

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

11

НОВОСИБИРСК

1960

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

11

П-167/2 П-30003

1960 | Известия Сибирск.
№ 11 | отдел.АН СССР

7 р.

П-30003

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1960

В. К. ЩЕРБАКОВ

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ОТБОР МОЩНОСТИ
В НАСТРОЕННЫХ НА ПОЛУВОЛНУ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

I

Настроенные на полуволну электропередачи по своим технико-экономическим характеристикам [1, 2] могут быть рекомендованы в качестве мощных магистральных электропередач на расстояния в 2000—3000 км. Однако и в этих условиях с целью постоянного отбора энергии или взаимного обмена энергией иногда целесообразно промежуточное присоединение электроэнергетических систем, лежащих на пути следования магистральной электропередачи. Мощность таких промежуточных связей не должна превышать $(10 \div 20)$ % от передаваемой по магистральной линии, так как в противном случае исчезнет экономическая целесообразность сооружения столь протяженной сверхвысоковольтной магистральной линии.

Напряжение в промежуточных точках полуволновой линии колеблется вместе с изменением нагрузки ее конца (рис. 1), при этом в середине линии напряжение пропорционально нагрузке конца линии. Если предполагать периодическую возможность глубокой разгрузки магистральной линии, то промежуточный отбор мощности от полуволновой линии будет явно затруднен, особенно в ее средней части. Правда, на концевых участках линии на протяжении примерно 500 км падение напряжения не превысит 15% от номинального в самом худшем случае, когда линия перейдет на холостой ход. Здесь, следовательно, можно без особых затруднений присоединять промежуточные системы обычным путем, т. е. через параллельно подключенные трансформаторы, имея в виду уже опробованные практикой способы регулирования напряжения сетей. Как показывают теоретические исследования и опыты на электродинамической модели, добавочная проводимость в линии, эквивалентная промежуточному подключению системы через трансформаторы связи, мощностью в $(10 \div 20)$ % от передаваемой по магистрали, изменяет волновую длину линии в небольшой степени и индуктивность концевых трансформаторов линии вполне компенсирует расстройку линии. Статическая устойчивость параллельной работы магистрали и промежуточной системы также обеспечена.



Рис. 1.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. КИРЕНСКОГО

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. Крогов, 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. 225.

II

В средней части полуволновой линии, как уже было сказано, напряжение колеблется в столь сильной степени, что присоединение к линии промежуточных систем и нагрузок обычным путем через параллельно подключенные трансформаторы затруднено.

Здесь целесообразно присоединять к линии промежуточные системы и нагрузки через трансформаторы, последовательно включенные в линию (рис. 2), используя свойство полуволновой линии — сохранять поч-

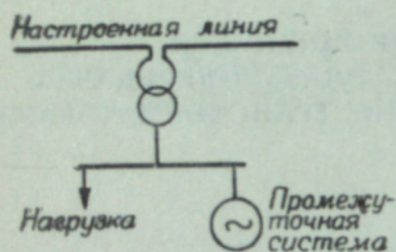


Рис. 2.

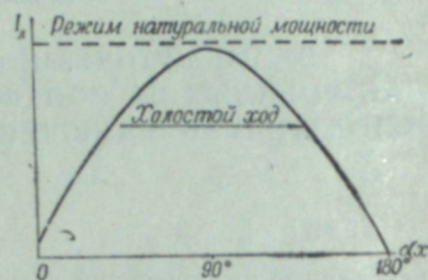


Рис. 3.

ти неизменной величины тока в середине при изменении нагрузки конца линии (рис. 3). Даже на расстоянии 600 км от середины в ту и другую стороны отклонение величины тока от номинального значения на холостом ходу линии не превышает 15%. Следовательно, в средней зоне линии на протяжении 1200 км имеются условия для сравнительно стабильного промежуточного отбора мощности через трансформаторы тока.

Если принять неизменность тока по величине в середине полуволновой линии (в действительной линии (рис. 3) имеется изменение величины тока в середине линии в несколько процентов при переходе от полной нагрузки линии к холостому ходу) и пренебречь намагничивающими ампервитками, ток во вторичной обмотке трансформатора также будет неизменным по величине.

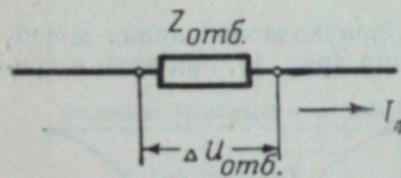


Рис. 4.

Упрощенная схема замещения последовательного отбора может быть представлена в виде врезанного в линию постоянного по модулю сопротивления $Z_{отб}$ (рис. 4). Отбираемая от линии мощность определяется падением напряжения на зажимах последовательной обмотки трансформатора $\Delta U_{отб}$, т. е.

$$S_{отб} = I_a \Delta U_{отб}$$

и соответственно

$$P_{отб} = I_a \cdot \Delta U_{отб} \cdot \cos \varphi_{отб}; \quad Q_{отб} = I_a \Delta U_{отб} \sin \varphi_{отб},$$

где

$$\varphi_{отб} = \arctg \frac{R_{отб}}{X_{отб}}.$$

Стремясь к постоянству напряжения во вторичной обмотке трансформатора отбора и, следовательно, к постоянству рабочего магнитного

потока трансформатора, мы тем самым обеспечим постоянство перепада напряжения в первичной обмотке трансформатора, т. е. обеспечим

$$\Delta U_{отб} = \text{const},$$

$$S_{отб} = \sqrt{P_{отб}^2 + Q_{отб}^2} = \text{const}.$$

Таким образом, отбор активной мощности должен сопровождаться одновременным отбором реактивной мощности.

В общем случае следует рассматривать не просто односторонний промежуточный отбор мощности от магистральной линии, а промежуточное подключение районных электрических систем с целью двустороннего обмена мощностью между магистральной электропередачей и промежуточной системой (рис. 2). Характер работы промежуточного трансформатора, последовательно включенного в линию, и в этом случае останется в основном таким же, как и в случае, рассмотренном выше, однако соотношение между $P_{отб}$ и $Q_{отб}$ теперь целиком определится поведением генераторов промежуточной системы.

Следовательно, подключение промежуточных систем и нагрузок к магистральной линии электропередачи, настроенной на полуволну, возможно как с помощью параллельно подключаемых обычных трансформаторов, так и с помощью последовательно включенных трансформаторов, работающих по принципу трансформаторов тока. Первые применимы в концевых участках линии, на протяжении 500—750 км от начала и конца линии, вторые — в средней части линии, на протяжении 500—600 км от середины линии в одну и другую стороны. Практически оба эти способа позволяют связать магистральную настроенную электропередачу с промежуточными системами и нагрузками на всем протяжении линии.

Вероятно, целесообразнее всего настроенную линию выполнять в виде параллельных блочных цепей, что вполне допустимо в условиях работы линии на приемную систему большой мощности (например, уральскую систему). С течением времени промежуточные отборы мощности от линии могут приобрести доминирующее значение, и в этом случае будет целесообразно часть цепей перевести в режим обычных межсистемных связей. В крайнем случае не возникнет затруднений с переводом всей настроенной магистральной электропередачи в режим отдельных межсистемных связей. Трансформаторы последовательного включения могут выполняться с учетом возможности использования их в режиме параллельного подключения, для чего необходимо обмотку последовательного включения проектировать и осуществлять в виде параллельных ветвей, которые в случае нужды включаются последовательно, когда трансформатор переводится в режим трансформации напряжения.

III

Связь магистральной линии, т. е. последовательно включенного трансформатора и промежуточной системы для схемы, показанной на рис. 5, можно выразить через собственные и взаимные коэффициенты:

$$\dot{I}_1 = a_{11}E_1 e^{j(\alpha_{11} + \delta_1)} + a_{12}E_2 e^{j(\alpha_{12} + \delta_2)} + a_{13}U_3 e^{j\alpha_{13}},$$

$$\dot{I}_2 = a_{21}E_1 e^{j(\alpha_{21} + \delta_1)} + a_{22}E_2 e^{j(\alpha_{22} + \delta_2)} + a_{23}U_3 e^{j\alpha_{23}},$$

$$\dot{I}_3 = a_{31}E_1 e^{j(\alpha_{31} + \delta_1)} + a_{32}E_2 e^{j(\alpha_{32} + \delta_2)} + a_{33}U_3 e^{j\alpha_{33}}.$$

Отсюда легко перейти к мощностям. Например:

$$P_1 = a_{11}E_1^2 \cos \alpha_{11} + a_{12}E_1E_2 \cos(\alpha_{12} + \delta_2 - \delta_1) + a_{13}E_1U_3 \cos(\alpha_{13} - \delta_1),$$

$$Q = a_{11}E_1^2 \sin \alpha_{11} + a_{12}E_1E_2 \sin(\alpha_{12} + \delta_2 - \delta_1) + a_{13}E_1U_3 \sin(\alpha_{13} - \delta_1).$$

Аналогичные выражения можно записать и для P_2 и Q_2 ; P_3 и Q_3 .

В качестве примера ниже приведены значения модулей и комплексных углов собственных и взаимных коэффициентов для данной схемы (рис. 5) со следующими параметрами:

$$A = D = j0,037; \quad \dot{Z}_H = 0,0324 + j0,016; \quad x_1 = 1,00;$$

$$B = C = j1,002; \quad \dot{\gamma} = (0,024 + j1,1) \cdot 10^{-3}; \quad x_2 = 1,2$$

a			a		
1,004	0,0175	1,007	-86°	-37°	-90°
0,0175	14,25	0,528	-37°	-60,5°	-128°
1,007	0,528	0,984	-90°	-128°	-81,5°

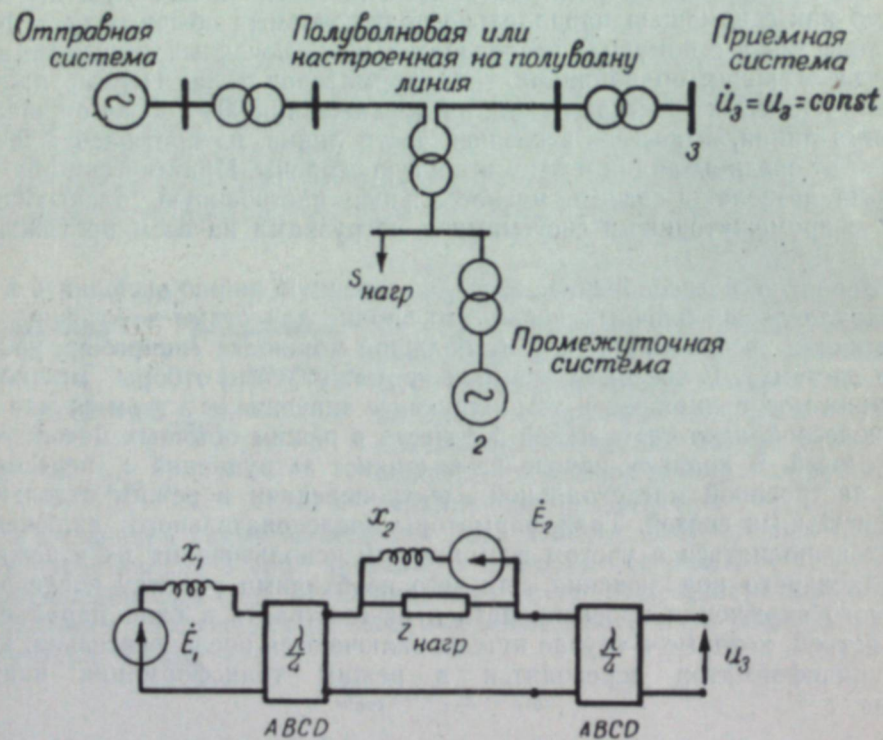


Рис. 5.

Малое значение коэффициента a_{12} указывает на слабую взаимную зависимость системы, питающей магистральную линию, и промежуточной системы.

