок комаров. Так, если у личинок комаров наблюдается трехкратное, превышение спорых, то у мух оно равно 22. Наблюдается определенное сходство в обеих группах при сравнении процентного содержания бактерий и желтопигментных бактерий (см. табл. 8). Однако у комаров число желтопигментных бактерий больше, чем у мух. У личинок обоих подотрядов двукрылых происходит в кишечнике уменьшение содержания плесневых грибов (см. табл. 6). Количество микроорганизмов, разлагающих клетчатку, больше у мух, что согласуется с литературными данными [32] (см. табл. 7).

Особенности взаимоотношений личинок мух и комаров с окружающей микрофлорой хорошо увязываются с характером их питания. Типулиды — исключительно фитофаги, часто повреждающие к тому же корни растений (см. выше). Их экскременты охотно поедаются животными из группы гумусообразователей [16].

Первый факт заставляет логически предположить, что в кишечнике типулид будет развиваться микрофлора, осуществляющая начальное разложение свежих, нетронутых распад частиц растений. Наши исследования подтверждают эту мысль. Второе наблюдение также согласуется с естественным ходом разложения, осуществляемого типу-

лидами. В экскрементах типулид присутствует достаточное количество полуразложившихся растительных остатков, которые служат пищей другим животным.

Питание мух более сложно, в их кишечник попадает растительный и животный материал, уже затронутый разложением. Соответственно в их кишечнике будет развиваться микрофлора, производящая более глубокую минерализацию, что и показали наши исследования.

В следующем сообщении мы остановимся на взаимоотношениях микрофлоры с первичноразлагающимися беспозвоночными (многоножки и равноногие раки), а также обсудим полученные результаты в целом.

Институт леса и древесины
Сибирского отделения АН СССР,
Красноярск

Поступила в редакцию
20/XII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Tischler, Synökologie der Landtiere. Stuttgart, 1955.
2. В. Ф. Николюк, А. А. Жвачкина, Об избирательном питании простейших почвенными бактериями. Изв. АН УзССР, сер. биол., № 1, 1957.
3. C. L. Duddington, Interrelation between Soil Microflora and Soil Nematodes. Soil Zoology, London, 1955.
4. M. Peach, Soil Fungithat prey on Protozoa. Soil Zoology, 1955.
5. W. Kühnelt, Bodenbiologie. Wien, 1950.
6. М. М. Кононова, Н. Н. Бельчикова, Изучение гумификации растительных остатков микроскопическим методом. Почвоведение, № 9, 1944.
7. Falk, Mykologische Untersuchungen und Berichte, Bd. 2, Kassel, 1923.
8. М. С. Гиляров, Почвенная фауна и плодородие почв. Тр. Конф. по вопросам почв. микроб., М., 1953.
9. Е. А. Москачева, О микрофлоре панцирных клещей (*Oribatidae*). Зоол. журнал, т. 39, вып. 7, 1960.
10. Л. С. Козловская, Е. Н. Жданникова, Совместная деятельность дождевых червей и микрофлоры в лесных почвах. Докл. АН СССР, т. 139, № 2, 1961.
11. R. Heumon, Der Einfluß der Regenwürmer auf Beschaffenheit und Ertragsfähigkeit des Bodens. Zeitschr. f. Pfl. Düng., 2, 1923.
12. W. Shütz, E. Felber, Welche Organismen spielen im Regenwurmdarm bei der Bildung von Bodenkrümmeln eine Rolle? Ztschr. f. Ackerb. u. Pfl. Bd. 101, H. 4, 1956.
13. H. Franz, Bodenzoologie als Grundlage der Bodenpflege. Berlin, 1950.
14. W. Dunger, Über die Veränderung des Fallaubes im Darm von Bodentieren. Zeitschr. f. Pfl. Düng. Bodenk., Bd. 82, Hf. 2/3, 1958.
15. W. Dunger, Über die Zersetzung der Laubstreu durch die Boden-Makrofauna im Auenwald. Zool. Jahrb. Syst., Bd. 86, 1958.
16. F. Schaller, Biologische Beobachtungen an Humusbildenden Bodentieren insbesondere an Collembolen. Zool. Jahrb. Syst., Bd. 78, H. 56, 150.
17. A. Brauns, Terricole Dipterenlarven. Berlin, 1954.
18. E. Weil, Zur Biologie der enheimischen geophiliden. Ztschr. ang. Ent., 42, Hf. 2, 1958.
19. В. К. Эглитис, Фауна почв Латвийской ССР. Изд. АН Латв. ССР, 1954.
20. C. C. Overgaard-Nielsen, Survey of a Results obtained by a Recent Method for the Extraction of Soil-inhabiting Enchytraeid Worms. Soil Zoology, 1955.
21. J. Stephenson, The Oligochaeta. Oxford, 1930.
22. И. В. Ивлева, Рост и размножение горшечного червя (*Enchytraeus albidus*). Зоол. журн. № 3, 1953.
23. Н. С. Константинова, Влияние некоторых факторов на рост и размещение почвенных червей рода *Enchytraeus*. Тр. Саратов. отд. ВНИОРХ, № 4, 1956.
24. H. Ude, Oligochaeta. Die Tierwelt Deutschlands, Bd. 15, 1929.
25. E. Schmidegg, Die Enchytraeiden des Hochgebirges der Nordtiroler Kalkalpen. Naturwiss.—Med. Verein. Innsbruck, 1938.
26. P. Volz, Untersuchungen über die Mikroschichtung der Fauna von Waldböden. Zool. Jahrb. Syst., Bd. 66, 1934.
27. E. Handschin, Die Temperatur als Faktor lokaler Tierwandlung im Boden. Verh. Naturw. Gesel. Basel, 40, 1929.

28. Л. С. Козловская, Характеристика почвенной фауны и ее сезонной динамики в заболоченных типах леса Кадниковского лесничества. Тр. Ин-та леса СО АН СССР, т. 52, 1961.
29. H. Franz, L. Leitenberger, Biologisch—chemische Untersuchungen über Humusbildung durch Bodentiere. Osterr. Zool. Zeitschr., 1, 1948.
30. А. И. Зражевский, Дождевые черви как фактор плодородия лесных почв. М., 1957.
31. В. В. Изосимов, Люмбрикулиды (сем. *Lumbriculidae*) озера Байкал. Автореф. докт. дисс., Казань, 1949.
32. E. Seguy, Introduction a l'etude biologique et morphologique des insects dipteres. Rio de Janeiro, 1955.
33. М. М. Кононова, Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. Изд. АН СССР, М., 1950.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. В. МИНИЧ, А. К. БЯКОВ, А. Т. РОГОВ

РЕЗОНАНСНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЯ В МНГОВОЛНОВОМ ВОЛНОВОДЕ

С освоением диапазона миллиметровых волн все большее внимание привлекают волноводы, размеры которых позволяют распространяться нескольким типам волн [1]. При проектировании различных элементов таких трактов исключительное значение имеет исследование структуры поля.

В волноводе большого поперечного сечения поле можно представить в виде суммы распространяющихся волн.

$$\vec{H} = \sum_m \sum_n A_{mn} h_{mn}, \quad \vec{E} = \sum_m \sum_n B_{mn} e_{mn}. \quad (1)$$

Одной из количественных характеристик его является совокупность коэффициентов относительной интенсивности:

$$\eta_{mn} = \frac{N_{mn}}{N_{01}}, \quad (2)$$

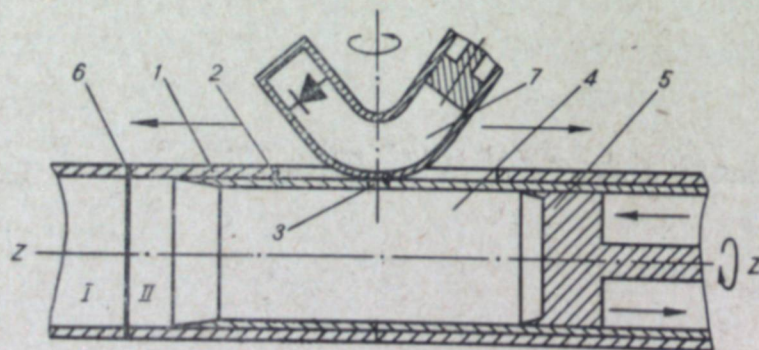
где N_{mn} — мощность «паразитной» волны с индексами m, n ,

N_{01} — мощность рабочей волны, за которую будем принимать H_{01} в круглом волноводе с радиусом R .

Исследование поля в многоволновом круглом волноводе с рабочей волной H_{01} рассматривалось в ряде работ [1—3]. Однако предлагаемые методы требуют сложных волноводных устройств (избирательные поглотители, фильтры, ответвители) или большой вычислительной работы (проходные индикаторы поля, различные зонды) и практически пригодны только в простейших случаях.

Для анализа поля (определения коэффициентов η_{mn}) может быть использован резонансный метод, основанный на отличии постоянного распространения волн.

На рисунке приведена схема резонансного индикатора: 1 — участок круглого волновода, вращающийся вокруг оси z ; 2 — отрезок волновода с круглым отверстием



связи 3, имеющий возможность перемещаться вдоль z ; 4 — резонансный объем, образованный поршнем 5 и полупрозрачным экраном 6; 7 — детекторная секция в виде прямоугольного волновода с отверстием связи 3 в узкой стенке.

Как отмечается в работе [2], при положении детекторной секции параллельно основному волноводу возбуждение ее производится только продольной составляющей магнитного поля H_z , т. е. только магнитными волнами. При повороте ее на 90° возбуждение происходит H_φ компонентной, которую имеют как колебания типа E_{mn} , так и H_{mn} , за исключением H_{01} .

Если считать, что в резонаторе отсутствует неоднородность, то отмеченное явление позволяет разделить индцировать вырожденные виды колебаний E_{11} и H_{01} . В противном случае этого можно достичь поршнем специальной формы.

Наиболее важным параметром прибора является избирательность, так как с увеличением $\frac{R}{\lambda}$ разница в длинах волн Λ_{mn} для различных типов колебаний уменьшается. Значения Λ_{mn} при $\frac{R}{\lambda} = 1,05$, когда могут распространяться 12 типов волн, приведены в таблице.

Тип волн	Расчетные данные						Экспериментальные данные				Примечание	
	Λ_{mn}	Z_{mn}	по H_φ		p	Q_{mnp}	по H_φ		по H_z			
			F_{mn}	F_{01}			Δl	Q_{01p}	Δl	Q_{01p}		
H_{01}	1,	1,	0,	1,	9	1,	0,005	1,				
H_{11}	0,85	0,85	1,94	0,56	11	0,66	0,007	0,53	0,006	0,62		$\lambda=8,15$ мм
H_{21}	0,92	0,92	3,20	2,05	10	0,45	0,008	0,51	0,008	0,51		$R=8,55$ мм
H_{31}	1,06	1,06	3,87	5,18	9	0,35	0,017	0,34	0,017	0,34		$\Lambda_{01}=10,01$ мм
H_{41}	1,38	1,38	3,71	1,24	6	0,28	0,027	0,31	0,03	0,28		$Z_{01}=4631$ ом
H_{51}	3,54	3,54	1,71	5,06	3	0,22	0,145	0,49	0,20	0,35		$Q_{01p}=47200$ расч.
H_{12}	1,38	1,38	0,10	2,78	7	0,71	0,01	1,00	0,012	0,83		$Q_{01p}=6950$
E_{01}	0,87	0,76	2,59	0	10	0,40	0,008	0,45				$F_{01}=0,415$
E_{02}	1,49	0,44	4,41	0	6	0,41	0,018	0,59				
E_{11}	1,00	0,66	5,92	0	9	0,41	0,011	0,45				
E_{21}	1,29	0,51	7,67	0	7	0,41	0,02	0,41				
E_{31}	3,26	0,20	19,28	0	3	0,42	0,222	0,26				

Выбирая длину резонатора l в несколько $\frac{\Lambda^2}{2}$ ($l = p \frac{\Lambda}{2}, p=1, 2, 3 \dots$) можно достичь оптимального разделения

$$\Delta l_1 = (l_{kt} - l_{mn}), \quad \Delta l_2 = (l_{ab} - l_{mn})$$

между исследуемым видом с индексами m, n и соседними — справа k, t и слева a, b . Однако надо иметь в виду, что с увеличением l уменьшается избирательность, характеризуемая величиной

$$\Delta l = \frac{2l}{Q_{mnp}} \left(\frac{l}{p\lambda} \right)^2, \quad (3)$$

где Δl — расстройка длины резонатора, при которой амплитудное значение напряженности поля уменьшается в $\sqrt{2}$ раза по сравнению с резонансным значением, Q_{mnp} — общая добротность на виде m, n, p .