Для частного случая, когда системы 1 и 2 (рис. 5) равной мощности, а мощность отбора равна 20% от передаваемой в конец магистрали, результаты расчетов приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают область устойчивой параллельной работы магистральной линии и промежуточной системы (область положи-

Таблица 1*

Фаза $\Delta U_{отб}$, град.	E_1		i_1		P_1	$\Delta U_{отб}$ модуль	$i_{отб}$		$S_{отб}$		S_2		E_2		Прир. ед. лице
	модуль	фаза	модуль	фаза			модуль	фаза	$P_{отб}$	$Q_{отб}$	P_2	Q_2	модуль	фаза	
00	1,66	220,0	1,09	169,5	1,16	0,20	1,04	90	0,000	+0,207	1,000	0,695	0,394	30,5	
30	1,72	223,0	1,18	171,5	1,25	0,20	1,04	90	+0,104	+0,180	0,896	0,668	0,378	58,0	
60	1,72	226,5	1,25	175,0	1,34	0,20	1,04	90	+0,180	+0,104	0,820	0,592	0,358	87,0	
90	1,67	229,5	1,28	180,0	1,38	0,20	1,04	90	+0,207	0,000	0,793	0,488	0,334	118,0	
120	1,60	232,0	1,25	185,0	1,35	0,20	1,04	90	+0,180	-0,104	0,820	0,384	0,320	151,0	
150	1,50	232,5	1,18	188,5	1,27	0,20	1,04	90	+0,104	-0,180	0,896	0,308	0,318	184,0	
180	1,40	231,0	1,09	190,5	1,16	0,20	1,04	90	0,000	-0,207	1,000	0,281	0,324	218,0	
210	1,33	227,5	0,99	190,5	1,04	0,20	1,04	90	-0,104	-0,80	1,104	0,308	0,352	250,0	
240	1,32	223,0	0,91	186,0	0,96	0,20	1,04	90	-0,180	-0,104	1,180	0,384	0,364	280,5	
270	1,38	219,5	0,88	180,0	0,96	0,20	1,04	90	-0,207	0,000	1,207	0,488	0,380	309,0	
300	1,47	217,5	0,91	174,0	0,98	0,20	1,04	90	-0,180	+0,104	1,180	0,592	0,396	337,0	
330	1,57	218,0	0,99	170,0	1,04	0,20	1,04	90	-0,104	+0,180	1,104	0,668	0,400	3,5	
360	1,66	220,0	1,09	169,5	1,16	0,20	1,04	90	0,000	+0,207	1,000	0,695	0,394	30,5	

* Расчеты выполнены аспирантом ТЭИ СО АН СССР Е. Н. Коляч.

тельных значений $\frac{\Delta P_2}{\Delta b_2}$, а также соответствие знаков активной и реактивной мощностей через трансформатор.

На электродинамической модели лаборатории была проверена параллельная работа настроенной электропередачи и промежуточной системы через трансформатор последовательного включения. На рис. 6 приведены схема и условия эксперимента. Нагрузка, передаваемая в приемную систему, менялась от нуля до натуральной мощности линии; нагрузка генератора, имитирующего промежуточную систему, менялась от нуля до номинальной. Устойчивая работа наблюдалась как при отборе активной мощности в промежуточную систему, так и при обратном направлении потока мощности. В том и другом случае пределом передаваемой мощности через трансформатор являлась его номинальная мощность.

Выше рассматривался случай «последовательного» отбора мощности, когда ток в линии оставался неизменным при всех режимах работы линии. В действительности ток в линии изменяется по величине при переходе от холостого хода к полной загрузке линии, поэтому вторичное напряжение трансформатора будет соответственно колебаться. Это колебание напряжения обусловит переменный поток реактивной мощности через трансформатор в промежуточную систему и, следовательно, переменную загрузку трансформатора активной мощностью.

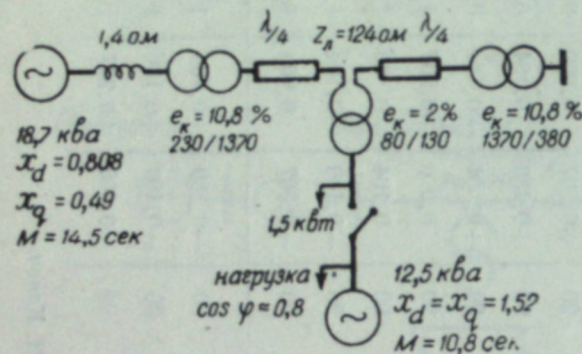


Рис. 6.

Колебание отбора активной мощности здесь будет иметь место, во-первых, за счет изменения величины тока линии, так как $S_{отб} = I_d$ и, во-вторых, за счет вытесняющего действия реактивной мощности, поскольку каждому значению тока в линии соответствует условие:

$$\sqrt{P_{отб}^2 + Q_{отб}^2} = S_{отб} = \text{const.}$$

Регулирование потока реактивной мощности трансформатора обычно трудно осуществлять путем регулирования напряжения промежуточной системы; вероятно, необходимо предусматривать возможность регулирования вторичного напряжения трансформатора.

Здесь изложены лишь принципиальные соображения, подтверждающие возможность совместной работы промежуточных систем и настроенной электропередачи через последовательно включенные в линию трансформаторы. В дальнейшем следует детально изучить вопрос о наилучшем конструктивном выполнении «последовательного» трансформатора с учетом простого перевода его в «параллельный» режим работы; изучить условия устойчивого управления режимами работы трансформатора и, в частности, способы регулирования напряжения трансформатора, определить размеры отборов мощности, не нарушающих еще основных закономерностей настроенной линии; изучить условия работы «последовательного» трансформатора в зонах линии, где величина тока линии колеблется значительно, и определить предельно допустимые и це-

лесообразные колебания величины тока, при которых еще возможен и целесообразен последовательный отбор; изучить устойчивость магистральной линии со многими и глубокими отборами мощности; разработать схемы и порядок включения в работу трансформатора, перевод его на холостой ход и отключение от линии и промежуточной системы.

Транспортно-энергетический
институт Сибирского отделения
АН СССР

Поступила в редакцию
13/VII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Щербаков, Дальние электропередачи через линии, настроенные на полуволну. Изв. СО АН СССР, № 7, 1959.
2. В. К. Щербаков, О. В. Ольшевский. К вопросу эффективности передачи переменного тока большой протяженности. Изв. высших уч. завед., Энергетика, № 2, 1960.

В. К. ЩЕРБАКОВ, Е. П. ГУСЕВ

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ
НАСТРОЕННЫХ НА ПОЛУВОЛНУ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

I

Вопрос о коэффициенте полезного действия полуволновых и настроенных на полуволну линий освещался в печати в нескольких работах. Однако авторы этих работ стремились подчеркнуть такие особенности полуволновых линий и настроенных электропередач, которые при определенных условиях, выбранных в упомянутых работах, определяют низкий к.п.д. линии.

Так известное свойство полуволновой линии сохранять неизменным ток в середине линии независимо от нагрузки последней рассматривается как обстоятельство, определяющее неизбежность низких значений к.п.д. линии при ее малых нагрузках [1], в то же время не подчеркивается, что неизменность тока в середине полуволновой линии является весьма благоприятным условием для достижения высоких значений к.п.д. в линиях, настроенных на полуволну, при режимах нагрузок, соответствующих реальным условиям работы дальних электропередач.

В других работах [2, 3] низкие значения к.п.д. полуволновой линии получены при условии отсутствия перепада напряжения в линии ($U_1 = U_2$). Здесь правильно указывается на циркуляцию в линии в этих условиях большой реактивной мощности как причину высоких потерь активной мощности в ней. Однако такой режим для полуволновой линии не является характерным, не только из-за низкого значения к.п.д., но и потому, что в этих условиях ($U_1 = U_2$) невозможно передавать сколько-нибудь заметную активную мощность. Очевидно, передачу активной мощности полуволновой линии при отсутствии перепада напряжения по концам линии нет смысла рассматривать вообще и тем более для характеристики к.п.д. этой линии, поскольку, как правильно отмечают в дальнейшем эти же авторы [3], к.п.д. полуволновой линии может быть значительно повышен при отказе от режима работы с равенством напряжений по концам.

Имеется даже утверждение [4], что к.п.д. полуволновой линии принципиально и во всех случаях должен быть низким, так как потери в этой линии всегда являются суммой двух независимых друг от друга составляющих — одной, определяемой током нагрузки конца линии, и второй, определяемой током холостого хода линии; автор ошибочно полагает, что ток линии является арифметической суммой токов холостого хода и тока нагрузки конца линии.

И хотя уже было показано [5], что к.п.д. полуволновых и настроенных на полуволну линий в условиях практической работы дальних электропередач является достаточно высоким и в этом отношении настроенные электропередачи сравнительно экономичнее компенсированных, тем

не менее необходимо более подробно показать влияние характера распределения тока и перепада напряжения в полуволновых и настроенных на полуволну линиях на величину коэффициента полезного действия электропередачи.

II

Вдоль линии без потерь ток распределяется при различных нагрузках конца линии так, как показано на рис. 1. В реальной линии характер зависимости тока линии от длины и нагрузки последней в общем

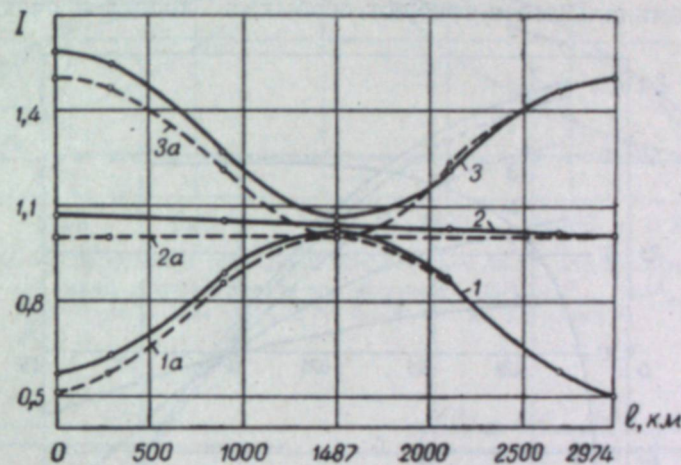


Рис. 1. Изменение тока в однородной полуволновой линии с учетом и без учета потерь.
1, 2, 3 — с учетом потерь соответственно при нагрузках $0,5P_{\text{нат}}$, $P_{\text{нат}}$, $1,5P_{\text{нат}}$; 1a, 2a, 3a — то же без учета потерь.

сохраняется, однако появляется небольшое изменение тока в середине линии вместе с изменением нагрузки конца линии (рис. 1*). Это колебание величины тока около среднего значения составляет проценты от величины тока в режиме натуральной нагрузки. Поэтому практически можно считать, что в полуволновой линии ток в ее середине не зависит от нагрузки конца линии.

Потери активной мощности в линии

$$\Delta P = I_{\text{ср. кв}}^2 \cdot R_{\text{л}} \quad (1)$$

определяются значением среднеквадратичного тока линии, который, в свою очередь, зависит от характера кривой распределения тока вдоль линии. В режиме нагрузки линии, близком к натуральному,

$$I_{\text{ср. кв}} = I_2, \quad (2)$$

где I_2 — ток конца линии.

Отсюда следует сделать вывод, что работа полуволновой линии в режимах нагрузок, больших натуральной, наиболее экономична. Здесь среднеквадратичный ток линии будет меньше тока нагрузки конца линии, т. е.

$$I_2^2 - I_{\text{ср. кв}}^2 > 0, \quad (3)$$

* При построении кривых приняты следующие параметры линии: потери на корону 11,6 квт/км на три фазы, $r_0 = 0,01195 \text{ ом/км}$, $x_0 = 0,281 \text{ ом/км}$; $b_0 = 3,97 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ом/км}$.

и при неизменной плотности тока в проводах коэффициент полезного действия линии будет возрастать вместе с ростом нагрузки (см. приложение 1).

Это явление закономерно для линий любой длины, но в наибольшей степени проявляется в линиях полуволновой длины (рис. 2), где разность

$$(I_{\text{ср. кп}}^2 - I_2^2) \cdot R_{\text{л}} = \Delta P - I_2^2 \cdot R_{\text{л}} \quad (4)$$

обозначена δ (см. приложение 2).

Нагрузочные режимы однородных линий выше натурального обычно сопровождаются значительным отклонением напряжения по концам линии от номинального и требуют особых, а иногда и очень дорогих

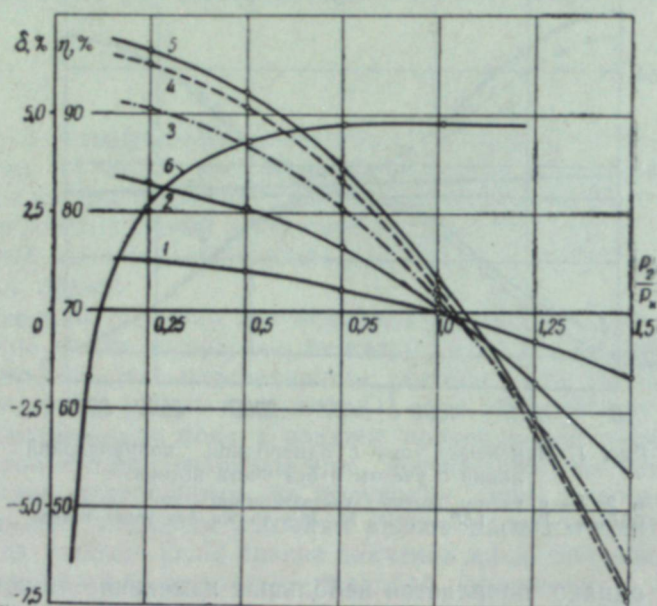


Рис. 2. Изменение разности $\Delta P - I_2^2 R_{\text{л}} = \delta$ и к.п.д. однородной линии в зависимости от нагрузки при передаче активной мощности.

1 — $l = 1000$ км, 2 — $l = 1500$ км, 3 — $l = 2000$ км, 4 — $l = 2500$ км, 5 — $l = 2974$ км, 6 — изменение к.п.д. полуволновой линии.

мер по регулированию напряжения. К тому же регулирующая реактивная мощность, увеличивая потери в линии, часто делает вообще нецелесообразной работу длинной линии в нагрузочных режимах выше натурального.

По-другому все это выглядит в полуволновых линиях. Здесь напряжения по концам линии мало зависят от нагрузки линии, и лишь в средней ее части напряжение колеблется пропорционально нагрузке. Поэтому в полуволновых однородных линиях ($l \approx 3000$ км) нагрузочные режимы выше натурального возможны и целесообразны в такой степени, в какой возможно повышение напряжения в средней части линии. На рис. 2 приведена кривая зависимости к.п.д. полуволновой линии от нагрузки конца линии при плотности тока $0,61$ а/мм² и отклонении напряжения в средней части линии от номинального на 20% в режиме передачи максимальной мощности.

Применительно к настроенным на полуволну линиям, длина которых меньше 3000 км, приведенные выше рассуждения в основном сохраняются, так как ток в середине последних также очень незначительно

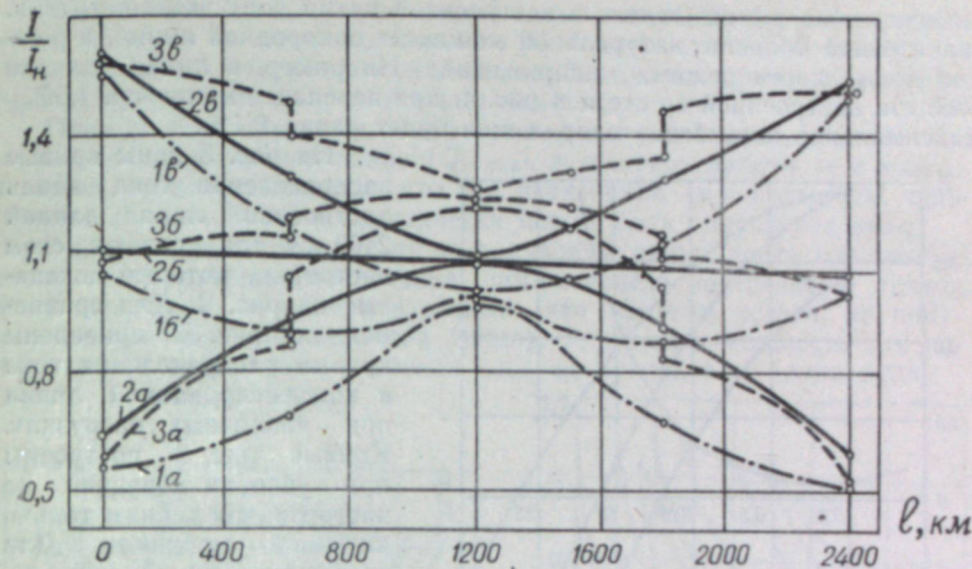


Рис. 3. Распределение тока вдоль настроенных линий электропередач. 1а, 16, 16' — для схемы 2 соответственно при нагрузках $0,5P_{\text{нат}}$, $P_{\text{нат}}$, $1,5P_{\text{нат}}$; 2а, 26, 26' — то же для схемы 3; 3а, 36, 36' — то же для схемы 4.

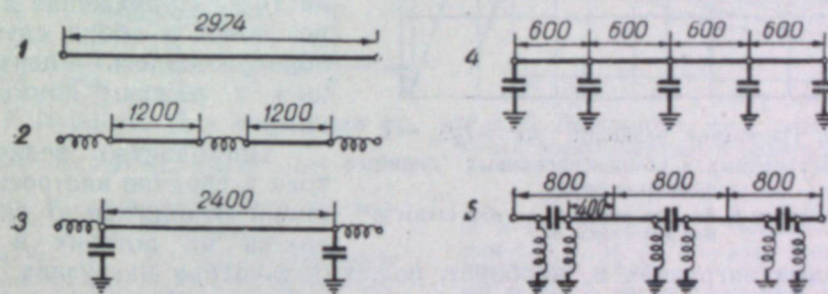


Рис. 4. Схемы настроенных и компенсированных линий электропередач.

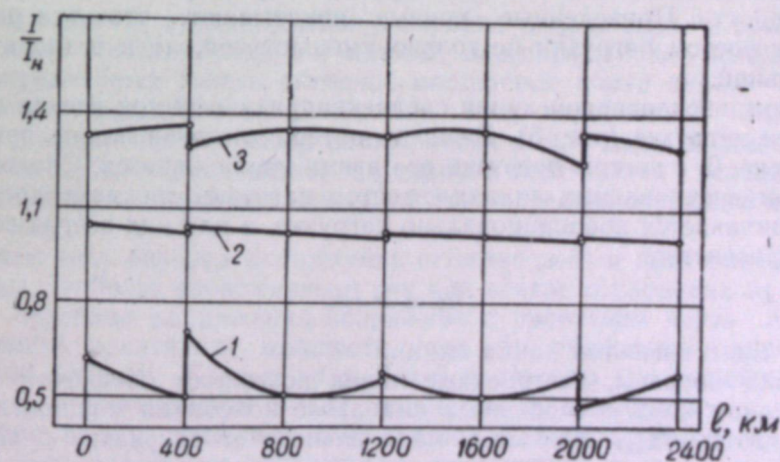


Рис. 5. Изменение тока вдоль линии, компенсированной по схеме 5. 1 — $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$, 2 — $P_2 = P_{\text{нат}}$, 3 — $P_2 = 1,25P_{\text{нат}}$.

зависит от нагрузки. Однако в настроенной линии допустимы нагрузки, значительно большие натуральной мощности однородной линии, в рамках нормального режима напряжений. Например, в линии длиной 2000 км, настроенной по схеме 4 рис. 4, при передаче мощности $1,5P_{\text{нат}}$ максимальное повышение напряжения будет равно 9,1%.

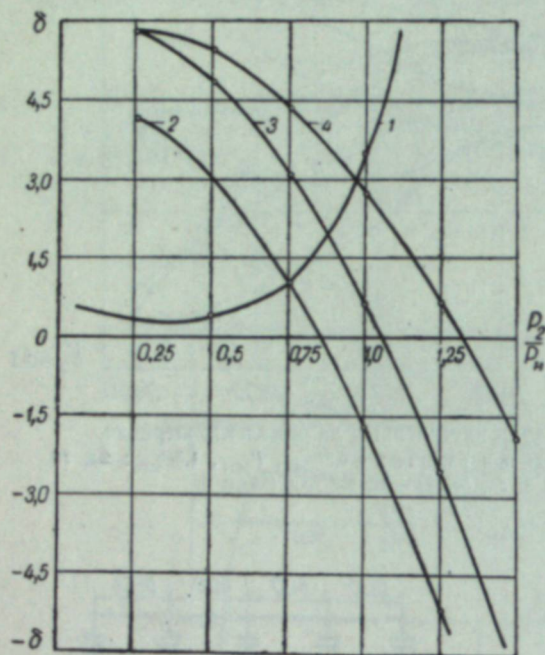


Рис. 6. Изменение разности $\Delta P - I_2^2 R_{\text{л}} = \delta$ для настроенных и компенсированных линий электропередач.
1 — для схемы 5, 2 — для схемы 2, 3 — для схемы 3, 4 — для схемы 4.

при малых нагрузках и, наоборот, положительно при нагрузках, превышающих натуральную мощность однородной линии. В подтверждение этому на рис. 6 приведено изменение разности $\Delta P - I_2^2 R_{\text{л}}$ в настроенных линиях с изменением нагрузки и при передаче только активной мощности. Приведенные кривые показывают, что эта разность потерь с ростом нагрузки не только уменьшается, но и становится отрицательной.

В компенсированной линии среднеквадратичный ток всегда пропорционален нагрузке (рис. 5). Разность потерь для этой линии, приведенная на рис. 6, с ростом нагрузки все время увеличивается. Следовательно, в компенсированных линиях с ростом нагрузки среднеквадратичный ток увеличивается пропорционально нагрузке, и для них всегда справедливо неравенство:

$$I_{\text{ср. кв}} > I_{\text{а2}}, \quad (5)$$

где $I_{\text{а2}}$ — активный ток конца линии.

Таким образом, настроенные линии позволяют обеспечить работу при высоком к.п.д. и особенно в диапазоне колебания мощности линии от $P_{\text{нат}}$ до $0,6P_{\text{нат}}$, где к.п.д. мало зависит от нагрузки, и, следовательно, чем плотнее график нагрузки, тем выше к.п.д. по энергии настроенных электропередач по сравнению с другими передачами переменного тока.

На рис. 3 даны кривые распределения тока вдоль настроенной линии длиной 2400 км для разных схем настройки, которые показаны на рис. 4. Для сравнения на рис. 5 приведены кривые распределения тока в компенсированной линии при различных нагрузках. Кривые рис. 3 построены при условии передачи по настроенным линиям только активной мощности. Для компенсированной линии величина реактивной мощности вдоль линии определялась из условия допустимого повышения напряжения на 10%. Напряжение в конце линии в обоих случаях поддерживалось неизменным и равным номинальному.

Постоянство величины тока в середине настроенных линий отрицательно сказывается на потерях в них

III

Зависимость к.п.д. полуволновой линии от перепада напряжения между концами линии уже отмечалась [3], однако остается неясным вопрос о том, какой перепад напряжения наиболее благоприятен для работы полуволновой линии с максимальным к.п.д.

Прежде всего следует выяснить роль реактивной мощности, передаваемой по полуволновой линии ($Q_{2\gamma, \text{max}}$), в условиях работы ее с максимальным к.п.д. Оказывается, что эта реактивная мощность (см. приложение 3) очень мала и практически может быть приравнена к нулю.