Наибольшую величину Q_{mnp} возможно получить при использовании для связи резонансного объема с волноводом полупрозрачной проводящей пленки толщиной δ более скин-слоя.

Рассматривая проникновение электромагнитного поля в волноводе с $\epsilon=\mu=1$ через плоский слой с $\epsilon \neq 1$, легко показать, что искажением волнового состава поля можно пренебречь при условии

$$\frac{\delta \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2}}{\lambda \operatorname{Re} \sqrt{\epsilon - 1 + \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2}} \ll 1. \quad (4)$$

Последнее хорошо выполняется, если полупрозрачный слой выполнен из немагнитного материала с хорошей проводимостью σ , т. е. $\epsilon \approx 1, |\sqrt{\epsilon}| = \left| \sqrt{j \frac{2\sigma}{f}} \right| \gg 1$. В общем случае следует ожидать появления в суммарном поле типов колебаний с новой периодичностью по z .

Общее выражение для коэффициентов прозрачности через слоистые среды приведено в [4]. При $\sqrt{\epsilon} \gg 1$, $\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f}{\sigma}}$ оно принимает вид

$$C_{mn} \approx \frac{4}{\sqrt{\epsilon}} D_{mn} e^{-\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{\sigma}{f}} \delta (1-j)} \quad (5)$$

где $D_{mn} = \frac{\Lambda_{mn}}{\lambda}$ для волн типа E_{mn} , $D_{mn} = \frac{\lambda}{\Lambda_{mn}}$ для волн типа H_{mn} .

Поле $\sum_{m,n} |C_{mn}| A_{mn} \bar{h}_{mn}$, $\sum_{m,n} |C_{mn}| B_{mn} \bar{e}_{mn}$, проникшее через полупрозрачный экран, служит источником возбуждения резонатора.

В силу ортогональности поперечных функций волновода каждый тип колебания резонатора возбуждается только волной с теми же поперечными индексами m, n . Таким образом, анализ поля в волноводе сводится к последовательному изменению длины резонатора перемещением поршня с исследованием всех наблюдаемых резонансов. Типы колебаний при этом определяются по периодичности H_φ или H_z компонент по φ или измерением длины волны в контуре. Для облегчения этого анализа сигнал с вращающегося резонатора подается на осциллограф, на экране которого получается картина изменения H_φ или H_z .

Мощность той или иной волны характеризуется амплитудой U_{mnp} возбужденного вида. При настройке отверстия связи по φ и z в максимум магнитного поля показания квадратичного индикатора α_{mn} будут пропорциональны квадратам соответствующих составляющих

$$H_\varphi = U_{mnp} \bar{h}_{mn}(\varphi) \quad \text{или} \quad H_z = U_{mnp} \bar{h}_{mn}(z)$$

Величина U_{mnp} в момент резонанса [5]

$$U_{mnp} = \frac{4A_{mn} |C_{mn}|}{\eta} = \frac{2 |C_{mn}| \lambda^2 Q_{mnp}}{\pi \Lambda_{mn}^2 P_{mn}} \sqrt{\frac{N_{mn}}{z_{mn}}} \quad (6)$$

где N_{mn} — средняя мощность волны,
 z_{mn} — волновое сопротивление,
 Q_{mnp} — общая добротность.

Разрешая выражение (6) относительно N_{mn} и учитывая (5), для относительных коэффициентов получим соотношение

$$\eta_{mn} = \frac{N_{mn}}{N_{01}} = \frac{\alpha_{mn} z_{mn} P_{mn}^2 Q_{01}^2 h_{01}^2(z) \Lambda_{mn}^4 D_{01}^2}{\alpha_{01} z_{01} P_{01}^2 Q_{mnp}^2 h_{mn}^2 \Lambda_{01}^4 D_{mn}^2} \quad (7)$$

Здесь $h_{mn} = h_{mn}(\varphi)$ или $h_{mn} = h_{mn}(z)$ соответственно положению детекторной секции. Добротность резонатора полезно представить следующим образом:

$$\frac{1}{Q_{mnp}} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_p} + \frac{1}{Q_n}$$

где слагаемые соответственно учитывают потери в стенках резонатора, прозрачной пленке и индикаторной секции.

При $\delta > 2\pi \sqrt{\frac{f}{\sigma} \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_n}}$ есть величина, обратная собственной добротности резонатора в виде закороченного отрезка волновода, которая легко рассчитывается.

Q_n — обратно пропорциональна квадрату составляющей магнитного поля и прямо пропорциональна длине резонатора в единицах полуволны p , т. е. $Q_n \approx p/h^2_{mn}$.

В практике потерями на индикацию обычно можно пренебрегать, т. е. считать $Q_n = \infty$. Точность определения η_{mn} может быть улучшена за счет экспериментального измерения на различных видах колебаний добротности Q_{mnp} . Теоретические и некоторые практические параметры прибора приведены в таблице. При их вычислении предполагалось, что стенки резонатора $R=8,55$ мм выполнены электролитическим способом с поверхностным сопротивлением $r=0,068$ ом на частоте $f=36,81$ Гц. Добротности измерялись при толщине экрана в виде слоя серебра $\delta=0,465$ м, напыленного на слюду.

Связь измерительного резонатора с волноводом через полупрозрачную металлическую пленку позволяет получить наивысшую разрешающую способность при ничтожно

малых искажениях волнового состава поля. Полученная таким образом избирательность прибора позволила отдельно индцировать все типы волн в волноводе с $\frac{R}{\lambda} < 1,1$.

Практически полная развязка измерительного контура от исследуемого участка волновода дает возможность анализировать поля в резонансных элементах. При исследовании того или иного возбуждающего устройства между ним и индикатором поля должен быть включен объемный аттенюатор с $\epsilon \approx 1$, $\mu \approx 1$, в качестве которого может служить пенный полистирол с равномерно распределенной добавкой аквадага.

При практическом осуществлении прибора особое внимание необходимо обратить на качество полупрозрачной диафрагмы и ее соединение со стенками контура для предотвращения побочной связи резонатора с полем в волноводе.

Институт радиопизики и электроники
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
19/VIII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Волноводные линии передачи с малыми потерями. Сб. статей под ред. В. Б. Штейншлегера, ИЛ, 1960.
2. М. В. Персиков, Ю. Н. Казанцев, А. П. Козелев, Индикатор поля в волноводе круглого сечения. Электросвязь, № 5, 1960.
3. S. E. Miller. Bell syst. Techn. J., vol. 33(3), (May 1954).
4. Л. М. Бреховских, Волны в слоистых средах. Изд-во АН СССР, 1957.
5. Ю. Н. Казанцев, Расчет полей резонаторов методом суперпозиции электромагнитных волн. Радиотехника и электроника, т. 4, № 9, 1480, 1959.

А. Н. КИРГИНЦЕВ, А. С. ТУЛЬСКИЙ

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ЗОННОЙ ПЛАВКИ

Зонная плавка широко применяется для получения сверхчистых материалов и образцов с равномерным распределением примеси, главным образом полупроводников. Однако метод зонной плавки может быть применен для разделения различных веществ и элементов. Так, Сю, Поли и Нуай [1] достигли сравнительно хороших результатов при разделении стронция и кальция методом зонной плавки с использованием в качестве среды нитрата калия. Метод, примененный указанными авторами, подобен элюэнтной хроматографии: в начало слитка нитрата калия вводится смесь нитратов стронция и кальция; движение расплавленных зон вызывает перемещение этих элементов вдоль слитка с различной скоростью. Последнее обстоятельство и является главным фактором, обуславливающим разделение.

В отличие от хроматографии метод зонной плавки допускает точное решение задачи о распределении примеси вдоль слитка. Поэтому представлялось весьма целесообразным использовать математический аппарат теории зонной плавки для описания и предсказания процессов разделения, что и явилось целью данной работы.

Математическая теория зонной плавки разработана довольно детально [2—9]. Задача о распределении примеси по слитку, когда примесь вводится в первую зону, решалась в работах [9, 10].

Одним из нас [9] было получено уравнение распределения примеси вдоль слитка в зависимости от числа проходов расплавленной зоны в случае, когда примесь вводится в первую зону*:

$$\frac{x_n}{x_0} = \lambda x \left[\frac{a_{n-1}}{a_0} + \frac{a_{n-2}}{a_0} \eta + \frac{a_{n-3}}{a_0} \cdot \frac{1}{2!} \eta^2 + \frac{a_{n-4}}{a_0} \cdot \frac{1}{3!} \eta^3 + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{a_1}{a_0} \frac{1}{(n-2)!} \eta^{n-2} + \frac{1}{(n-1)!} \eta^{n-1} \right] \quad (1)$$

* Сравнение расчетных данных, полученных нашим методом, с экспериментом см. в работе [11].

где n — число проходов расплавленной зоны;
 λ — коэффициент разделения;
 a_0 — первоначальное количество примеси в первой зоне;
 a_n — количество примеси в первой зоне после n проходов;
 x_0 — первоначальная концентрация примеси;
 x_n — концентрация примеси после n проходов;
 l — длина слитка, пройденная зоной;
 b — ширина зоны;
 $\frac{l}{b}$ — длина слитка в числах пройденных зон;

$$a = e^{-\lambda \frac{l}{b}}; \quad (2)$$

$$\eta = \lambda \frac{l}{b} \cdot e^{-\lambda}. \quad (3)$$

Уравнение (1) позволяет рассчитать распределение примеси по длине слитка для любого числа проходов, для чего необходимо знать значения $\frac{a_n}{a_0}$. Величина $\frac{a_n}{a_0}$ может быть определена последовательным интегрированием с помощью уравнения:

$$\frac{a_n}{a_0} = \int_0^1 \frac{x_n}{x_0} d\left(\frac{l}{b}\right). \quad (4)$$

Значения $\frac{a_n}{a_0}$ нами вычислялись графическим интегрированием уравнения (4) для $\lambda=0,1; 0,5; 1,0; 1,5$ и $n=1 \dots 10$. Полученные значения $\frac{a_n}{a_0}$ приведены в таблице.

$n \backslash \lambda$	0,1	0,5	1,0	1,5
1	0,09517	0,3938	0,6284	0,7765
2	0,01337	0,2103	0,4937	0,7027
3	0,021801	0,1093	0,3844	0,6424
4	0,031914	0,0580	0,2945	0,5767
5	0,042096	0,0300	0,2295	0,5194
6	0,052343	0,0157	0,1777	0,4682
7	0,062615	0,0080	0,1377	0,4210
8	—	0,0040	0,1052	0,3791
9	—	0,0010	0,0815	0,3404
10	—	0,0020	0,0637	0,3054

Расчеты по точному уравнению (1) довольно громоздки, однако их можно упростить применением различных приближенных уравнений. Одно из таких уравнений, выведенное для $\lambda \ll 1$ и позволяющее избежать интегрирования, было получено в работе [9]:

$$\frac{x_n}{x_0} = \lambda \alpha \left(\frac{\lambda}{e^\lambda}\right)^{n-1} \cdot D_n, \quad (5)$$

где

$$D_n = 1 + \frac{l}{b} + \frac{1}{2!} \left(\frac{l}{b}\right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{l}{b}\right)^3 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{l}{b}\right)^{n-1}. \quad (6)$$

Можно получить другое приближенное уравнение, полагая, что для $\lambda \ll 1$.

$$\frac{a_n}{a_0} = \lambda^n, \quad (7)$$

т. е. заменяя площадь OAB I, равную значению интеграла (4), площадью OAB' I (см. рис. 1, а также работу [9]). Тогда из уравнения (1) находим

$$\begin{aligned} \frac{x_n}{x_0} &= \lambda \alpha \left[\frac{a_{n-1}}{a_0} + \frac{a_{n-2}}{a_0} \eta + \frac{a_{n-3}}{a_0} \cdot \frac{1}{2!} \eta^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \eta^{n-1} \right] = \\ &= \lambda \alpha \left[\lambda^{n-1} + \lambda^{n-2} \cdot \eta + \lambda^{n-3} \cdot \frac{1}{2!} \eta^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \eta^{n-1} \right] = \\ &= \lambda \alpha \cdot \lambda^{n-1} \left[1 + \frac{\eta}{\lambda} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\eta}{\lambda}\right)^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{\eta}{\lambda}\right)^{n-1} \right]. \end{aligned}$$

Вводя обозначение

$$1 + \frac{\eta}{\lambda} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\eta}{\lambda}\right)^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{\eta}{\lambda}\right)^{n-1} = B_n, \quad (8)$$

получим приближенное уравнение:

$$\frac{x_n}{x_0} = \lambda^n \alpha B_n. \quad (9)$$

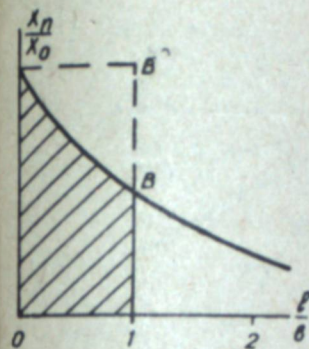


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая характер допущения при выводе уравнения (7).