В случае точно настроенной на полуволну линии, когда постоянные эквивалентного четырехполюсника, замещающего настроенную линию, числа вещественные и отрицательные (что заметим кстати, не получается в реальной полуволновой линии), реактивная мощность для достижения максимального значения к.п.д. не нужна, т. е. равна нулю.

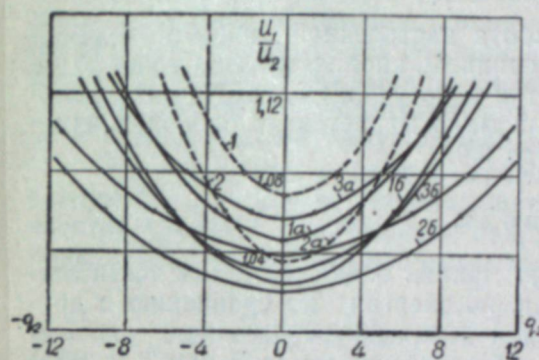


Рис. 7. Изменение Q_2 в зависимости от $\frac{U_1}{U_2}$ для настроенных линий электропередач и однородной линии полуволновой длины.

1а, 2а, 3а — при $P_2 = P_{\text{нат}}$ соответственно для схем 2, 3 и 4; 1б, 2б, 3б — для аналогичных схем при $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$; 1, 2 — для однородной линии соответственно при $P_2 = P_{\text{нат}}$ и $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$.

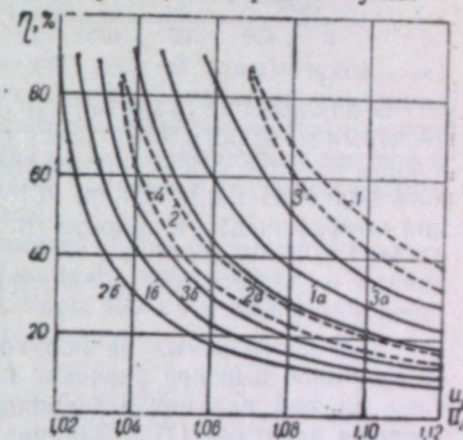


Рис. 8. Зависимость к.п.д. настроенных линий электропередач и однородной полуволновой линии от $\frac{U_1}{U_2}$.

1а, 2а, 3а — при $P_2 = P_{\text{нат}}$ соответственно для схем 2, 3, 4; 1б, 2б, 3б — для аналогичных схем при $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$; 1, 2 — для однородной линии; Q_2 выдвигается нагрузкой соответственно при $P_2 = P_{\text{нат}}$ и $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$; 3, 4 — для той же линии, но Q_2 потребляется нагрузкой соответственно при $P_2 = P_{\text{нат}}$ и $P_2 = 0,5P_{\text{нат}}$.

Таким образом, наимыгоднейший перепад напряжения в полуволновых линиях приближенно, а в линиях, настроенных на полуволну, строго определяется только активной мощностью конца линии. Мощность, соответствующая максимальному к.п.д. настроенной линии и однородной линии полуволновой длины, легко может быть найдена (см. приложение 3), и, следовательно, тем самым определится перепад напряжения в линии, сопровождающий работу последней в режиме максимального к.п.д.

Назовем этот перепад напряжения естественным и подчеркнем, что он является наиболее экономичным, так как всякое отклонение от естественного перепада напряжения сопряжено с пропуском через линию регулирующей реактивной мощности (рис. 7), снижающей значение к.п.д. линии (рис. 8). Кривые рис. 7 и 8 построены по выражениям, приведенным в приложении 4 для линии 800 км с выбранными ранее параметрами, но без учета потерь на корону. Для удобства перепад напряжения характеризуется отношением напряжения в начале линии к напряжению в конце линии $\frac{U_1}{U_2}$.

Естественный перепад напряжения в реальных настроенных и полуволновых линиях составляет 5—7% от номинального напряжения линии (рис. 9) и поэтому нет нужды его «исправлять». Следует при этом подчеркнуть, что активная мощность настроенной линии, определяющая ее максимальный к.п.д. и равная эквивалентной натуральной мощности линии [1], одновременно является близкой по своему значению к максимальной, характеризующей пропускную способность линии.

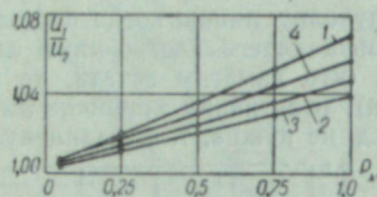


Рис. 9. Зависимость наивыгоднейшего перепада напряжения от нагрузки для полуволновой линии и настроенных электропередач. 1 — схема 1, 2 — схема 2, 3 — схема 3, 4 — схема 4.

В заключение заметим, что работа настроенной линии с коэффициентами мощности, отличными от единицы, вполне возможна как по условиям статической устойчивости, так и по условиям сохранения высокого значения к.п.д. линии, который мало меняется в пределах изменения коэффициента мощности от 1 до 0,9.

Выводы

1. В настроенных на полуволну линиях электропередач достигается наиболее высокое значение к.п.д. по энергии по сравнению с другими видами дальних электропередач переменного тока при плотном графике нагрузки ($T > 7000$ час.) и достаточно высокое при $T > 6000$ часов.
2. Пропускная способность настроенных линий обеспечивается в размерах, значительно больших, чем натуральная мощность однородной линии, и поэтому высокое значение к.п.д., близкое к максимальному, достигается в диапазоне нагрузок от P_{\max} до $0,6P_{\max}$.
3. Наивыгоднейший перепад напряжения в настроенных линиях электропередачи равен естественному. Работа в режимах, отличных от естественного перепада напряжения, сопровождается значительным снижением к.п.д. линии электропередачи.

Приложение 1

ИЗМЕНЕНИЕ К.П.Д. ПОЛУВОЛНОВОЙ ЛИНИИ С РОСТОМ НАГРУЗКИ ПРИ НЕИЗМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Коэффициент полезного действия для линии электропередачи можно определить как

$$\eta = \frac{P_{20}}{P_{20} + \Delta P_0}, \quad (6)$$

где P_{20} — нагрузка в конце линии.

Если линия обладает только активным сопротивлением, то

$$\eta = \frac{P_{20}}{P_{20} + I_{20}^2 \cdot R_A}. \quad (7)$$

Изменим нагрузку и сечение такой линии в n раз. При постоянстве напряжения в конце линии получим, что к.п.д. будет равен:

$$\eta = \frac{n \cdot P_{20}}{n \cdot P_{20} + n^2 I_{20}^2 \cdot \frac{R_A}{n}} = \frac{P_{20}}{P_{20} + I_{20}^2 \cdot R_A}. \quad (8)$$

Из (8) видно, что к.п.д. при пропорциональном изменении нагрузки и сечения линии, обладающей только активным сопротивлением, не изменяется.

Для реальной однородной линии по (6) с учетом (1) к.п.д. равен

$$\eta = \frac{P_{20}}{P_{20} + I_{\text{ср. кв}}^2 \cdot R_A}. \quad (9)$$

Сравнивая выражения (7) и (8) с (9), делаем заключение, что к.п.д. реальной однородной линии при пропорциональном изменении нагрузки и сечения до тех пор можно считать неизменным, пока можно допустить пропорциональность изменения $I_{\text{ср. кв}}$ с изменением нагрузки.

Рассмотрим, что происходит при таком изменении сечения и нагрузки в реальной линии полуволновой длины.

При отсутствии активной проводимости ($g_0 = 0$) можно сделать следующие допущения, не вносящие большой погрешности в линиях электропередач с номинальным напряжением 400 кВ и выше (все величины даны в относительных единицах*):

$$\left. \begin{aligned} \beta &\approx \frac{r_0}{2}, \quad \operatorname{ch} \beta \frac{l}{2} \approx 1 + 0,5 \left(\frac{\beta l}{2} \right)^2, \\ \operatorname{sh} \beta \frac{l}{2} &\approx \beta \frac{l}{2}, \quad I^j \varphi_w = 1 - j \frac{1}{2} \frac{r_0}{x_0}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где r_0 и x_0 — соответственно удельные активное и реактивное сопротивления линии,

l — длина линии,

φ_w — аргумент волнового сопротивления линии.

Используя методику, изложенную в [6], и применяя допущения (10), получим, что для линии полуволновой длины коэффициенты потерь будут равны:

$$\left. \begin{aligned} K_{2\text{хх}} &= K_{2\text{кз}} = \frac{r_0 l}{2}, \\ K_{2\text{р}} &= \left(\frac{r_0 l}{2} \right)^2, \\ K_{2\text{q}} &= \frac{r_0^3 l^3}{8x_0}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

А удельные потери в ней при передаче только активной мощности при нагрузке P_{20} будут:

$$\frac{\Delta P_0}{P_{20}} = \frac{r_0 l}{2} \left(\frac{1}{P_{20}} + P_{20} \right) + \frac{(r_0 l)^2}{2}. \quad (12)$$

* В относительных единицах за базисные величины приняты напряжение в конце линии ($U_2 = U_{\text{баз}}$) и модуль волнового сопротивления линии (W).

При увеличении сечения проводов и мощности нагрузки линии в n раз, по сравнению с первоначальными, получим:

$$\frac{\Delta P_n}{P_n} = \frac{\Delta P_n}{n \cdot P_{20}} = \frac{r_0 l}{2} \left(\frac{1}{n^2 P_{20}} + P_{20} \right) + \frac{1}{n^2} \frac{(r_0 l)^2}{2}. \quad (13)$$

Разность между первоначальными и конечными удельными потерями следующая:

$$\frac{\Delta P_0}{P_{20}} - \frac{\Delta P_n}{P_n} = \frac{r_0 l}{2} \left(\frac{1}{P_{20}} + r_0 l \right) \left(1 - \frac{1}{n^2} \right). \quad (14)$$

Из (14) видно, что разница между удельными потерями до изменения сечения и нагрузки и удельными потерями в линии с пропорционально измененными сечением и нагрузкой будет положительной при $n > 1$ и, наоборот, отрицательной при $n < 1$. Иначе увеличение сечения однородной линии полуволновой длины, пропорциональное росту нагрузки, уменьшает удельные потери и увеличивает к.п.д. этой линии, а уменьшение сечения и нагрузки ведет к увеличению удельных потерь и снижению к.п.д.

Приложение 2

ВЕЛИЧИНА РАЗНОСТИ ПОТЕРЬ ДЛЯ РЕАЛЬНОЙ ПОЛУВОЛНОВОЙ ЛИНИИ

Коэффициенты потерь для полуволновой линии ($\sin \alpha l = 0$), используя работу [6], можно выразить так:

$$\left. \begin{aligned} K_{2xx} = K_{2xz} &= \frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w, \\ K_{2p} &= \operatorname{sh}^2 \beta l \cos^2 \varphi_w, \\ K_{2q} &= -\sin \varphi_w \cdot \cos \varphi_w \cdot \operatorname{sh}^2 \beta l, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где β — коэффициент затухания однородной линии,
 α — коэффициент фазы однородной линии.

Тогда потери в полуволновой линии в относительных единицах (см. приложение 1) при передаче только активной мощности определяются следующим выражением:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w (1 + I_2^2) + 2 \operatorname{sh}^2 \beta l \cdot \cos^2 \varphi_w \cdot P_2. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (4) и учитывая, что $R_x = r_0 l$, получим разность потерь:

$$\delta = \frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w + 2 \operatorname{sh}^2 \beta l \cdot \cos^2 \varphi_w \cdot I_2 + \left(\frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w - r_0 l \right) I_2^2. \quad (17)$$

Из (17) находим величину нагрузки, при которой разность потерь равна нулю:

$$I_0 = P_0 = - \frac{\operatorname{sh}^2 \beta l \cdot \cos^2 \varphi_w}{\frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w - r_0 l} + \sqrt{\left(\frac{\operatorname{sh}^2 \beta l \cdot \cos^2 \varphi_w}{\frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w - r_0 l} \right)^2 - \frac{\frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w}{\frac{1}{2} \operatorname{sh} 2\beta l \cdot \cos \varphi_w - r_0 l}}. \quad (18)$$

Чтобы легче проанализировать выражение (18), применим допущения (10) и получим

$$I_0 = P_0 = \frac{r_0 l}{2} + \sqrt{1 + \left(\frac{r_0 l}{2} \right)^2}. \quad (19)$$

Из (19) видно, что нагрузка, отвечающая режиму равенства потерь, больше единицы, т. е. больше натуральной мощности. При этом, чем больше активное сопротивление линии, тем больше величина P_0 по сравнению с натуральной мощностью линии. Равенства величин среднеквадратичного тока и тока нагрузки можно достигнуть при натуральной мощности только для линии без потерь ($\frac{r_0 l}{2} \approx 0$).

Приложение 3

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ПОЛУВОЛНОВОЙ ЛИНИИ И ТОЧНО НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Задачу отыскания нагрузки, соответствующей максимальному к.п.д. линии электропередачи, можно решить, как уже говорилось ранее [6], определяя минимум функции, обратной величине к.п.д. линии, т. е. путем совместного решения уравнений:

$$\frac{\partial (1/\eta)}{\partial P} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial (1/\eta)}{\partial Q} = 0. \quad (20)$$

Решение первого уравнения из (20) определяет наимыгоднейшую величину активной мощности, а второго — реактивной.

Поскольку величина активной мощности определяется, как правило, потребителем, а величину реактивной мощности обычно в определенных пределах возможно регулировать, то наиболее целесообразно определить последнюю. Это можно сделать, определяя к.п.д. электропередачи через коэффициенты потерь и решая второе уравнение из (20). Тогда получим в относительных единицах:

$$Q_{2r, \max} = -U_2^2 \frac{K_{2q}}{K_{2xz}}, \quad (21)$$

где

$$K_{2q} = B_0^* C_0^* - A_0^* D_0^*,$$

$$K_{2xz} = B_0^* D_0^* + B_0^* D_0^*,$$

$A_0^* B_0^* C_0^* D_0^*$ и $A_0^* B^* C_0^* D_0^*$ — соответственно действительные и мнимые части обобщенных постоянных электропередачи.

Как уже отмечалось, у точно настроенных электропередач обобщенные постоянные электропередачи являются величинами действительными и мнимые части равны нулю, поэтому для них $K_{2q} = 0$, а следовательно, и величина реактивной мощности для улучшения к.п.д. должна быть равна нулю.

Подставляя в (21) коэффициенты потерь из (15), для полуволновой линии получим невыгоднейшую величину реактивной мощности, равную

$$Q_{2\eta \max} = -\sin \varphi_w \cdot \operatorname{th} \beta l \quad (22)$$

или приблизительно

$$Q_{2\eta \max} \approx \frac{r_0^2}{4x_0} l. \quad (23)$$

Величина этой мощности, как видно из (23), настолько незначительна, что можно считать ее равной нулю ($Q_{2\eta \max} \approx 10^{-4} P_{\text{нат}}$).

Если же требуется для получения наибольшего к.п.д. дополнительно определить невыгоднейшую величину активной мощности, то это легко сделать, решив совместно оба уравнения (20).

Для точно построенных электропередач

$$P_{2\eta \min} = U_2^2 \sqrt{\frac{A_0 C_0}{B_0 D_0}}. \quad (24)$$

Для полуволновой линии

$$P_{2\eta \min} = U_2^2 \sqrt{1 - (\sin \varphi_w \cdot \operatorname{th} \beta l)^2} \approx U_2^2. \quad (25)$$

Приложение 4

ПЕРЕПАД НАПРЯЖЕНИЯ К ПОТЕРИ ПОЛУВОЛНОВОЙ ЛИНИИ И НАСТРОЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Отношение напряжений в точно настроенных линиях электропередачи определялось по выражению

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{A_0^2 + B_0^2 \cdot I_2^2 + 2A_0 B_0 \cdot P_2}. \quad (26)$$

Из (26) видно, что зависимость отношения напряжения от величины реактивной мощности в конце линии невелика, так как $2A_0 B_0$ значительно больше B_0^2 .

Потери в этих электропередачах через отношение напряжений можно выразить как

$$\Delta P = \frac{A_0}{B_0} \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1 \right) - 2P_2, \quad (27)$$

а для полуволновой линии

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\operatorname{ch}^2 \beta l + \operatorname{sh}^2 \beta l \cdot I_2^2 + \cos \varphi_w \cdot \operatorname{sh} 2\beta l \cdot P_2 + \sin \varphi_w \cdot \operatorname{sh} 2\beta l \cdot Q_2}. \quad (28)$$

С достаточной точностью отношение напряжений может быть определено по выражению

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{1 + (\beta l)^2 (0,5 + I_2^2) + 2\beta l [(1 - 0,5\varphi_w^2) P_2 + \varphi_w \cdot Q_2]}. \quad (29)$$

Потери мощности для линии полуволновой длины точно и приближенно будут соответственно равны:

$$\Delta P = \cos \varphi_w \left[\operatorname{cth} \beta l \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1 \right) - 2(P_2 \cos \varphi_w + Q_2 \cdot \sin \varphi_w) \right], \quad (30)$$

$$\Delta P = (1 - 0,5\varphi_w^2) \left\{ \frac{3 + (\beta l)^2}{3\beta l} \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1 \right) - 2[P_2 (1 - 0,5\varphi_w^2) + \varphi_w Q_2] \right\}. \quad (31)$$

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
14/V 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Зыкин, О потерях и коэффициенте полезного действия в линиях электропередачи, настроенных на полуволну. Изв. высших уч. завед., № 12, 1959.
2. В. А. Веников, Электромеханические переходные процессы в электрических системах. ГЭИ, М., 1958.
3. В. А. Веников, Л. А. Жуков, И. П. Сиуда, Уточнение характеристик дальних электропередач в связи с оценкой экономичности их работы. Тр. МЭИ, вып. 26, 1957.
4. Н. Ф. Ракушев, Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям. ГЭИ, М., 1957.
5. В. К. Щербаков, Дальние электропередачи через линии, настроенные на полуволну. Изв. СО АН СССР, № 7, 1959.
6. Е. П. Гусев, К исследованию коэффициента полезного действия дальних электропередач. Изв. СО АН СССР, № 8, 1959.

К. К. АБРАМОВ, А. А. ИЛЬИН

ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
КОНТАКТНОЙ СЕТИ ШАХТЫ

По условиям распространения электромагнитных волн контактная сеть шахты подобна однопроводной линии, прямым проводником которой служит группа изолированных от грунта, но соединенных между собой проводников (один или два троллея), а обратным — грунт и группа проводников, лежащих на грунте (рельсы, кабели, металлические трубы и т. д.). Это позволяет описать свойства контактной сети как однопроводной линии четырьмя первичными параметрами: индуктивностью ($L_{кс}$), емкостью ($C_{кс}$), активным сопротивлением проводов ($R_{кс}$) и активной составляющей утечки проводимости между проводами, приходящимися на километр, или двумя вторичными: волновым сопротивлением (Z_c) и постоянной распространения (γ).

В определении и исследовании этих параметров и состоит задача настоящей работы.

Усредненные частичные параметры контактной сети

Уравнения, которые устанавливают связь между токами в проводниках многопроводной линии, найдены в работе [1].

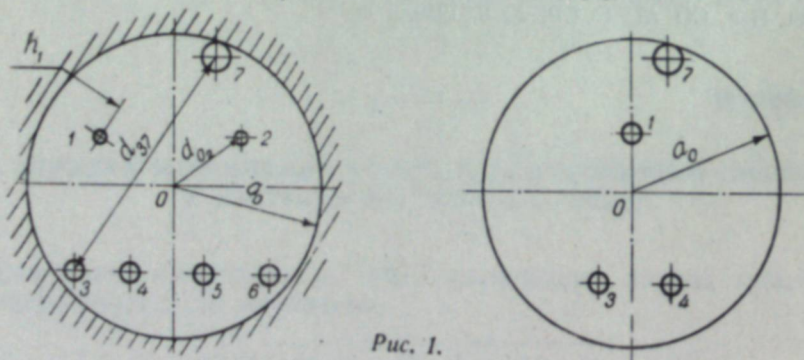


Рис. 1.

Для двухпутного участка контактной сети (рис. 1; наиболее общий случай, встречающийся на практике) эти уравнения имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} I_1(Z_1 - \gamma^2 K_1) + I_2(Z_{12} - \gamma^2 K_{12}) + \sum_{i=3}^7 I_i Z_{1i} &= 0, \\ I_1(Z_{21} - \gamma^2 K_{21}) + I_2(Z_2 - \gamma^2 K_2) + \sum_{i=3}^7 I_i Z_{2i} &= 0, \\ I_k Z_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^7 I_i Z_{ki} &= 0, \\ k &= 3, 4, 5, 6, 7. \end{aligned} \right\} (1)$$

где

$$\left. \begin{aligned} Z_k &= \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ S_k + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_k} \right\}, \\ Z_{ik} &= \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ S_0 + \ln \frac{a_0}{d_{ik}} \right\}, \\ K_i &= \frac{1}{2\pi j \omega \epsilon_0} \ln \frac{a_0}{d_i} \left(1 - \frac{d_{i0}^2}{a_i^2} \right), \\ K_{ik} &= \frac{1}{2\pi j \omega \epsilon_0} \ln \frac{a_0}{d_{ik}} \sqrt{1 - 2 \frac{d_{ik} d_{kc}}{a_0^2} \cos \alpha_{ik} + \left(\frac{d_{ik} d_{k0}}{a_0^2} \right)^2} \end{aligned} \right\} (2)$$

— частичные параметры рассматриваемой линии.

Выражения для комплексных сопротивлений проводников здесь записаны без учета действия эффекта близости, поскольку в рассматриваемом диапазоне его влияние на величины Z_k , Z_{ik} незначительно. Точное решение системы (1) громоздко. Однако рельсы или троллеи контактной сети составляют группы проводников, находящиеся в примерно одинаковых условиях. Это позволяет с некоторым приближением представить каждую такую группу одним эквивалентным проводником с новыми усредненными параметрами.

В общем случае все проводящие системы контактной сети можно разбить на три группы: троллеи, рельсы и дополнительные проводники, которые в нашем случае представлены проводом 7 (рис. 1).