Полученные с помощью уравнений (5) и (9) данные о распределении примеси в слитке сравниваются с данными, полученными из точного уравнения (1), на рисунках 2, 3 и 4.

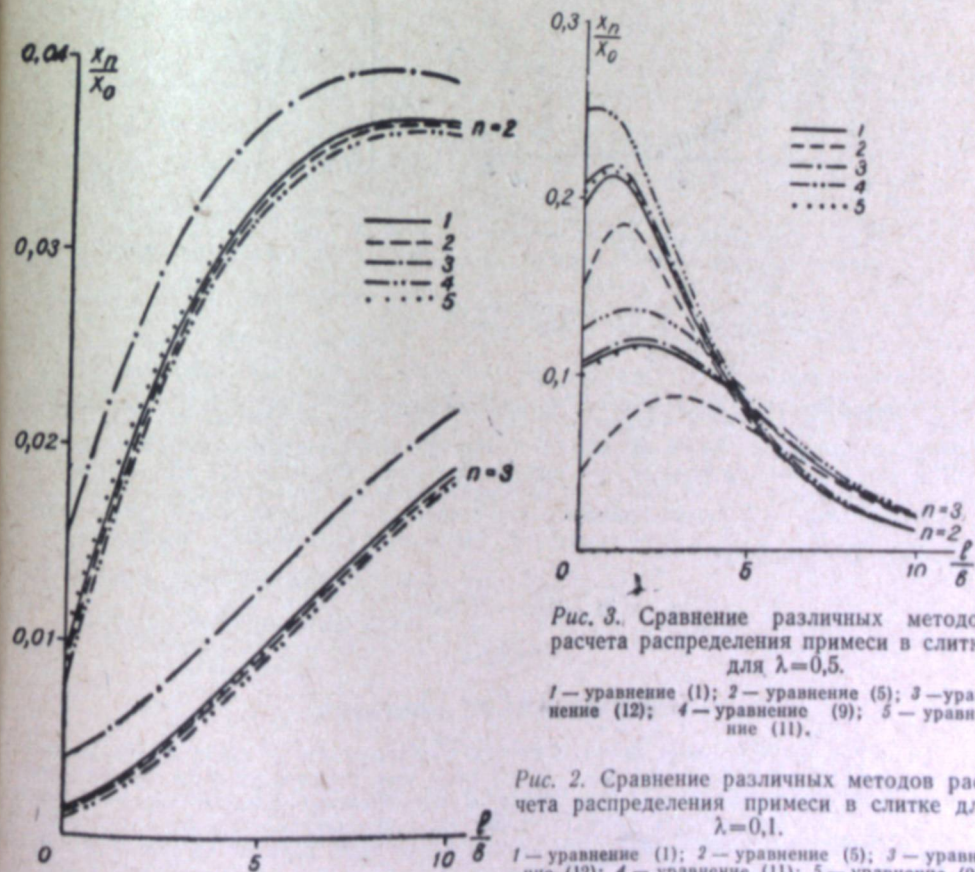


Рис. 3. Сравнение различных методов расчета распределения примеси в слитке для $\lambda=0,5$.

1 — уравнение (1); 2 — уравнение (5); 3 — уравнение (12); 4 — уравнение (9); 5 — уравнение (11).

Рис. 2. Сравнение различных методов расчета распределения примеси в слитке для $\lambda=0,1$.

1 — уравнение (1); 2 — уравнение (5); 3 — уравнение (12); 4 — уравнение (11); 5 — уравнение (9).

С целью упрощения расчетов, связанных с вычислением $\frac{a_n}{a_0}$, была сделана попытка эмпирически установить зависимость $\frac{a_n}{a_0}$ от λ и n . Графики $\lg \frac{a_n}{a_0} - n$ представляют собой прямые линии, наклон которых зависит от λ (рис. 5), причем для $\lambda=0,1$ и $\lambda=0,5$ наклон пропорционален $\lg \lambda$, т. е.

$$\lg \frac{a_n}{a_0} = n \cdot \lg \lambda + k \quad (10)$$

или

$$\frac{a_n}{a_0} = k \cdot \lambda^n \quad (k = 0,81). \quad (11)$$

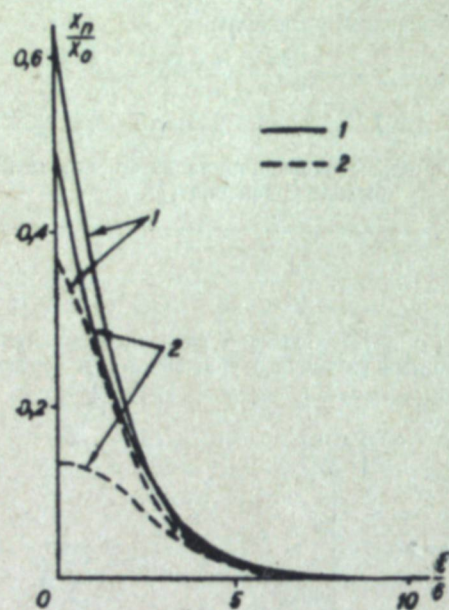


Рис. 4. Сравнение различных методов расчета распределения примеси в слитке для $\lambda=1,0$.
1 — уравнение (1); 2 — уравнение (5).
Стрелками показаны кривые: 1 — для $n=2$ и 2 — для $n=3$.

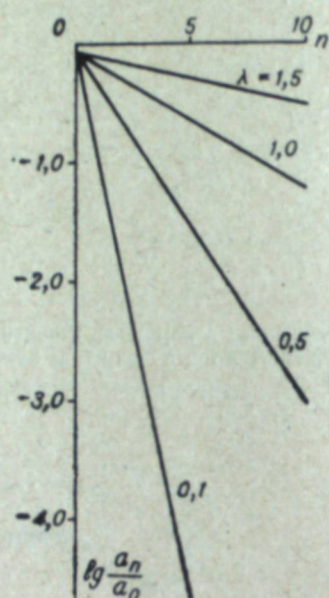


Рис. 5. Зависимость относительного количества примеси в первой зоне $\frac{a_n}{a_0}$ от λ и числа проходов зоны.

Выражение (11), полученное из точных значений $\frac{a_n}{a_0}$ для $\lambda < 0,5$, отличается от (7) наличием множителя $k \neq 1$, что, по-видимому, является поправкой на площадь АВВ, которой мы пренебрегли при выводе уравнения (9). Для $\lambda > 0,5$ зависимость наклона прямых от λ более сложная, и для расчетов $\frac{a_n}{a_0}$ в этом случае установлено эмпирическое уравнение:

$$\frac{a_n}{a_0} = 0,81 \cdot \exp[-1,66 \cdot n \cdot e^{-1,85\lambda}]. \quad (12)$$

$0,5 < \lambda < 1,5.$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Распределение примеси по длине слитка в зависимости от числа проходов зоны носит различный характер для $\lambda > 1$ и для $\lambda < 1$. Если в первом случае примесь стремится сконцентрироваться в начале слитка и незначительно распространяется вдоль слитка при увеличении числа проходов расплавленной зоны, то в случае $\lambda < 1$ примесь распределяется в слитке волной, которая перемещается в направлении движения зоны и тем значительнее, чем больше λ отличается от 1.

Исходя из этого, рассмотрим три случая, которые могут встретиться в практике зонного разделения:

$$1. \lambda_1 > 1; \lambda_2 > 1; \lambda_1 \neq \lambda_2;$$

λ_1 и λ_2 — коэффициенты разделения двух разделяемых веществ относительно одного и того же основного вещества.

В этом случае разделение примесей будет идти очень медленно, так как перемещается примесь с увеличением числа проходов незначительно и большая часть их остается в первых зонах.

$$2. \lambda_1 < 1; \lambda_2 < 1; \lambda$$

Разделение будет идти быстрее и полнее, чем в первом случае, поскольку примесь перемещается в направлении движения зоны тем быстрее, чем меньше λ .

$$3. \lambda_1 > 1; \lambda_2 < 1.$$

Это наиболее благоприятный случай для разделения, так как одно из веществ ($\lambda > 1$) будет стремиться остаться в первых зонах, а второе ($\lambda < 1$) будет стремиться уйти в направлении движения зоны, т. е. вещества будут концентрироваться в разных концах слитка. Очевидно, что в этом случае для полного разделения потребуется гораздо меньше проходов зоны, чем в двух предыдущих.

Распределение примеси в точке слитка в зависимости от числа проходов зоны имеет максимум для всех λ (см. рис. 2), однако волна снова более резко выражена для $\lambda < 1$.

Из рис. 2 видно, что для $\lambda < 1$ приближенные уравнения (5) и (9), а также значения $\frac{a_n}{a_0}$, вычисленные по уравнению (11), дают незначительные отклонения кривых от точной кривой. Это говорит о правильности допущений, сделанных при выводе этих уравнений.

Для λ , близких к 0,5, по-видимому, наиболее целесообразно применение уравнения (1) со значениями $\frac{a_n}{a_0}$, вычисленными по уравнениям (11) и (12). Приближенные уравнения (5) и (9) дают значительное расхождение данных о распределении примеси от точного распределения в первых зонах, но все эти уравнения справедливы для участков слитка, значительно удаленных от начала ($\frac{l}{b} > 10$).

В случае $\lambda \approx 1$ приближенное уравнение (5) дает очень заниженные результаты на начальном участке слитка и, как в предыдущем случае, совпадающие на значительном удалении от начала ($\frac{l}{b} > 10$). Применение уравнения (9) для $\lambda > 1$ исключается, поскольку не оправдывается допущение $\frac{a_n}{a_0} = \lambda^n$, сделанное при его выводе ($\frac{a_n}{a_0}$ всегда < 1). Подстановка значений $\frac{a_n}{a_0}$, вычисленных из уравнения (12), в уравнение (1) дает совпадающие результаты.

Выводы

1. С помощью расчетов по уравнению (1) выяснен характер распределения примеси вдоль слитка и изменение содержания примеси в точке слитка в зависимости от числа проходов расплавленной зоны при введении примеси в первую зону и применимость уравнения (1) для описания процессов разделения веществ с помощью зонной плавки.
2. Показано, что приближенные уравнения (5) и (9) могут применяться только для $\lambda < 1$.
3. Найдены эмпирические уравнения (11) (для $\lambda \sim 0,5$) и (12) (для $0,5 < \lambda < 1,5$), позволяющие избежать интегрирования при вычислении $\frac{a_n}{a_0}$.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
2/11 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Süe, J. Pauly, A. Nouaille. Bull. Soc. Chim., 5, 593, France, 1958.
2. W. G. Pfann. Zone melting. J. Wiley and sons, N. Y., London, 1958.
3. Рейсс, Методы получения чистых металлов. Сб. переводов, ИЛ, М., 1957, стр. 207—242.

4. J. Brown, S. Marshall. Brit. Journ. Appl. Phys., 8, 4, 157, 1957.
5. J. Brown, Brit. Journ. Appl. Phys., 8, 11, 457, 1957.
6. L. M. Davies, Philosophical Magazine, 3, 26, 159, 1958.
7. Б. И. Александров, Б. И. Веркин, И. М. Лифшиц, Г. И. Степанова. Физика металлов и металловедение. 2, 1, стр. 105, 1956.
8. А. Н. Киргинцев. ЖФХ, 33, 6, стр. 1422, 1959.
9. А. Н. Киргинцев. Математическая теория процессов зонной плавки. Изд. СО АН СССР, Новосибирск, 1960.
10. J. Krempaský. Mat.—fys. casop., 7, 7, 1957.
11. Е. Г. Аввакумов. Изв. СО АН СССР, № 9, (1961).

Г. Б. ЕЛЯКОВ, Л. И. СТРИГИНА

ПАНАКСОЗИД А — НЕЙТРАЛЬНЫЙ ГЛИКОЗИД ИЗ КОРНЯ ЖЕНЬШЕНЯ (*PANAX GINSENG* C. A. MEY)

Качественный химический состав корня женьшеня изучался ранее [1, 2], причем было показано, что в корне содержатся эфирные масла (незначительные количества), аминокислоты, гликозиды и большое количество свободных (резервных) сахаров. Однако в доступной нам химической литературе отсутствуют сведения об индивидуальных веществах, выделенных из этого уникального реликтового растения.

О химическом составе других растений семейства аралиевых известно также сравнительно немного. Японские исследователи выделили из *Rapax geryps* панаксапони, содержащий олеаноловую кислоту, глюкозу, арабинозу и глюкуроновую кислоту [3], однако индивидуальность этого сапонина не была строго доказана. Из корней аралии маньчжурской (*Aralia manschurica*) были получены три индивидуальных сапонина — аралиозиды А, В и С, имеющие один общий генин — олеаноловую кислоту — и отличающиеся только составом углеводной части [4].

В настоящей работе приводятся данные по изучению гликозидной фракции корня женьшеня. Гликозидная фракция была получена из корней супутинского культивируемого женьшеня экстракцией концентрирован-

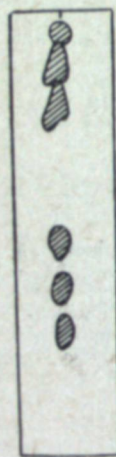


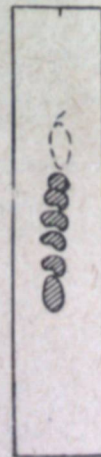
Рис. 1. Хроматограмма на бумаге гликозидного комплекса из женьшеня. Подвижная фаза: верхний слой смеси и-бутанол—толуол—вода (1:1:1). $R_{f1} = 0,75$; $R_{f2} = 0,13$; $R_{f3} = 0,22$; $R_{f4} = 0,52$; $R_{f5} = 0,63$; $R_{f6} = 0,75$

ного металлического извлечения смесью спирт-хлороформ (1:2). Предварительное хроматографическое исследование этой фракции на бумаге и в тонком слое окиси алюминия [5, 6] показало, что она содержит 6—7 индивидуальных веществ (рис. 1 и 2), окрашивающихся раствором треххлористой сурьмы в хлороформе, а также значительные количества свободных сахаров.

Дальнейшее разделение гликозидной фракции путем адсорбционной препаративной хроматографии на слабокислой окиси алюминия с применением дискретно-градиентного элюирования смесями метанола с хлороформом позволило полностью освободиться от резервных сахаров и выделить один из гликозидов, названный нами панаксозидом А, в индивидуальном состоянии. Панаксозид А — белое аморфное вещество с т. пл. 176—180°. Индивидуальность панаксозида А подтверждена хроматографически на бумаге в трех различных системах: и-бутанол—толуол—вода (1:1:1), и-бутанол—уксусная кислота—вода (4:1:5) и бутанол—этанол—концентрированный аммиак (9:2:5) (рис. 3).

Рис. 2. Хроматограмма в тонком слое окиси алюминия гликозидного комплекса из женьшеня.

Подвижная фаза: и-бутанол—этанол—вода (10:3 до насыщения). $R_{f1} = 0,38$; $R_{f2} = 0,42$; $R_{f3} = 0,48$; $R_{f4} = 0,53$; $R_{f5} = 0,59$; $R_{f6} = 1,64$.



Гидролиз панаксозида А в мягких условиях (слабая серная кислота, водно-метанольный раствор) привел к прогенину и глюкозе, определенной в гидролизате хроматографически на бумаге со свидетелем.

Прогенин — белое кристаллическое вещество с т. пл. 196—198°, по данным элементного анализа и молекулярного веса*, имеет брутто-формулу $C_{20}H_{32}O_8$, хроматографически однороден (рис. 4). Инфракрасный спектр прогенина (рис. 5) свидетельствует об отсутствии таких функциональных групп, как карбоксил, карбонил, простая и сложноэфирная связи. Отсутствие полос поглощения в области 1600—1700 cm^{-1} , характерной для бутенолидного цикла, не позволили отнести это вещество к классу агликонов сердечного типа. Сравнительно высокое содержание кислорода и полоса поглощения в области 3200—3400 cm^{-1} указывают на наличие нескольких гидроксильных групп. Последнее обстоятельство привело нас к выводу, что прогенин содержит еще один моносахарид, не отщепляющийся в мягких условиях гидролиза. Действительно, последующий гидролиз прогенина смесью

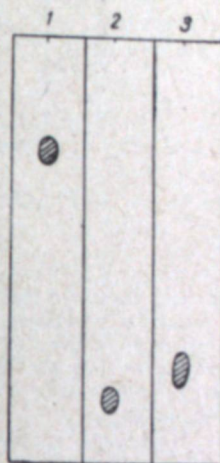


Рис. 3. Хроматограммы на бумаге панаксозида А из женьшеня.

1 — подвижная фаза: верхний слой смеси и-бутанол—толуол—вода (1:1:1). $R_f = 0,25$; 2 — подвижная фаза: и-бутанол—этанол—концентрированный аммиак (9:2:5). $R_f = 0,82$; 3 — подвижная фаза: верхний слой смеси и-бутанол—уксусная кислота—вода (4:1:5). $R_f = 0,74$.

Килиани дал весьма пеструю смесь продуктов расщепления генина и глюкозу, определенную также хроматографически.

Поскольку количественное содержание моносахаридов в панаксозиде А нами не определялось, из имеющихся данных можно сделать только предварительный вывод, что панаксозид А — это не менее чем биозид (диглюкозид) агликона неизвестного строения.

Экспериментальная часть

Бумажная хроматография. Использовалась бумага Ленинградской фабрики марки «Б». Хроматограммы нисходящие. После высушивания на воздухе хроматограммы

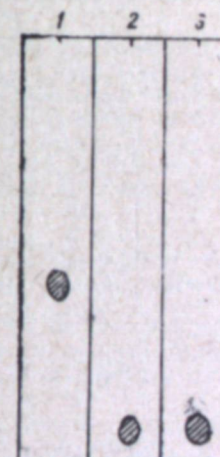


Рис. 4. Хроматограммы на бумаге прогенина панаксозида А.

1 — подвижная фаза: верхний слой смеси и-бутанол—толуол—вода (1:1:1). $R_f = 0,57$; 2 — подвижная фаза: и-бутанол—этанол—концентрированный аммиак (9:2:5). $R_f = 0,86$; 3 — подвижная фаза: верхний слой смеси и-бутанол—уксусная кислота—вода (4:1:5). $R_f = 0,9$.

опрыскивались насыщенным раствором треххлористой сурьмы в хлороформе и нагревались 5—10 мин при 90—100°. Гликозиды при этом проявлялись в виде малиновых пятен.

При работе с системой и-бутанол—толуол—вода (1:1:1) бумага импрегнировалась нижней фазой системы и предварительно выдерживалась в камере от 3 до 8 ч**.

Тонкослойная хроматография. На стеклянные пластинки наносился слой окиси алюминия или силикагеля толщиной 1,5—2 мм; нанесение проб производилось обычным образом, проявление — восходящим способом. Камерой служила кювета, накрытая стеклом. Слой может быть фиксирован добавкой 10% гипса.

Экстракция и выделение гликозидной фракции. 1 кг воздушных сухих пятилетних корней супутинского женьшеня был размолот в мелкий порошок, обезжирен экстракцией серным эфиром, а затем исчерпывающе (до отрицательной реакции с треххлористой сурьмой) экстрагирован метанолом (перколяция при комнатной температуре 10 л метанола). Перколят концентрировался в вакууме при 30° до состояния густого сиропа. Последний после разбавления небольшим количеством воды был перенесен в делительную воронку и проэкстрагирован сначала петролевым эфиром, затем хлороформом для удаления красящих и малополярных примесей.

* Молекулярный вес определен методом изотермической перегонки [7].

** R_f сильно зависит от температуры, влажности бумаги и времени предварительной выдержки в камере.

Комплекс гликозидов извлекался последующей экстракцией смесью спирт-хлороформ (1:2). После концентрирования и высушивания в вакууме выход суммарного гликозидного препарата составил 40 г.

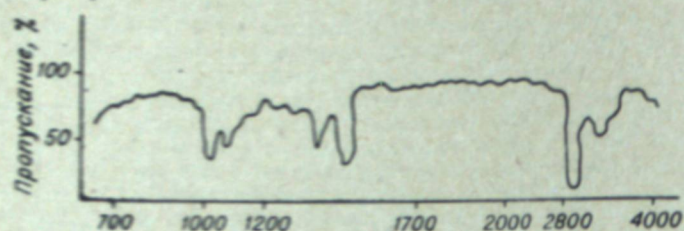


Рис. 5. Инфракрасный спектр прогенина панаксоида А. Призма NaCl, паста в вазелиновом масле.

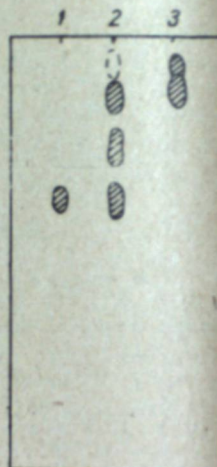
Выделение панаксоида А. 8 г гликозидной фракции хроматографировалось на 200 г свободной от щелочи окиси алюминия с $pH=5,5-6$ и активностью не ниже III группы по Брокману. Элюирование производилось смесями хлороформа с метанолом, причем концентрация метанола возрастала от 5 до 100%. Отбирались фракции по 500 мл, анализ которых производился хроматографически на бумаге в системе н-бутанол-толуол-вода (1:1:1). Сходные хроматографически фракции объединялись.

Данные по хроматографическому разделению гликозидной фракции приведены в таблице и на рис. 6.

Хроматографическое разделение суммы гликозидов женьшеня на окиси алюминия

№ объединенных фракций	Содержание метанола в смеси, %	Объем, л	Вес сухого остатка, г	Внешний вид	Число пятен на бумажной хроматограмме
1	5-15	3,2	0,067	смола	—
2	30	4,5	1,106	желто-белый аморфный порошок	1
3-8	3-70	13,2	2,162	.	3
9-13	70-90	13,8	2,343	.	2

Рис. 6. Хроматограмма на бумаге фракций, полученных при разделении гликозидного комплекса на окиси алюминия. 1 — фр. 2, R_f—0,33; 2 — фр. 3-8; 3 — фр. 9-13.



Фракция 2, содержащая панаксоид А, дополнительно очищалась пересаживанием этилацетатом из раствора в смеси ацетона с этанолом. После высушивания в вакууме при 0,1 мм и 100° — белое аморфное вещество. Т. пл. 176—180°, $[\alpha]_D^{22} = -1,2^\circ$ (с 3,27, метанол). Найдено, %: С 62,73; 62,59; Н 9,473; 9,569.

Гидролиз панаксоида А. 50 мг панаксоида А нагревалось со смесью 2 мл метанола и 2 мл 0,1 N серной кислоты в течение 30 мин. Затем метанол был отогнан в вакууме, к реакционной смеси добавлен 1 мл воды, и нагревание продолжалось еще в течение 30 мин при 65°. Выпавший нерастворимый в воде осадок прогенина был отделен и перекристаллизован из водного метанола: тонкие белые иглы с т. пл. 196—198°. Найдено, %: С 66,81; 67,03; Н 10,23; 10,41; М 530 (510; 549). С₃₀H₅₂O₈. Вычислено, %: С 66,63; Н 9,69; М 540,7.