Усредненные параметры найдем, принимая следующие приближенные условия:

1) токи в обоих троллеях одинаковые и в сумме составляют ток I_T

$$I_1 = I_2 = \frac{I_T}{2}, \quad (3)$$

2) токи, идущие по каждому рельсу, одинаковые и в сумме составляют ток I_P :

$$I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = \frac{I_P}{4}. \quad (4)$$

После замены в уравнениях системы (1) токов I_1 , I_2 и т. д. на токи I_T , I_P , I_n получаем следующие три уравнения:

$$\left. \begin{aligned} I_T(Z_T - \gamma^2 K_T) + I_P Z_{TP} + I_n Z_{Tn} &= 0, \quad (a) \\ I_T Z_{TP} + I_P Z_P + I_n Z_{nP} &= 0, \quad (б) \\ I_T Z_{Tn} + I_P Z_{nP} + I_n Z_n &= 0, \quad (в) \end{aligned} \right\} (5)$$

при этом

$$Z_T = \frac{Z_1 + Z_{12}}{2} \approx \frac{Z_2 + Z_{12}}{2},$$

или в раскрытом виде

$$\left. \begin{aligned} Z_T &= \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ \frac{S_T}{2} + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_T} \right\}, \\ Z_P &= \frac{j \omega \mu_0}{2\pi} \left\{ \frac{S_P}{4} + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_P} \right\}, \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_n &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ S_n + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_n} \right\}, \\ Z_{тр} &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ S_0 + \ln \frac{a_0}{d_{тр}} \right\}, \\ Z_{рп} &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ S_0 + \ln \frac{a_0}{d_{рп}} \right\}, \\ Z_{тп} &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ S_0 + \ln \frac{a_0}{d_{тп}} \right\}, \\ K_r &= \frac{K_1 + K_{12}}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} a_r &= \sqrt{a_1 d_{12}}, \\ a_p &= \sqrt[8]{a_3^3 d_{24} d_{35} d_{36} d_{45} d_{46} d_{56}}, \\ a_n &= a_7, \\ d_{тр} &= \sqrt[4]{d_{13} d_{14} d_{15} d_{16}}, \\ d_{рп} &= \sqrt{d_{57} d_{47} d_{57} d_{67}}, \\ d_{тп} &= \sqrt{d_{17} d_{27}}. \end{aligned}$$

Если участок контактной сети однопутный, то

$$\left. \begin{aligned} Z_r &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ S_r + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_r} \right\}, \text{ где } a_r = a_1, \\ Z_p &= \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left\{ \frac{S_p}{2} + S_0 + \ln \frac{a_0}{a_p} \right\}, \text{ где } a_p = \sqrt{a_3 d_{24}}, \\ d_{тр} &= d_{13} = d_{14}, \quad d_{тп} = d_{17}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Первичные параметры контактной сети

Обратимся к системе (5). Уравнения (5б) и (5в) позволяют определить соотношения между током в троллее и током в рельсах или током в дополнительном проводе:

$$I_p = -D_p I_r, \quad I_n = -D_n I_r, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} D_p &= \frac{Z_r Z_n - Z_{тп} Z_{пр}}{Z_n Z_p - Z_{пр}^2}, \\ D_n &= \frac{Z_{тп} Z_p - Z_{тр} Z_{пр}}{Z_n Z_p - Z_{пр}^2}. \end{aligned}$$

Если же контактная сеть не имеет дополнительных проводников, то

$$D_n = 0, \quad D_p = \frac{Z_{тр}}{Z_p}. \quad (9)$$

Если подставим равенства (8) в уравнение (5а), то получим:

$$I_r (Z_r - D_p Z_{тр} - D_n Z_{тп} - \gamma^2 K_r) = 0. \quad (10)$$

К такому же равенству мы придем, если будем рассматривать однопроводную линию. На основании этой аналогии находим выражения для полного сопротивления и полной проводимости* контактной сети:

$$Z_{кс} = Z_r - D_p Z_{тр} - D_n Z_{тп}, \quad (а) \quad (11)$$

$$Y_{кс} \approx j\omega C_{кс} \approx \frac{1}{K_r}. \quad (б)$$

Определение емкости не представляет особых затруднений:

$$C_{кс} = \frac{1}{j\omega K_r}. \quad (12)$$

Для однопутного участка контактной сети

$$C_{кс} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h_r}{a_1} \left(1 - \frac{h_r}{2g_0}\right)}. \quad (12а)$$

Для двухпутного участка

$$C_{кс} = \frac{4\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h_r}{a_1} \left(1 - \frac{h_r}{2a_0}\right) + \ln \frac{a_0}{d_{12}} \sqrt{1 - 2 \frac{d_{10} \cdot d_{20}}{a_0^2} \cdot \cos \alpha_{12} + \frac{d_{10}^2 d_{20}^2}{a_0^4}}}. \quad (12б)$$

Кроме этого, при определении емкости контактной сети нужно учитывать емкость изоляторов.

Действительная часть выражения (11а) представляет активное сопротивление K_r ($R_{кс}$), а мнимая часть ($j\omega L_{кс}$) определяет индуктивность.

Приступим к определению отдельно формул для индуктивности и активного сопротивления контактной сети, при этом начнем с наиболее простого случая, когда контактная сеть не содержит дополнительных проводящих систем.

$$\text{Так как } D_n = 0, \quad D_p = \frac{Z_{тр}}{Z_p},$$

то

$$Z_{кс} = Z_r - D_p Z_{тр}. \quad (13)$$

D_p — комплексная величина. Абсолютное значение ее всегда меньше единицы, так как по рельсам протекает не весь обратный ток, а лишь часть его.

Обозначая каждое $S = \alpha - j\beta$, подставим значения сопротивлений $Z_{тр}$, Z_p (6) в (9). Если теперь отделить действительную часть выражения от мнимой, получим:

$$\begin{aligned} D_p = A_p + jB_p &= \frac{\left(\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{d_{тр}}\right) \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_p}{2n} + \ln \frac{a_0}{a_p}\right) + \beta_0 \left(\beta_0 + \frac{\beta_p}{2}\right)}{\left(\alpha_0 + \frac{\alpha_p}{2n} + \ln \frac{a_0}{a_p}\right)^2 + \left(\beta_0 + \frac{\beta_p}{2}\right)^2} - \\ &- j \frac{\beta_0 \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_p}{2n} + \ln \frac{a_0}{a_p}\right) - \left(\beta_0 + \frac{\beta_p}{2}\right) \left(\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{d_{тр}}\right)}{\left(\alpha_0 + \frac{\alpha_p}{2n} + \ln \frac{a_0}{a_p}\right)^2 + \left(\beta_0 + \frac{\beta_p}{2}\right)^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

* Активная составляющая утечки проводимости определяется экспериментальным путем.

В случае однопутного участка контактной сети $\ln \frac{a_0}{a_p}$ равен 1,9; в случае двухпутного — 1,3.

Выражение (14) можно упростить, если учесть, что правые слагаемые знаменателя и числителя действительной части D_p невелики (см. табл. 1 [9]):

$$D_p = A_p - j \frac{\beta_0 \left(\alpha_0 + \ln \frac{d_{tp}}{a_p} \right) - \beta_p \left(\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{d_{tp}} \right)}{\left(\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{a_p} \right)^2},$$

где

$$A_p \approx \frac{\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{d_{tp}}}{\alpha_0 + \ln \frac{a_0}{a_p}}. \quad (15)$$

По своей величине $A_p \approx |D_p|$, т. е. под величиной A_p можно понимать коэффициент пропорциональности между током в рельсах и током в троллее.

После подстановки (15)* в (13) и соответствующих алгебраических преобразований получаем окончательные формулы:

$$\left. \begin{aligned} L_{kc} &= \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\left(\ln \frac{a_0}{a_r} + A_p \ln \frac{a_0}{d_{tp}} \right) + \alpha_0 (1 - A_p) + \frac{\alpha_r}{n} \right], \quad (a) \\ R_{kc} &= \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left[\beta_0 (1 - A_p)^2 + \frac{\beta_p}{2n} A_p^2 + \frac{\beta_r}{n} \right], \quad (б) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где n — число путей.

Если же рассматривать контактную сеть, содержащую дополнительные проводящие системы, то, как показывает анализ, получаются совершенно аналогичные формулы:

$$\left. \begin{aligned} L_{kc} &= \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\left(\ln \frac{a_0}{a_r} - A_p \ln \frac{a_0}{d_{tp}} - A_n \ln \frac{a_0}{d_{tn}} \right) + \alpha_0 (1 - A_p - A_n) + \frac{\alpha_r}{n} \right], \quad (a) \\ R_{kc} &= \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left[\beta_0 (1 - A_p - A_n)^2 + \frac{\beta_p}{2n} A_p^2 + \beta_n A_n^2 + \frac{\beta_r}{n} \right], \quad (б) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_p &\approx \frac{\alpha_0 \ln \frac{d_{np} d_{tn}}{d_n d_{pt}} + \ln \frac{a_0}{d_{tp}} \cdot \ln \frac{a_0}{d_n} - \ln \frac{a_0}{d_{np}} \cdot \ln \frac{a_0}{d_{tn}}}{\alpha_0 \ln \frac{d_{np}^2}{a_p a_n} + \ln \frac{a_0}{a_p} \cdot \ln \frac{a_0}{a_n}}, \\ A_n &\approx \frac{\alpha_0 \ln \frac{d_{np} d_{tp}}{a_p \cdot d_{nt}} + \ln \frac{a_0}{d_{nt}} \cdot \ln \frac{a_0}{a_p} - \ln \frac{a_0}{d_{np}} \cdot \ln \frac{a_0}{d_{tp}}}{\alpha_0 \ln \frac{d_{np}^2}{a_p a_n} + \ln \frac{a_0}{a_p} \cdot \ln \frac{a_0}{a_n}}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Анализируя выражения (16а, 17а), мы видим (рис. 2), что индуктивность контактной сети определяется в первую очередь ее конструкцией (однопутная, двухпутная и т. д.). Так, индуктивность двухпутного участка контактной сети почти в 2 раза меньше, чем индуктивность однопутного (составляет 50—60%).

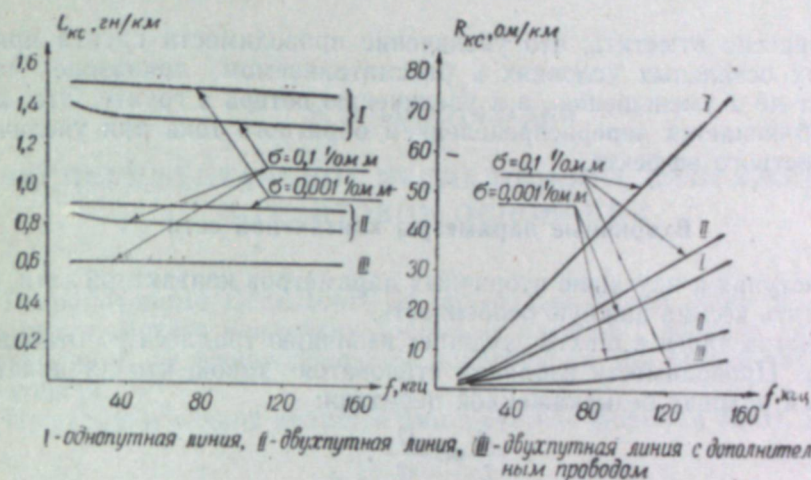


Рис. 2.

Присутствие дополнительных проводящих систем приводит к уменьшению индуктивности. Физически это объясняется тем, что дополнительный провод, особенно если он ближе к троллею, чем рельсы, берет на себя значительную долю обратного тока, уменьшая тем самым расстояние между прямым и обратным током.

Зависимость индуктивности контактной сети от частоты и проводимости почвы сравнительно небольшая. Из графика (рис. 2) видно, что изменение проводимости в 100 раз приводит к изменению индуктивности всего на 10%. Увеличение частоты также приводит к уменьшению индуктивности на несколько процентов. Это происходит вследствие поверхностного эффекта в проводах и, в частности, в грунте.

Сопротивление контактной сети зависит от сечения проводов радиуса выработки и в значительной степени от распределения тока между проводами и грунтом. Однако доля потерь в троллеях, рельсах, дополнительных проводах обычно, по сравнению с потерями в грунте, небольшая: сопротивление, вносимое этими проводами, составляет единицы Ом, а сопротивление, обусловленное потерями в грунте, десятки Ом.

По этой причине, а также потому, что проводимость грунта известна не всегда достаточно точно (а это может внести в расчет ошибки большего порядка, чем сопротивление, обусловленное проводами), можно принять:

$$R_{kc} \approx \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \beta_0 (1 - A_p - A_n)^2. \quad (19)$$

Исключение составляет случай, когда контактная сеть содержит большое количество проводов, лежащих на грунте, например двухпутная контактная сеть, вдоль которой проложены вентиляционные трубы, кабели и т. д.

С увеличением частоты сопротивление потерь в грунте быстро растет. С одной стороны, это объясняется тем, что с увеличением частоты оказывает действие поверхностный эффект. С другой стороны, поверх-

ностный эффект уменьшает взаимные индуктивности между троллеем и рельсами, между троллеем и дополнительными проводами. При этом в рельсах и дополнительных проводах наводится меньшая э.д.с., а поэтому и обратный ток перераспределяется из металлических проводов в грунт, растет $(1 - A_p - A_n)$, тем самым увеличивая активные потери в грунте.

Интересно отметить, что увеличение проводимости грунта при неизменных остальных условиях в рассматриваемом диапазоне частот приводит не к уменьшению, а к увеличению потерь в грунте. Это, как и выше, объясняется перераспределением обратного тока при увеличении поверхностного эффекта.