Выводы

1. Из культивированного супутианского корня женьшеня впервые выделен индивидуальный гликозид нейтрального характера — панаксоид А.
2. Гидролизом панаксоида А получен прогенин, содержащий еще один моносахарид (глюкозу). Для прогенина установлена брутто-формула С₃₀H₅₂O₈.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР,
Владивосток

Поступила в редакцию
23/Х 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Т. Запотько. Материалы к изучению стимулирующих и тонизирующих средств — корня женьшеня и лимонника. Владивосток, 1951, стр. 51—57.
2. В. Ф. Черный, Д. А. Баландин. Сообщ. о работах членов Приморского отд. ВХО, вып. 3. Владивосток, 1957.
3. J. Murayama, T. Nagaki. J. Pharm. Soc. Japan, 1923, 53; Zbl., 1927, I, 1843.
4. Н. К. Кочетков, А. Я. Хорлин, В. Е. Васильковский, В. Е. Жвирблис. Журн. орган. хим., 31, 658 (1961).
5. J. Meinhard, N. Hall. Anal. Chem., 22, 344 (1950).
6. J. Kirchner, J. Miller, G. Killer. Anal. Chem., 23, 420 (1951).
7. Л. М. Шутер, Б. Ю. Гординский. Журн. неорган. хим., 13, вып. I, 150 (1958).

Е. Н. МЕШАЛКИН, Б. Б. ФУКС, Л. Е. СТЕФАНОВИЧ,
В. С. СЕРГИЕВСКИЙ, И. В. КОНСТАНТИНОВА,
Л. В. ДЕВОЙНО, И. А. МЕДВЕДЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЛАГЕНОВО-ЭЛАСТИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ИЗ ГЕТЕРОЛОГИЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СОСУДИСТОЙ ПЛАСТИКИ

В настоящее время для замещения дефектов сосудов широко применяются синтетические протезы, а также гомологичные сосуды, обработанные разными способами. Однако опыт значительного числа исследований показывает, что операции, произведенные с этим материалом, не дают основного практического результата — восстановления полноценной во всех отношениях сосудистой стенки, способной, например, нормально расти. Кроме того, согласно экспериментальным данным, пластмассы не являются абсолютно индифферентным материалом, и требуется значительное время, чтобы оценить, допустимо ли оставлять их надолго в тканях человека.

Делались попытки использовать для сосудистой пластики каркасы сосудов, состоящие из соединительнотканых волокон. Гетерологичные сосуды обрабатывались фицином [1] или пепсином [2]. В первом случае были получены каркасы коллагенового типа, а во втором — эластического. В результате протеолиза из сосудистой стенки удалялись клетки и ряд белков, что значительно понижало ее иммунологическую активность. Однако хирургическая проверка показала непригодность этих протезов для операций на сосудах вследствие образования высокого процента аневризм и тромбозов [2, 3].

Мы поставили перед собой задачу получить на основе гетерологического материала коллагеново-эластический каркас сосуда: 1) лишенный в значительной степени антигенных свойств; 2) обладающий достаточной прочностью и эластичностью, но в то же время постепенно рассасывающийся в процессе замещения его структурами новообразующейся стенки сосуда; 3) имеющий микроструктуру, которая обеспечивает оптимальные условия для роста, дифференцировки и метаплазии фибробластов в направлении формирования всех элементов стенки сосуда.

Исходным материалом служила свиная аорта. Сосуды фиксировались 3—12 дней 12%-ным нейтральным формалином, обрабатывались 0,2%-ным раствором трипсина в фосфатном буфере (pH 7,8) при 37° до окончания протеолиза и отмывались от фермента. В последних опытах использовались каркасы сосудов, перфорированные перед трансплантацией мандреном. Таким образом был получен доступный для фибробластов каркас с заданными химическими и физическими свойствами, который имел микроструктуру, близкую к микроструктуре волокнистого каркаса нормального сосуда.

В экспериментах на 12 собаках испытывался как трансплантат, полученный описанным выше способом, так и некоторые его предшественники, изготовленные при поисках оптимального решения вопроса. Семи собакам в качестве контроля были пересажены необработанные отрезки аорты свиньи.

Операции производили под морфинно-тиопенталовым внутривенным наркозом с применением аппарата искусственного дыхания. Грудная полость вскрывалась левосторонним боковым разрезом, после чего производилась мобилизация грудной аорты в передней ее трети. После мобилизации производилось вшивание трансплантата путем наложения ручных швов при помощи атрауматической иглы. Общее время перетяжки аорты колебалось от 14 до 27 мин. Ни в одном из опытов не наблюдалось паралича задних конечностей. Антикоагулянты не применялись.

В контрольной группе опытов 2 собаки погибли от тромбоза трансплантата на вторые и четвертые сутки после операции, 2 — от гнойного плеврита на 9 и 26-е сутки и 2 — от перфорации центра трансплантата. Одна собака погибла через полтора месяца после операции. На вскрытии обнаружена аневризма трансплантата. Таким образом, все собаки контрольной группы погибли, и в большинстве случаев смерть была связана с наличием трансплантата. Из 12 животных, взятых в основной опыт, лишь одна собака погибла от разрыва протеза. В этом опыте подготовка протеза включала обработку материала раствором уксусной кислоты; кроме того, препарат трипсина содержал эластазу. В последующих опытах, после устранения этих недостатков в обработке сосудов, мы ни в одном случае не имели разрывов трансплантата. Восемь собак прожили от 2 до 9 месяцев, из них 5 живут в настоящее время, три собаки забиты в разные сроки. Две погибли от гнойного плеврита.

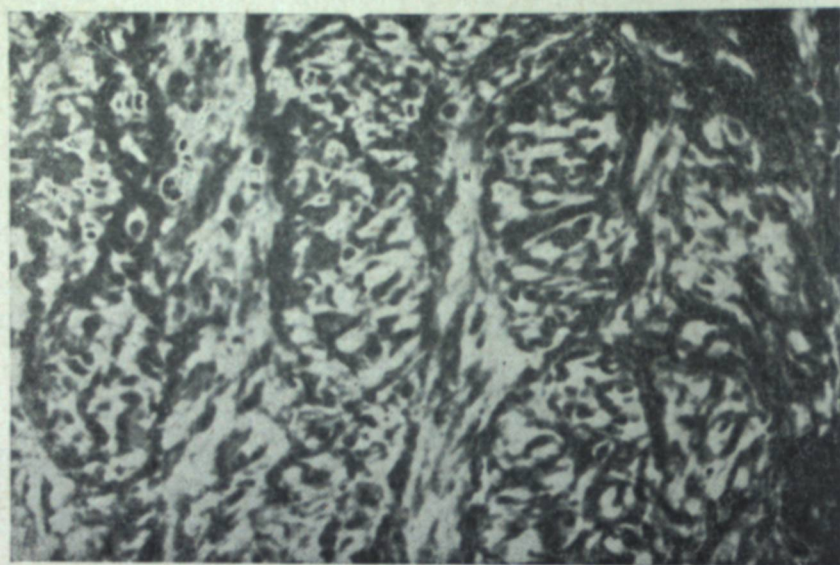


Рис. 1. Восстановление массивных пучков гладкомышечных клеток в трансплантате. Окраска по Ван-Гизону. Ок. 10, об. 20.

На вскрытии у животных ни разу не был обнаружен тромбоз трансплантата (за исключением плоских пристеночных тромбов в области швов). В 2 случаях было отмечено значительное отложение извести с умеренно выраженными изъязвлениями интимы. Протез сохранял свою прочность и эластичность и не давал прорезывания швов. Наклонности к выраженному тромбообразованию и аневризматическому расширению не обнаружено.

Параллельно были предприняты систематические иммунологические исследования сывороток собак с пересаженными аортами, а также изучение иммуногенных свойств трансплантируемого материала в 21 опыте на кроликах и морских свинках (с соответствующими контрольными исследованиями). Первые результаты проведенных иммунологических исследований показывают, что использованная нами обработка гетерологического сосуда, по-видимому, значительно снижает его антигенные свойства. Так, в ряде опытов пересадки обработанной сосудистой стенки свиньи кроликам в сыворотке последних титр антител (гемагглютининов) оказался очень низким по сравнению с контролем (в опыте — 1/10—1/40, а в контроле — 1/80—1/160). Определение комплемент-связывающих антител выявило сравнительно невысокие титры как в опыте, так и в контроле (1/32—1/64). Эксперименты, в которых использовалась перекрестная реакция анафилаксии с десенсибилизацией, дали первые ориентировочные положительные результаты, показывающие выпадение ряда антигенных компонентов в результате применяемой нами химической и ферментативной обработки материала.

Гистологический анализ был проведен в 4 опытах. В 3 из них для пересадки был использован неперфорированный материал. В этих опытах нам не удалось получить рост фибробластов в среднем слое стенки протеза и создать условия для прогрессивного развития и дифференцировки этих клеток. Наблюдаемая нами картина мало отличалась от картин, описанных ранее другими авторами при гомопластике фиксированного материала.

В одном случае морфологически исследовался результат пересадки сосуда, обработанного описанным выше способом, с перфорацией мандреном. В этом опыте удавалось получить быстрый и довольно равномерный рост клеток во всех слоях стенки сосуда. К 40-му дню на всем протяжении трансплантата появились массивы гладкомышечных клеток и во многих местах сформировалась средняя оболочка из гладкотканной оболочки, имеющая местами сходство с адвентицией, преимущественно соединительнотканная оболочка, которая местами имела сходство с интимой сосудов. Во внутренней и средней оболочках началось образование многочисленных тонких эластических мембран (рис. 2). На внутренней поверхности сосудов имелись плоские тромботические наложения, в значительной части организованные. Таким образом, на основе каркасного трансплантата происходит регенерация всех элементов стенки сосуда.

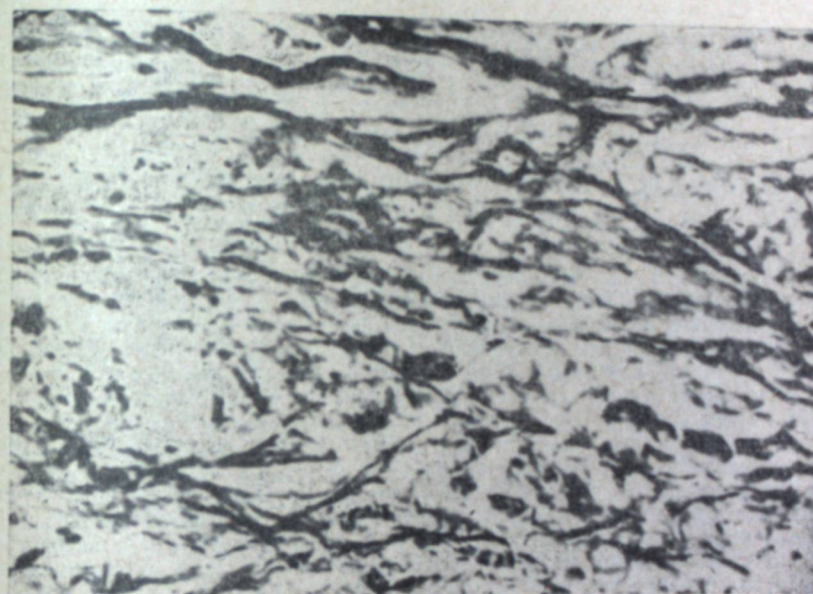


Рис. 2. Регенерация эластических волокон в трансплантате. Окраска резорцин-фуксином. Ок. 10, об. 20.

До сего времени мало изучены факторы, определяющие дифференцировку ткани на заключительных этапах регенерации. В частности, недостаточно оценена роль микроорганизации среды, в которой осуществляется рост и развитие регенерирующих клеток. В настоящем случае мы наблюдали процесс преобразования клеток, росших по каркасу, в направлении фибробластов, гладкомышечных клеток и клеток, обладающих способностью образовывать эластические волокна. Не исключено, что вторым фактором, определившим такое закономерное развитие регенерата, являлось давление движущейся крови.

В дальнейших исследованиях мы рассчитываем изучить закономерность возникновения этих структур и их дальнейшую судьбу.

Выполненные нами исследования позволяют сделать следующие предварительные выводы:

1. Свиные аорты, обработанные растворами формалина и трипсина, превращаются в коллагеново-эластический каркас с низкой иммунологической активностью, удобный для использования в хирургической практике.

2. Использование этого материала для гетеротрансплантации аорт собак позволило получить во всех опытах длительное функционирование трансплантата с сохранением его проходимости до 9 месяцев.

3. Доказана принципиальная возможность восстановления соединительнотканых структур, гладкомышечной оболочки и эластических мембран на базе коллагеново-эластического каркаса при условии создания структуры трансплантата, обеспечивающей питание, рост и развитие клеток.

Институт экспериментальной биологии и медицины
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

Поступила в редакцию
19/IV 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Rosenberg, J. Henderson, G. H. Ford, E. R. L. Gaughran, J. F. Douglas. Use of enzyme-digested heterografts as segmental arterial substitutes. Follow up observations on two year old aortic implants. A. M. A. Arch. surg., 76, 275, 1958.
2. W. T. Newton, A. H. Ray, H. R. J. Butcher. Failure of equine heterografts treated by controlled peptic proteolysis. A. M. A. Arch. Surg., 77, 5, 797, 1958.
3. G. de Takats, I. D. Thompson, Wm. C. Dolowy. Bovine arterial grafts: an experimental study. Ann. of surg., 150, 6, 1017, 1959.

Ю. М. БУТОВ

О МЕТОДАХ КИНО-ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

Как известно, спектральный диапазон человеческого зрения ограничен лишь небольшой зоной видимых лучей электромагнитного спектра в пределах длин волн 393—759 μ . Методы научной фотографии и кинематографии дают возможность значительно расширить оптико-физиологические границы человеческого зрения. Кино-фотографические методы позволяют обнаружить и запечатлеть на снимках невидимые для человеческого глаза явления и процессы благодаря применению специальных методов съемки в невидимых лучах спектра — инфракрасных, ультрафиолетовых, рентгеновских и радиоактивных. Эти методы дают возможность выявить и наглядно фиксировать у ряда медицинских и биологических объектов явления люминесценции, т. е. свойство «холодного свечения», возникающего благодаря воздействию определенных источников лучистой энергии на исследуемые объекты. Люминесцентное свечение объектов может быть и невидимым для человеческого зрения, когда оно возбуждается инфракрасными, рентгеновскими и наиболее короткими ультрафиолетовыми лучами. Невидимая люминесценция фиксируется только кино-фотографическим путем или с помощью электронно-оптических преобразователей. Такая люминесценция бесцветна и представляет собой черно-белое изображение.

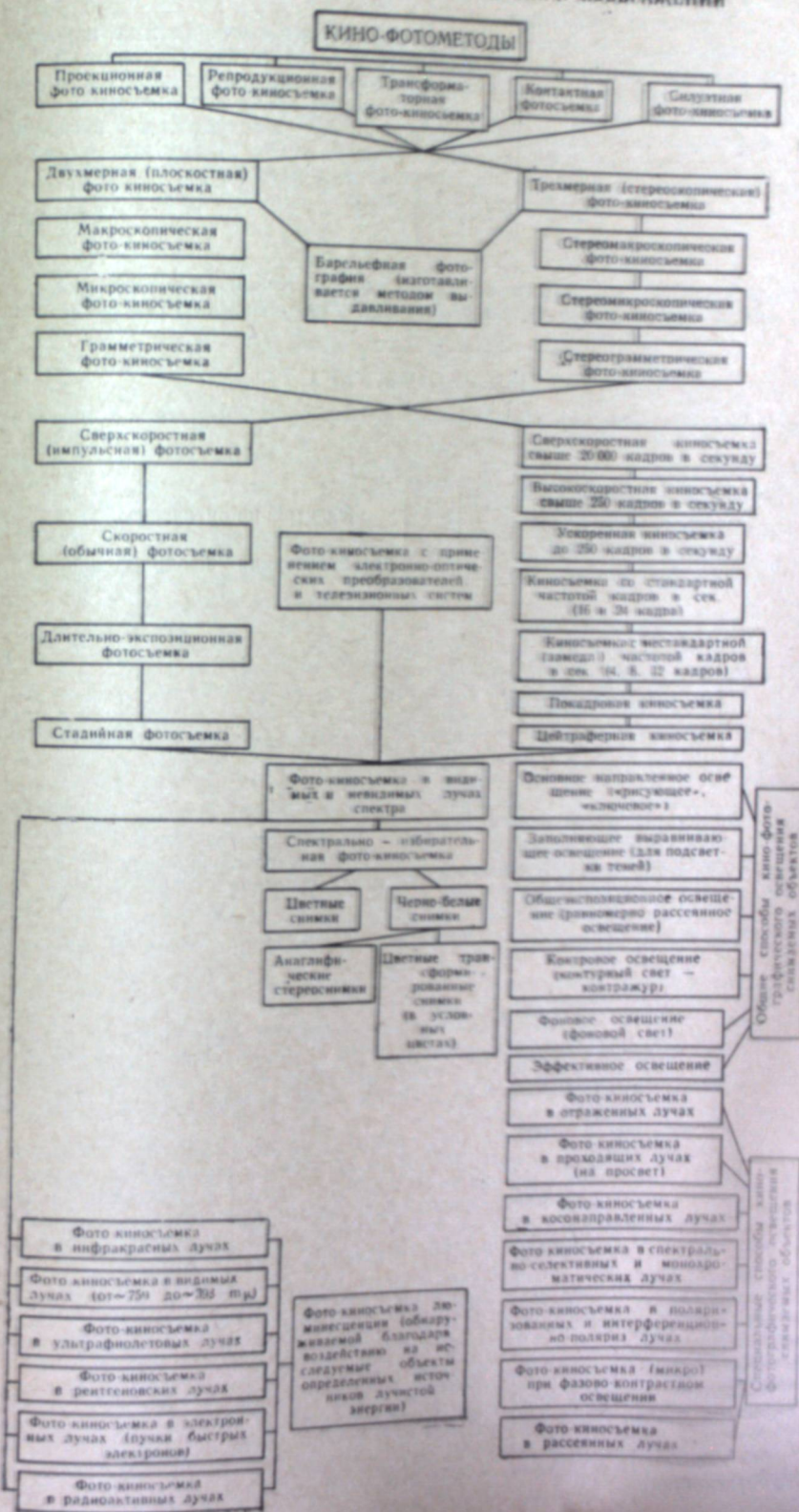
Однако чаще в научных биологических и медицинских исследованиях встречаются с люминесценцией, у которой спектральный диапазон находится в пределах спектральной чувствительности человеческого зрения. Подобная люминесценция несет в себе цветовую информацию, т. е. можно видеть ее цветное изображение (лучше в затемненном помещении). Обычно цветная люминесценция объектов наблюдается в период их облучения фильтрованными ультрафиолетовыми лучами с длинами волн порядка 254, 313 и 365 μ , а также фиолетовыми и синими лучами видимой части спектра. Как правило, любая описательная характеристика цветной люминесценции очень относительна ввиду того, что понятие «цвет» люминесценции спектрально не соответствует общепринятым методам регистрации цвета, оттенка, интенсивности и характера распространения цветной люминесценции является ее фотографирование на цветную фотопленку, сенсibiliшканы к дневному свету (при цветовой температуре 5000—5500° абсолютной шкалы).

Современный уровень техники позволяет использовать в научных исследованиях самые различные излучения определенного спектрального состава, интенсивности, дозы с учетом угла направленности лучей. Соответствующие светочувствительные материалы (кинофотопленки, фотоластинки, фотобумага) способны аккумулировать в себе раз- своих эмульсионных слоях мало контрастные и невидимые детали медико-биологиче-

Отличительная особенность кино-фотографических методов исследования состоит в том, что результатом исследования является соответствующая кино-фотодокументация, которая наряду с общим фотографическим изображением включает (при определенных условиях) спектральные, количественные, качественные и пространственно-гра- фические измерительные показатели изучаемого объекта.

Измерительные кино-фотометоды позволяют фиксировать размеры двух- и трех- мерных исследуемых объектов с точностью до тысячных долей миллиметра и объективно документировать многие их физические характеристики. Научные кино-фотосъемки

КЛАССИФИКАЦИЯ КИНО-ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА ФОТОХИМИЧЕСКОМ ПРИНЦИПЕ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ



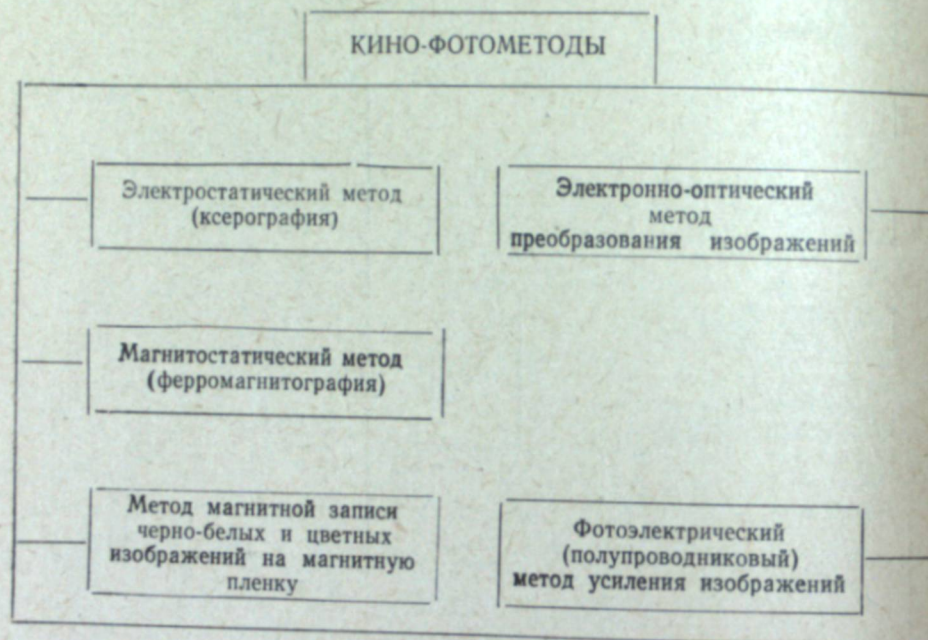
можно производить с различной продолжительностью и интервалами времени, используя широкий диапазон скоростей съемки: от одного кадра через каждые 2—3 ч и до нескольких миллиардов кинокадров в секунду. Такие кино-фотосъемки (как черно-белые, так и цветные) можно осуществлять с разных расстояний и при различных масштабах и кратностях увеличения.

Чтобы представить все многообразие кино-фотографических методов научного исследования, нами составлена классификация этих методов (табл. 1).

Как известно, получение кино-фотографических изображений изучаемых объектов основано на фотохимических принципах, но в последнее время стало возможным получать кино-фотоизображения на основе новых принципов — электрофизических. Нами для наглядности разработана их примерная классификация (табл. 2). Все эти методы основываются на современных оптических способах кино-фотосъемки.

Таблица 2

Классификация кино-фотографических методов научного исследования, основанных на электрофизическом принципе получения изображений



Большую научную ценность представляют кино-фотосъемки одного и того же объекта в различных лучах спектра — инфракрасных, видимых, ультрафиолетовых, рентгеновских, а также съемки его люминесценции. Сопоставляя и группируя выявленные таким образом особенности и детали на снимках, можно получать чрезвычайно интересные данные об изучаемом объекте.

Кино-фотографические методы исследования весьма разнообразны, поэтому в настоящем сообщении невозможно остановиться на конкретных примерах и технике применения того или иного метода при исследовании медико-биологических объектов. Здесь излагается лишь вопрос классификации современных кино-фотографических методов, широкое использование которых может значительно расширить возможности научных исследований в области биологии и медицины.

Институт экспериментальной биологии и медицины
Сибирского отделения АН СССР,
Новосибирск

ХРОНИКА

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА
(Краткая районная сводка)

В течение 1962 г. в крае продолжает свое четвертое пятилетие, особенно успешно протекает собственное машиностроение.