Вторичные параметры контактной сети

Приступая к изучению вторичных параметров контактной сети, нужно отметить весьма важную особенность.

Избыток влаги в шахте ухудшает изоляцию троллеев по отношению к грунту. Проводимость изоляции становится такой, что начинает выполняться условие безыскаженной передачи:

$$\frac{R}{L} \approx \frac{G}{C}$$

Это позволяет вести расчет вторичных параметров по следующим формулам:

волновое сопротивление

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

затухание

$$\beta = \frac{R}{Z_c}$$

Волновое сопротивление различно для различных видов контактных сетей и, как показывают расчет и измерения, равно 260 ом в случае однопутного участка и 160 ом в случае двухпутного участка.

Когда контактная сеть содержит дополнительные проводящие системы, волновое сопротивление меньше указанных значений. Например, для двухпутного участка в присутствии вентиляционной трубы диаметром $d=30$ см $Z_c = 130$ ом. Снижение волнового сопротивления происходит за счет уменьшения индуктивности.

Километрическое затухание контактной сети мало зависит от конструкции линии. Объясняется это тем, что для двухпутного участка, по сравнению с однопутным, в 2 раза меньше не только сопротивление контактной сети $R_{кст}$, но и волновое сопротивление. Величина затухания контактной сети на частотах 50—60 кгц составляет около 0,1 неп.

Институт горного дела
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
7/IV 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Абрамов, А. А. Ильин, Определение частичных параметров контактной сети шахты. Изв. СО АН СССР, № 9, 1959.
2. А. А. Ильин, Исследование распространения электромагнитных волн по разветвленным контактным сетям шахты. Канд. дисс., Харьк. гор. ин-т. Харьков, 1959.

М. П. БОЛШТЯНСКИЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Разработанный СоюзДорНИИ под руководством проф. Н. Н. Иванова метод расчета нежестких дорожных одежд [1], основан на анализе напряженного состояния дорожной конструкции при воздействии колеса автомобиля.

При этом исходной является эмпирическая формула М. И. Якунина:

$$\sigma_z = \frac{P}{1 + \left(\frac{H_z}{D}\right)^2}, \quad (1)$$

где σ_z — вертикальное напряжение на глубине H_z под центром круглого штампа,

P — среднее давление по подошве штампа,

D — диаметр штампа.

Эксперименты, послужившие базой для вывода зависимости (1), проводились в период весеннего размягчения грунтовых оснований [2—4].

Однако во многих областях Советского Союза размягченный слой грунтового основания в процессе оттаивания подстилается более жестким, еще не оттаявшим грунтом (мерзлым донником).

Таблица 1

Напряжение на контакте упругого слоя с полупространством под центром квадратного штампа в зависимости от соотношения E слоя и E_0 полупространства

$\frac{H}{b}$	γ		
	0	1	3
0,5	1,027	0,695	0,490
1,0	0,541	0,336	0,174
1,5	0,298	0,194	0,088
2,0	0,186	0,114	0,054
5,0	0,032	0,019	0,012

Примечание: H — толщина слоя,
 b — ширина штампа,
 E — модуль упругости слоя,
 E_0 — модуль упругости полупространства,
 $\gamma = \frac{E}{E_0}$.

Из теории упругости известно, что наличие более жесткого подстилающего основания, чем вышележащий слой, вызывает увеличение по сравнению с однородным полупространством напряжений в этом слое [5, 6]. Для иллюстрации этого положения приведем табл. 1, составленную по данным [7, 8.]

В табл. 2 приведено отношение напряжений на контакте упругого слоя с полупространством к напряжениям в однородном полупространстве в зависимости от соотношения $\frac{E}{E_0}$ для тех же значений γ , что и в табл. 1. Назовем это отношение коэффициентом концентрации K . Как видно из табл. 2, величина коэффициента концентрации K при $\gamma = 0$ изменяется в узких пределах: $\pm 6\%$ от средней величины $K_{cp} = 1,58$, что позволяет с достаточной для практики точностью брать его величину

Таблица 2
Значение коэффициента концентрации в зависимости от $\frac{H}{b}$ и γ

$\frac{H}{b}$	K при γ		
	0	1	3
0,5	1,4	1,0	0,705
1	1,00	1,0	0,520
1,5	1,53	1,0	0,455
2	1,63	1,0	0,475
5,0	1,68	1,0	0,630

постоянной, равной среднему значению. Для построения ориентировочной кривой соотношения коэффициента K и γ в интервале γ от 0 до 1 воспользуемся осредненной величиной коэффициента K из табл. 2 и известным характером этой зависимости [6].

Величина коэффициента K при $\gamma = 3$ варьирует в зависимости от относительной толщины слоя на $\pm 20\%$, однако это почти не влияет на величину ординат при построении кривой зависимости K от γ в диапазоне γ от 0 до 1.

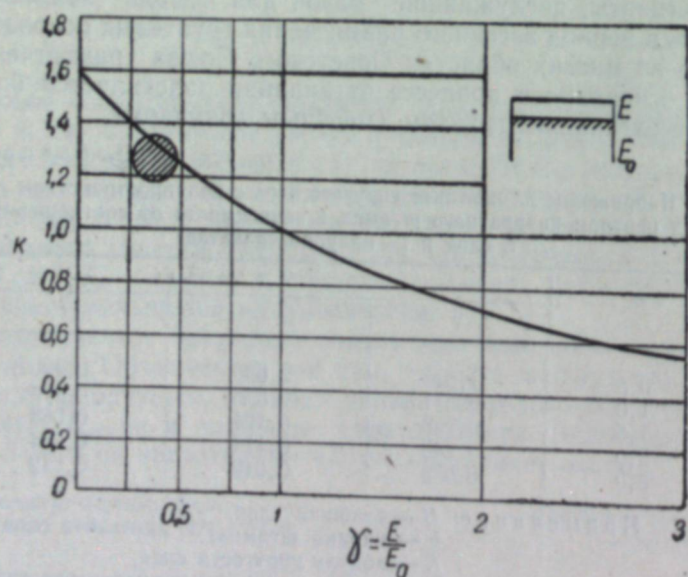


Рис.

Таким образом, имея три точки и зная общий характер кривой [6], можно построить зависимость коэффициента K от γ в интервале γ от 0 до 1. Эта зависимость представлена на рисунке.

Как видно из рисунка, заметное влияние более жесткого полупространства наблюдается уже при $\gamma = 0,75$.

Ввиду того, что характер затухания напряжений с глубиной одинаков для круглого и квадратного штампа, величина коэффициента K будет для круга и квадрата одинаковой.

Для экспериментальной оценки влияния мерзлого донника на напряженное состояние слоя грунта в основании дороги были проведены опыты в натуральных условиях. Результаты их излагаются ниже.

Работа проводилась на опытном участке дороги лабораторией ледотехники и мерзлотоведения Транспортно-энергетического института СО АН СССР.

Участок дороги имеет нулевой профиль с хорошо обеспеченным водоотводом за счет продольного уклона. Покрытие дороги — щебеночная кора толщиной 8 см с поверхностной обработкой.

Наблюдения за водно-тепловым режимом участка велись с весны 1958 г. до весны 1959 г., когда и были проведены основные эксперименты. Результаты показали, что грунтовое основание шоссе не подвержено пучению в зимний период и не переувлажняется весной. Грунт опытного участка — лессовидный суглинок, типичный для южной части Западной Сибири.

Характеристики грунта:

- предел текучести — 29%,
- предел раскатывания в шнур — 17,2%,
- число иластичности — 11,8,
- оптимальная влажность — 19%,
- оптимальная плотность — 1,62 г/см³.

Распределение напряжений в грунте исследовалось при помощи электротензометрических динамометров системы ЦНИИ МПС с модулем упругости 440 кг/см². Динамометр представлял собой круглую металлическую коробку диаметром 50 мм и высотой 22 мм, покрытую смесью эмалевой краски с грунтом. Такое покрытие приближало угол трения динамометра по грунту к углу внутреннего трения грунта. Между дном и крышкой динамометра находились С-образные упругие элементы, с наклеенными на них проволочными тензодатчиками сопротивления. В качестве регистрирующей аппаратуры применялся электронный мост УИД-11. Статическое давление на динамометр определялось по разности показаний реохорда электронного моста при нулевом положении гальванометра. Одно деление реохорда соответствовало давлению 0,01 кг/см² на крышку динамометра.

Динамометры тарировались под обычным прессом, а также в грунте в специально сконструированном одометре с размерами камеры 40×40×40 см. Динамометр закладывался в камеру одометра одновременно с засыпкой рыхлого грунта заданной влажности. Затем грунт уплотнялся прессованием до состояния, имевшего место в полевых условиях. Создавая в одометре известное поле вертикальных напряжений путем приложения контролируемой нагрузки к крышке одометра, определяли коэффициент перегрузки динамометра как отношение давления, действующего на помещенный в грунт динамометр, к фактическому напряжению в одометре.

Испытания динамометров в одометре показали, что с точностью 5% характеристика динамометра линейна при напряжениях в зоне закладки динамометра от 0 до 2 кг/см². Одновременно проводилась тарировка динамометра в стабилометре диаметром 10 см при отношении бокового давления к вертикальному 0,5, что близко к коэффициенту Пуассона для связных грунтов. Заметной разницы в поведении динамометра не было обнаружено.

Таким образом, экспериментально была установлена пригодность динамометров данной конструкции для измерения напряжений в грунте. Как известно, свежеутрамбованный грунт повышает свой модуль деформации на 20—30% в течение 48 часов после трамбования в результате улучшения связи между частицами грунта за счет водных пленок. Это явление было отмечено и в наших опытах. Специально проведенные испытания в лабораторных и полевых условиях показали, что это упрочнение заметным образом не сказывается на показаниях динамометра.

Динамометры укладывались в шурфы, вырытые в грунтовом основании, размером $0,9 \times 0,9$ м по верху и $0,7 \times 0,7$ м по низу на мерзлый донник при глубине оттаивания 0,5 м. Всего подобным образом было устроено 5 шурфов. После укладки динамометров шурфы засыпались грунтом с уплотнением послойно ручной трамбовкой. Когда слой грунта достигал заданной величины, производилось нагружение штампом $D=25$ см с помощью полевого пресса ХАДИ. После очередного нагружения, во время которого брались показания динамометров и данные для построения кривой вдавливания штампа, производилась дальнейшая засыпка шурфа. Опыты проводились в соответствии с общепринятой методикой измерения модуля деформации грунта [9].

Датчики были затем оставлены в грунте на весь период оттаивания мерзлого донника. После окончательного оттаивания грунта на всю глубину снова были произведены нагружения в шурфах с послойным снятием грунта и установкой штампа на тех же горизонтах, что и в первой серии нагружений. Одновременно брались пробы грунта из шурфов. Анализ проб показал, что влажность и плотность практически не изменились за время оттаивания донника.

Описанная методика исключала необходимость перекладки динамометра, что обеспечило возможность четко выявить влияние более жесткого мерзлого донника на распределение напряжений. Степень уплотнения грунта была принята такой, чтобы после оттаивания мерзлого донника модуль деформации его был равен модулю деформации грунта в шурфе.

Состояние грунта в шурфе во время опытов было следующим: влажность — 18%, плотность — $1,46 \text{ г/см}^3$, модуль деформации при $\lambda = 0,01$ — 110 кг/см^2 .

Модуль деформации мерзлого донника, определявшийся по кривой вдавливания штампа, составлял 350 кг/см^2 при $\lambda=0,01$. Горизонт оттаивания при шурфовке определялся по резкому возрастанию трудности разработки грунта. Одновременно измерялась температура грунта с точностью $0,05^\circ\text{C}$ при помощи термометра сопротивления.

Результаты измерения напряжений в грунте по вертикали, проходящей через центр штампа, даны на рисунке в виде круга с центром в точке, равной среднеарифметическому значению коэффициента концентрации из 10 определений. Радиус круга равен среднеквадратичному отклонению из результатов опытов.