Впервые за время 1962 г. проведена районная сводка по каждому из административных районов Дальнего Востока. На машиностроительном заводе в административном районе Дальнего Востока, в частности в Приморском крае, в настоящее время производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края. В настоящее время в крае производится продукция, которая в значительной степени удовлетворяет потребности населения края.

Задачи, поставленные XXII съездом КПСС в области развития экономики восточных районов страны, достигнутый уровень производства и его специализация, необходимость наиболее полно использовать трудовые и материальные ресурсы, всесторонне удовлетворять материально-бытовые и культурные потребности трудящихся явились основными факторами, определившими разработку генеральной перспективы развития народного хозяйства края на предстоящее двадцатилетие.

Основное значение по-прежнему будет иметь машиностроение, валовая продукция которого возрастет примерно в 8—10 раз. Совещание признало необходимым создание предприятий электротехнического машиностроения, что позволит улучшить и кооперирование с западными районами страны по моторам, трансформаторам, электрическим машинам и приборам. Решено в течение 10 лет завершить техническое перевооружение машиностроительной промышленности, провести четкую специализацию машиностроительных предприятий, широко внедрить поточность в производстве, увеличить мощности литейных цехов. Особо важной задачей в развитии машиностроения является создание предприятий по выпуску машин, приспособленных к условиям работы на Дальнем Востоке, в частности для горнорудной, лесной, деревообрабатывающей промышленности, а также сельскохозяйственных машин, пригодных для работы в условиях переувлажнения. Внесено также предложение создать на Дальнем Востоке крупную металлургическую базу путем постройки в Хабаровском крае комбината с полным металлургическим циклом и реконструкции завода «Амурсталь» на базе использования кимканских и гаринских железных руд и бурейских коксующихся углей. Намечается также широкое развитие химической промышленности на базе переработки древесины, отходов лесной промышленности, сахалинской нефти; строительство новых предприятий по производству минеральных удобрений, резино-технических изделий, лаков, красок из местного сырья. После реконструкции Комсомольского и Хабаровского нефтеперерабатывающих заводов в крае будут во все больших масштабах выпускаться смазочные масла, малосернистый кокс и другие ценные продукты нефтехимии. На базе использования гидролизного спирта местного производства возможно строительство завода синтетического каучука. Важное значение для развития народного хозяйства края имеет проблема энергетического обеспечения расширяющегося народного хозяйства. В связи с ростом потребности в электроэнергии на совещании были подробно рассмотрены возможности использования богатых гидроэнергетических ресурсов Дальнего Востока. В частности, в решении совещания было указано на необходимость сооружения Зейской и Желудинской ГЭС в Амурской области и Хинганской ГЭС в Хабаровском крае. Строительство гидрокомплексов приведет и к упорядочению водного режима Амура, что даст возможность дополнительно использовать почти миллион гектаров плодородных пойменных земель. Внесено также предложение о соединении в единую энергетическую систему электростанций Хабаровского края, Амурской области и Приморского края.

На совещании были рассмотрены задачи развития транспортной сети края. Признано целесообразным строительство ряда новых шоссе с твердым покрытием, речных портов и пристаней, аэропортов. Основной задачей увеличения пропускной способности Дальневосточной железной дороги будет ее перевод на электровозную тягу и замена паровозов тепловозами на линиях Волочаевка — Советская Гавань, Известковая — Ургал и Биробиджан — Ленинское. Значительное развитие получит легкая и пищевая промышленность. Серьезное внимание участники совещания уделили вопросу увеличения сырьевой базы частиковых и лососевых рыб в бассейне Амура, охране и воспроизводству рыбных запасов в водоемах края.

Для подъема сельского хозяйства в крае намечается довести посевные площади до 800 тыс. — 1 млн. га. Резко возрастет производство бобовых и кукурузы, а также технических культур (в первую очередь сои). поголовье крупного рогатого скота намечается довести до 700 тыс. голов, свиней — до 400 тыс. голов.

Естественно, что намеченные высокие темпы развития народного хозяйства края могут быть успешно решены только при условии наиболее полного удовлетворения культурно-бытовых потребностей трудящихся. Для обеспечения намеченных высоких темпов жилищного строительства предусмотрено создание мощной базы строительной индустрии в Хабаровске, Комсомольске, Биробиджане, Советской Гавани и др. городах с учетом общего увеличения мощности предприятий крупнопанельного домостроения примерно в 17 раз — с 70 до 1200 тыс. кв. м жилья в год.

Всего на пленарных заседаниях и в секциях было заслушано 80 докладов, в их обсуждении приняло участие более 200 человек. Закрывая заседание регионального совещания, второй секретарь Хабаровского крайкома КПСС В. П. Ломакин от имени всех присутствующих выразил глубокую благодарность работникам науки, активно участвовавшим в подготовке и проведении совещания.

Приморский край «по своим природным условиям и естественным ресурсам является подлинной жемчужиной Советского Союза», — сказал во вступительном слове на региональном совещании его научный руководитель чл.-корр. АН СССР Т. Ф. Горбачев. Край богат разнообразными полезными ископаемыми: здесь открыты десятки месторождений богатых полиметаллических руд, каменных и бурых углей, велики гидроэнергетические ресурсы, огромны богатства лесов и морей. Сегодняшнее

Приморье — это край развитой промышленности и сельского хозяйства. Здесь производится значительная часть валовой продукции промышленности, находится около трети всех посевных площадей, свыше 80% морского грузооборота всего Дальнего Востока. В народном хозяйстве доля промышленности составляет свыше 80%. Хозяйство При-территориальный комплекс далеко не завершен. Большое развитие получили такие отрасли промышленности, как машиностроительная, металлообрабатывающая, угольная, рыбная, лесная и деревообрабатывающая, промышленность строительных материалов, цветная металлургия. Развитие промышленности края идет с некоторым опережением контрольных цифр семилетнего плана. За последние четыре года вступили в строй 142 новых завода, шахты, фабрики, цехи. В предстоящее двадцатилетие валовая продукция промышленных предприятий увеличится здесь в 7—7,5 раза.

«Значительное развитие получают различные отрасли горнодобывающей промышленности», — сообщил секретарь Приморского крайкома КПСС Г. Н. Балакин. Добыча угля возрастет в 3,8 раза, причем этот рост полностью обеспечивается запасами углей на разведанных месторождениях, на пяти из них возможна добыча угля открытым способом. Резко возрастет добыча олова, рафинированного свинца и выработка цинковых концентратов.

Несмотря на то, что на долю края в настоящее время приходится свыше четверти всей валовой продукции машиностроения Дальнего Востока, собственно машиностроительные заводы здесь крайне недостаточно и не обеспечивают нужд края. На машиностроительных заводах ведутся главным образом ремонтные работы. Подавляющая часть необходимых машин и оборудования завозится сюда из других районов страны. Сама жизнь диктует создание в крае собственного машиностроения, способного удовлетворить нужды быстро развивающегося экономического района. Региональное совещание признало необходимым развить такие отрасли машиностроения, как производство горношахтного, деревообрабатывающего оборудования и машин, механизмов для лесной промышленности, ремонт судов, наладить производство строительного дорожных машин — бульдозеров, катков, подъемно-транспортного оборудования, развить предприятия по ремонту автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин и т. д. Необходимо также построить предприятия по производству чугуна, цветного, стального, каменного литья, заводы по изготовлению штампов, слесарно-монтажного инструмента, электродов, метизов.

В Приморском крае, очень богатом сырьем, в настоящее время почти нет химической промышленности. Поэтому важной проблемой будущего развития края является изыскание путей развития большой и малой химии на базе использования местного минерального, а также животного и растительного сырья.

В предстоящем двадцатилетии производство строительных материалов в крае возрастет примерно в 6 раз, в том числе цемента — в 4 раза, шифера — в 1,5 раза, асбоцементных труб и сборных железобетонных конструкций — почти в 11 раз. Объем лесозаготовок увеличится здесь почти в 2,5 раза.

Приморье является центром рыбной промышленности Дальнего Востока. В течение прошедшего десятилетия характер промысла резко изменился за счет сокращения добычи прибрежными орудиями лова в 2,8 раза и увеличения уловов средствами активного промысла в 4,2 раза. Активный промысел в последние годы был сосредоточен главным образом в водах Камчатки и Курильских островов, а затем в юго-восточной части Берингова моря. В настоящее время осваиваются другие районы рыболовства — восточная часть Индийского океана, открытые районы Тихого океана, Восточно-Китайское море и др. Освоение новых районов является основным направлением развития рыбной промышленности Приморья в предстоящем двадцатилетии. Развитие рыбной промышленности сдерживается из-за отставания береговых баз, перерабатывающего, рефрижераторного, приемного и танкерного флотов. Намечена серия мероприятий по пропорциональному развитию этих отраслей рыбного промысла.

Замечательны перспективы развития сельского хозяйства края. Природные и климатические условия позволяют выращивать здесь почти все известные в стране культуры. Задача состоит в том, чтобы сельское хозяйство края удовлетворяло не только свои внутренние потребности, но давало бы некоторые продукты (овощи, картофель, рис) и для населения северо-восточных районов страны. Главным резервом увеличения производства сельскохозяйственных продуктов и резкого снижения их себестоимости является наиболее полное и рациональное использование земельных угодий путем внедрения интенсивной пропашной системы земледелия и наиболее рациональной структуры посевных площадей. В 1965 г. намечается довести удельный вес пропашных культур до 62,9%, а посевные площади — до 778 тыс. га, или на 18% больше, чем в 1961 г. Чтобы увеличить сельскохозяйственное производство, необходимо освоение новых земель и ликвидация переувлажненных сельскохозяйственных угодий. К 1980 г. можно освоить дополнительно до 900 тыс. га плодородных земель, которые ныне заболочены, переувлажнены или покрыты кустарником.

Значительное развитие получит железнодорожный и морской транспорт края. Электрфикация железнодорожной сети Приморья начинается в текущем году, будут

строиться новые железнодорожные ветки, проектируется реконструкция и специализация крупных морских портов — Владивостока и Находки.

Производство электроэнергии в Приморье в течение двадцатилетия будет увеличено в 14 раз. Для этого необходимо построить новые крупные тепловые электростанции и гидроэлектростанции, а мощность ныне действующих электростанций увеличить в 3—4 раза. В первую очередь необходимо увеличить мощность Артемовской ГРЭС, построить Приморскую ГРЭС, ввести в строй первую очередь теплоэлектроцентрали во Владивостоке.

Широко будет вестись строительство жилищ, детских учреждений, школ-интернатов, предприятий общественного питания, коммунальных объектов и т. д. За 20 лет в крае будет построено не менее 23 млн. кв. м жилой площади, что позволит предоставить каждой семье отдельную квартиру, несмотря на то, что население края за это время удвоится.

Амурская область также является одним из важнейших экономических районов Дальнего Востока. Здесь развиваются цветная металлургия, угольная и лесная промышленность, зерновое хозяйство и животноводство. «Сравнительно мягкий климат, обширные земельные массивы, могучие реки и, наконец, неисчерпаемые подземные кладовые полезных ископаемых дают возможность всесторонне развивать народное хозяйство», — указал научный руководитель Амурского регионального совещания чл.-корр. АН СССР А. В. Николаев. В последние годы в Амурской области стали развиваться машиностроение (буровое, кузнечно-прессовое, подъемнотранспортное и энергетическое оборудование и машины). Теперь в области производится 49% каменного угля, 17% заготавливаемой древесины, половина зерна, получаемых на Дальнем Востоке. По производству сои Амурская область занимает первое место в стране.

Секретарь обкома КПСС П. П. Лавунов в своем докладе на совещании отметил, что промышленность области пока еще далеко не использует всех возможностей для своего развития, в частности здесь пока еще слабо развиты перерабатывающие отрасли промышленности. В предстоящем двадцатилетии в области предполагается построить 140 крупных промышленных предприятий и повысить производительность труда в 5—6 раз, а выпуск промышленной продукции — в 11—12 раз.

Первоочередной задачей промышленного развития народного хозяйства области является создание энергетической базы. На Амурскую область приходится 85% установленных гидроэнергетических мощностей Дальнего Востока (из 28,5 млн. квт). Началом освоения всех этих гидроэнергетических ресурсов является сооружение Зейского гидроузла, что позволит решить многие народнохозяйственные проблемы области. Прежде всего будут ликвидированы, наконец, опустошительные наводнения, которые приносят народному хозяйству Дальнего Востока огромный ущерб. Себестоимость электроэнергии Зейской ГЭС составит всего 0,04—0,08 коп. за 1 квт · ч. Дешевая энергия открывает возможности для создания металлургической промышленности на базе Гарьского месторождения железных руд, причем выплавку чугуна здесь можно будет вести электрометаллургическим способом с использованием дешевых райчихинских углей в качестве восстановителя. Дешевая электроэнергия создаст также базу для размещения энергоемких химических производств, в частности, для производства минеральных удобрений, искусственного волокна, для развития горнорудной, лесной и пищевой промышленности.

Значительное развитие здесь должна получить химическая промышленность. Занимая первое место в стране по производству сои, Амурская область в настоящее время не имеет ни одного крупного предприятия по ее переработке. В области нет ни одного крупного предприятия по химической переработке древесины. Здесь целесообразно создать нефтеперерабатывающие заводы, нефтехимию, тем более, что в области имеются все предпосылки для открытия промышленных запасов нефти и газа.

Сельское хозяйство области также будет расти быстрыми темпами. В течение двадцатилетия завершится освоение Зее-Буреинской равнины, а посевные площади в области к 1980 г. должны вырасти примерно до 2,5 млн. га. Через двадцать лет Амурская область будет производить 40% всей сельскохозяйственной продукции Дальнего Востока, в том числе половину хлеба, две трети сои, пятую часть картофеля и овощей, почти половину мясопродуктов и около трети молочных продуктов. Мощный подъем сельского хозяйства, в свою очередь, создаст базу для дальнейшего развития легкой и пищевой промышленности.

Сахалин образно называют островом сокровищ, освоение его разнообразных полезных ископаемых, лесных и рыбных богатств явится значительным вкладом в деле создания материально-технической базы коммунизма. В докладе первого секретаря Совещания народного хозяйства области были освещены основные вопросы развития экономических районов этого богатейшего экономического района в предстоящем двадцатилетии. На пленарных заседаниях и заседаниях секций было заслушано и обсуждено 62 доклада.

В области уже получили значительное развитие рыбная, угольная, нефтяная, лесная и целлюлозно-бумажная промышленность, легкая и пищевая промышленность, промышленность стройматериалов и строительство. Широко развиваются транспорт

и связь. Но современный уровень развития народного хозяйства не соответствует богатейшим возможностям Сахалина и Курилов.

Основной отраслью промышленности здесь является рыбная. В настоящее время сахалинские рыболовецкие суда уже вышли на просторы Берингова, Охотского, Японского морей и Тихого океана. Сахалин является основным поставщиком рыбы для многих в ближайшем будущем возрастет в полтора раза в расчете на душу населения, необходимо увеличить ее добычу в Сахалинском бассейне в несколько раз. Для этого нужно развить все в более широких масштабах активный промысел, осваивать новые районы, переместить непосредственно в море обработку рыбы и выпуск из нее рыбопродукции, автоматизировать и механизировать все процессы добычи и переработки, значительно увеличить мощности рыболовецких заводов и т. д. Увеличение рыболовецкого флота требует дальнейшего развития судоремонтной базы.

Сахалинский бассейн является одним из крупнейших в стране по запасам морских водорослей, использование которых может дать ежегодно сотни тысяч центнеров прекрасного корма для животноводства. Дальнейшее развитие получит добыча других нерыбных продуктов моря, например, морской капусты.

Сахалин является важнейшим нефтедобывающим районом Дальнего Востока. Нефть здесь по преимуществу высококачественная, с большим содержанием высокооктанового бензина и ароматических веществ. Из нее вырабатывается все большее количество самых разнообразных нефтепродуктов. Добыча нефти в области может быть увеличена в несколько раз. Для этого необходимо разведать новые нефтеносные структуры, особенно на юге острова, освоить глубокое бурение, повысить нефтеотдачу старых месторождений, внедрить более производительную технику (станки-качалки, новые типы глубинных насосов и т. д.), механизировать спуско-подъемные операции.

Большое значение для развития народного хозяйства Сахалина и всего Дальнего Востока имеет также использование природных и попутных газов, из которых, например, можно ежегодно получать десятки тысяч тонн газового бензина.

В настоящее время и в ближайшем будущем основным топливом на Сахалине будет каменный уголь. Угольная промышленность области не только полностью обеспечивает потребности острова, но поставляет значительное количество угля в соседние области и края Дальнего Востока и на внешний рынок. Но используется он пока только как энергетическое топливо, а между тем малозольные угли некоторых месторождений могут перерабатываться в металлургический кокс. В угольной промышленности острова очень низка производительность труда и высока себестоимость угля. Необходимо разрабатывать и осуществить проект комплексного развития этой отрасли промышленности с тем, чтобы резко снизить себестоимость, повысить производительность труда и увеличить объем угледобычи.

Лесные ресурсы острова весьма велики, но лесная промышленность развивается очень медленно и отстает от других отраслей. Причиной этого является сокращение запасов леса в южной части острова и медленное освоение богатых лесных массивов в северных районах.

В целях удовлетворения все возрастающих потребностей в лесопроизводстве необходимо значительно увеличить лесозаготовки, подняв производительность труда на одного рабочего примерно в 4 раза. Для этого будут проведены техническое перевооружение лесозаготовительных предприятий, оснащение их мощными высокопроходными трелевочными тракторами, большегрузными автомобилями, механизация всех основных производственных процессов. В целях удовлетворения нужд строительства в области предполагается развить шесть крупных узлов по производству строительных материалов: Поронайского, Южно-Сахалинского, Холмского, Углерогского, Александровского и Охинского.

Значительное развитие получит энергетика, которая в настоящее время не обеспечивает полного удовлетворения нужд промышленности и населения области. Прежде всего необходимо закончить строительство первой очереди Южно-Сахалинской ГРЭС на базе вахрушевских углей, построить ряд других электростанций, объединить все действующие электростанции в единую энергетическую систему Сахалина.

Перед сельским хозяйством области ставится задача полностью обеспечить ее население широким ассортиментом овощей, картофелем, молочными продуктами, яйцами и большей частью потребляемого мяса. Расширение посевных площадей и повышение урожайности являются реальным средством для увеличения валового сбора продовольственных культур и повышения продуктивности животноводства.

Намеченные на региональных совещаниях задачи по развитию народного хозяйства экономических административных районов Дальнего Востока могут быть решены лишь в том случае, если все усилия трудящихся будут направлены на использование всех внутрипроизводственных резервов для повышения производительности труда, для

развития экономики. На региональных совещаниях приняты развернутые постановления, главное внимание в которых обращено на наиболее рациональное и эффективное использование капитальных вложений, материальных, трудовых и финансовых ресурсов, природных богатств, на устранение излишних издержек и потерь. На совещаниях рассмотрены важнейшие вопросы, выдвигаемые практикой коммунистического строительства, правильное решение которых будет достойным вкладом трудящихся Дальнего Востока в дело создания материально-технической базы коммунизма.

В. Г. Фомин, И. В. Чернов.

В журнале «Известия Сибирского отделения Академии наук СССР» публикуются теоретические и методические работы по различным вопросам химии, органической, неорганической, физической, коллоидной, биохимии, в разделах «Хроника», «Краткие сообщения», «Известия учреждений Сибири и Дальнего Востока», «Известия в области библиографии».

Представляемые в журнал статьи должны содержать четкие и конкретные результаты научных исследований, в конце статьи должны быть даны выводы.

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться ниже правилами. Статьи, оформленные без соблюдения этих правил, не рассматриваются.

1. На публикацию представляемых в редакцию материалов требуется разрешение руководства организации, на которую автор работает.

2. Размер статей, включая иллюстративные материалы, не должен превышать 1 авторский лист (24 стр.) для работ, опубликованных в авторского листа — для научных сообщений. Максимальный объем кратких сообщений — 1 авторский лист.

3. Статья должна быть напечатана на пишущей машинке (с пропуском и помарок, на одной стороне стандартного листа. Как правило, не допускаются примечания, подрисочные подписи, список литературы и т. д.) через два интервала.

4. Рукописи и иллюстративный материал в них должны быть подготовлены в двух экземплярах. Рукопись должна быть вычитана и подписана автором. Таблицы, формулы должны быть тщательно вписаны в оба экземпляра. Рукописи должны быть подготовлены в дубликаты на отдельном листе.

5. Цитируемая в статье литература должна быть оформлена в порядке цитирования, который помещается в конце статьи. Литературу отмечает порядковой цифрой в квадратных скобках.

6. Литература должна быть оформлена в следующем порядке: в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические сведения вводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического описания являются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, номер, страницы, ставятся после сокращенного слова, например, т. III, вып. 7, стр. 1-10.

Схема перечня библиографических данных:

Для книг: инициалы и фамилия автора, название книги, название издательства, место издания, год издания;

Для журналов: инициалы и фамилия автора, название статьи, название журнала, том, выпуск (т. III, вып. 7), номер, год. В работах по химии, опубликованных в журнале, принятом в специализированных химических журналах, указывается название работы, опубликованное в журналах, без названия статьи.

7. Формулы, латинские, греческие и т. п. выписываются в работе, в зависимости от необходимости, вписывая их на машинке или от руки (рукописью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении.

Во избежание недоразумений нужно делать все заглавные буквы по начертанию заглавными и строчными буквами в формулах, заглавные буквы двумя черточками снизу. Греческие буквы обозначаются по-русски.

8. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть выполнены на плотной бумаге, трастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены на плотной бумаге, каляке, допускается также плотная белая бумага. На рисунках должны быть указаны откладываемые величины.

Не рекомендуется рисунки и чертежи вычерчивать на кальке, рисунки заномеровать и дать расшифровку номеров.

Все иллюстрации к статье должны быть вычерчены на машинке, выставляются простым карандашом на каждом листе на расстоянии 10 мм от края на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (иллюстрации в текст рукописи не вставляются). Кроме того, на обороте каждого листа (или на отдельных листах) должны быть указаны инициалы и фамилия автора. В рукописи должны быть указаны номера (или номера 2 экземпляров) согласно их порядковой нумерации.

9. Авторы должны избегать повторения слов и фраз в тексте статей.

10. Корректур дается авторам один раз для вычитки. Внесения и сокращения в корректуру не допускаются. Рукописи, которые не выносятся, не возвращаются.

11. Датой поступления рукописи, посланной на рассмотрение, является дата ее возвращения в редакцию.

12. После опубликования статьи автор получает 2 экземпляра. Статьи направляются по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20.

Художественный редактор В. И. Желнин.
Технический редактор О. А. Локшина.
Корректоры Е. Ф. Ковыршина, Л. Я. Корытина.

Подписано в печать 30/VI 1962 г. МН 01766. Бумага 70×108/8, 8,75 печ. л.—12 усл. печ. л., 13,1 усл. изд. л. Тираж 2000.

Издательство Сибирского отделения Академии наук СССР, Новосибирск, Советская, 20. Зак. № 20.
Типография № 1 Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 70 коп.

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА
на ежемесячный научный журнал
ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

В журнале освещаются результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по экономическим, техническим, химическим и биологическим наукам, проведенных в научных учреждениях, исследовательских институтах, высших учебных заведениях Сибири. В журнале печатаются также статьи методического характера, работы, посвященные важнейшим проблемам развития производительных сил восточных районов СССР.

В журнале регулярно дается разносторонняя информация о научной жизни и развитии науки в Сибири и на Дальнем Востоке, печатаются материалы по обмену опытом и координации научной работы, библиография и рецензии на книги, в которых рассматриваются вопросы, связанные с изучением Сибири.

Журнал рассчитан на научных работников, преподавателей вузов, инженеров и руководителей предприятий.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 8 р. 40 к.

на 6 месяцев — 4 р. 20 к.

на 3 месяца — 2 р. 10 к.

Цена отдельного номера 70 коп.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комп. 401).