Как видно из рисунка, данные эксперимента хорошо согласуются с теорией. Наблюдавшаяся в опытах несколько меньшая по сравнению с данными [5], концентрация напряжений объясняется наличием трения в плоскости контакта мерзлого и талого грунтов.

Проведенное исследование показывает, что в некоторых случаях напряжения в грунтовых основаниях дорог в весенний период превышают напряжения в однородном грунте вследствие влияния мерзлого донника.

Выводы

1. Наличие мерзлого донника в период оттаивания вызывает увеличение напряжений в оттаявшем грунте, приблизительно соответствующее данным теории упругости.

2. При проектировании дорожных одежд в разных климатических зонах следует принимать во внимание влияние водно-теплового режима грунтового основания на величину напряжений, для чего следует экспериментально установить величину γ в зависимости от климатических и гидрогеологических условий.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
11/III 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование дорожных одежд. Автотрансиздат, М., 1955.
2. В. Ф. Бабков, Напряжения в грунтовых основаниях дорожных одежд. Тр. ДорНИИ, вып. 3. Исследования по механике дорожной одежды. Дориздат, 1941.
3. А. А. Иноземцев, Сопротивление нагрузке нежестких дорожных покрытий и грунтовых оснований по данным экспериментальных исследований. Тр. ДорНИИ, вып. 3. Исследования по механике дорожной одежды. Дориздат, 1941.
4. Н. А. Пузаков, Исследование напряжений и деформаций грунтов и дорожных одежд при статической нагрузке. Тр. ДорНИИ, вып. 3. Исследования по механике дорожной одежды. Дориздат, 1941.
5. М. И. Горбунов-Посадов, Осадки фундаментов на слое грунта, подстилаемом скальным основанием. Стройиздат, 1946.
6. K. Marguerre, Spannungsverteilung und Wellenausbreitung in der kontinuierlich gestützten Platte. Ingenieur-archiv, Bd. IV, 1933.
7. М. Б. Корсунский, Приближенный метод определения вертикальных смещений дорожной одежды и распределения давлений на подстилающий грунт в условиях пространственной задачи. Сб. «Исследование прочности дорожных одежд». Автотрансиздат, М., 1959.
8. Н. А. Цытович, Механика грунтов, М., 1951.
9. Н. А. Пузаков, Исследование прочности дорожных одежд и грунтов при помощи передвижного пресса. Сб. «Исследование прочности дорожных одежд». Автотрансиздат, М., 1959.

А. П. ТЫРТИКОВ

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА СОСТАВА И СВОЙСТВ СЕЗОННОТАЛОГО, СЕЗОННОМЕРЗЛОГО СЛОЕВ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОЙ ТОЛЩИ В ИГАРСКОМ РАЙОНЕ

Еще Б. Н. Городков [1] показал, что по растительному покрову можно отграничить участки с многолетнемерзлыми породами от территории, где распространены немерзлые отложения. В дальнейшем было установлено, что участки, занятые различными растительными сообществами, отличаются друг от друга глубиной залегания верхней поверхности многолетнемерзлой толщи и ее температурой [2, 3]. Изучение растительных сообществ с целью выяснения некоторых различий многолетнемерзлой толщи под ними становится неперемным условием геокриологической съемки [3—5]. Однако этим вопросам до сих пор уделялось очень мало внимания, поэтому методика геокриологической съемки слабо разработана, а индикаторная роль растительности почти не выяснена.

В данной статье подводятся важнейшие итоги исследований, основной целью которых было выяснение возможностей использования растительности в качестве индикатора состава и свойств сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи.

При постановке этих исследований автор исходил из следующих главных положений, установленных геокриологией и смежными науками.

1. Развитие того или иного растительного сообщества определяется всей совокупностью условий среды, и с изменением этих условий происходит смена растительности.

2. Растительный покров, находящийся на границе атмосферы и литосферы, активно участвует в теплообмене между ними, в значительной мере определяя условия формирования температурного режима горных пород [6].

3. Растительность является индикатором состава почв [7] горных пород, уровня и степени минерализации грунтовых вод [8], условий дренажа, рельефа [8, 9], т. е. важнейших природных факторов, оказывающих непосредственное влияние на протаивание, промерзание грунтов и формирование многолетнемерзлой толщи.

Исследования проводились в 1957—1959 гг. в окрестностях г. Игарки в пределах надпойменной террасы Енисея. Терраса шириною более 20 км сложена древнеаллювиальными суглинками, супесями и кое-где встречающимися песками, на некоторых участках эти отложения перекрыты торфом мощностью до 6 м. Поверхность ее слабо всхолмленная, местами бугристая, нередко встречаются почти горизонтальные участки. В пределах террасы выделяются следующие элементы рельефа:

1) всхолмления шириною в несколько сотен метров и длиной 1—2 км, возвышающиеся над разделяющими их понижениями на 5—15 м. Они покрыты преимущественно лесной растительностью;

2) бугры, возвышающиеся на 2—10 м над понижениями между ними, ширина бугров варьирует от 10 до нескольких сотен метров (в районе Игарки встречаются два типа бугров: безлесные бугры, сложенные с поверхности торфом мощностью больше 0,5 м, и бугры, покрытые лесной растительностью и сложенные с поверхности суглинками);

3) горизонтальные участки террасы, покрытые в основном лесной растительностью;

4) озерно-болотные понижения, расположенные между буграми и всхолмлениями, заняты преимущественно водно-болотной растительностью.

В начале лета 1957 г. производился рекогносцировочный осмотр данной территории, в ходе которого были уточнены и закреплены на местности 18 линий профилей, пересекающих названные выше элементы рельефа в меридиональном и широтном направлениях. Вдоль линий профилей были намечены и зафиксированы на местности (путем установки вешек с порядковым номером) более 400 пунктов с таким расчетом, чтобы охватить все растительные ассоциации, пересекаемые профилями. В течение лета 1957 г. растительные ассоциации были охарактеризованы по общепринятой методике [10]. При характеристике ассоциаций особое внимание обращалось на те черты растительного и почвенного покрова, которые оказывают существенное влияние на теплообмен между почвой и атмосферой и на протаивание и промерзание почвы (сомкнутость крон древесных и кустарниковых ярусов, степень покрытия почвы травами и кустарниками, видовой состав растительных ярусов и их высота). При характеристике почв главное внимание обращалось на их состав, на наличие или отсутствие в почвах и на поверхности мертвых органических остатков, измерялась мощность торфянистого горизонта и подстилки.

В отмеченных вехах пунктах, количество которых в каждой ассоциации колебалось от 5 до 15, ежедекадно определялась глубина протаивания почвы в течение всего теплого периода и глубина ее промерзания в конце зимы. В наиболее типичных условиях, в пределах всех элементов рельефа, были пробурены скважины для исследования состава и свойств многолетнемерзлой толщи. Материалы, полученные в процессе полевых и камеральных работ, позволили выделить на изучаемом участке типы сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи, различающиеся по литологическому составу и ряду других признаков. Распространение типов сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи было сопоставлено с распределением растительных ассоциаций. При этом была установлена строгая приуроченность растительных ассоциаций к определенным типам сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи.

Каждая растительная ассоциация встречается только на участках, занятых каким-либо одним типом сезонноталого (сезонномерзлого) слоя и многолетнемерзлой толщи и не распространена в пределах других типов. Типы сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи четко отграничиваются друг от друга на местности по растительному покрову. Границы отдельных типов совпадают с линиями, разделяющими растительные ассоциации-индикаторы этих типов.

Наиболее распространенные типы сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи сведены в таблицу, в которой указаны литологический состав, распространение и ассоциации-индикаторы каждого типа, максимальные глубины протаивания и промерзания почв, глубина залегания верхней поверхности, температура, мощность и состояние многолетнемерзлой толщи, а также криогенные явления.

Ассоциацион-индикаторы типов сезонного, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи в районе Игарки

Таблица 5

Ассоциацион-индикаторы	Распространение ассоциаций по элементам рельефа	Типы сезонного и сезонномерзлого слоев			Типы многолетнемерзлой толщи						
		названия типов**	мощность торфянистого горизонта	максимальная глубина протаивания за многолетний период (см)	№ типа	состав толщи	температура, °С	мощность (м)	глубина залегания верхней поверхности (см)	состояние	критерии
Лишайниковый багульник (<i>Ledum palustre</i> — <i>Cladonia alpestris</i>)	Вершины и верхние части склонов торфяных бугров	1. Торфяной	—	—	I	Суглинки, перекрытые торфом, мощностью 0,5—6,0 м	-0,3—-1,7	10—35	—	Устойчивое	Пучение, оползани, термокарст у основания верхних и западных склонов бугров
Брусничный багульник (<i>Ledum palustre</i> — <i>Vaccinium vitis idaea</i>)	Крутые (10—30°) склоны торфяных бугров	2. Торфяно-суглинчатый	Больше 20 см	40—70	—	—	—	30—70	—	—	—
Багульниковый ерник (<i>Betula nana</i> — <i>Ledum palustre</i>)	Нижние части крутых южных и восточных склонов торфяных бугров	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Вересковый голубичник (<i>Lyonia calyculata</i> — <i>Vaccinium uliginosum</i>)	Основания южных и восточных склонов торфяных бугров	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Березово-моршковое редколесье (<i>Betula pubescens</i> — <i>Rubus chamaemorus</i>)	Северные склоны бугров и всхолмлений	3. Торфянисто-суглинчатый	Меньше 20 см	40—90	—	Суглинки	-0,2—-0,5	15—25	30—120	Устойчивое	Оползани на крутых склонах, термокарст у основания склонов бугров
Редкостойный брусничник березняк (<i>Betula pubescens</i> — <i>Vaccinium vitis idaea</i>)	Крутые (10—20°) склоны бугров и всхолмлений (кроме северных)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Березово-зеленомоховое редколесье (<i>Betula pubescens</i> — <i>Pleurozium Schreberi</i>)	Вершины и верхние части склонов бугров и всхолмлений	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкостойный бруснично-багульниковый березняк (<i>Betula pubescens</i> — <i>Ledum palustre</i> — <i>Vaccinium vitis idaea</i>)	Вершины всхолмлений и бугров	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкостойный зеленомоховой смешанный лес (<i>Betula pubescens</i> — <i>Larix sibirica</i> — <i>Picea obovata</i> — <i>Pleurozium Schreberi</i> — <i>Hylacomium proliferum</i>)	Горизонтальные участки и пологие склоны всхолмлений	4. Суглинчатый	Нет	65—110	—	—	—	—	—	—	—
Березняк с подлеском из ольхи (<i>Betula pubescens</i> — <i>Alnus fruticosa</i>)	Горизонтальные участки и пологие склоны всхолмлений	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разнотравный березняк (<i>Betula pubescens</i> — <i>Callamagrostis Langsdorffii</i>)	Южные и восточные склоны бугров и всхолмлений	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкостойный лишайниковый елово-березовый лес (<i>Betula pubescens</i> — <i>Picea obovata</i> — <i>Cladonia alpestris</i>)	Горизонтальные участки и пологие склоны всхолмлений	5. Торфянисто-супесчаный	Меньше 20 см	75—120	—	Супеси	—	—	65—120	Устойчивое	Нет
Редкостойный березняк с подлеском из ольхи (<i>Betula pubescens</i> — <i>Pleurozium Schreberi</i> — <i>Hylacomium proliferum</i>)	Горизонтальные участки и пологие склоны всхолмлений	1. Торфянисто-суглинчатый	Меньше 20 см	200	—	Суглинки	0,0—-0,2°	10—20	—	Перекрытая ледяная растрескивание	Термокарст
Редкостойный березняк с подлеском из ольхи (<i>Betula pubescens</i> — <i>Alnus fruticosa</i> — <i>Hylacomium proliferum</i>)	Горизонтальные участки и пологие склоны всхолмлений	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкостойный черничный березняк (<i>Betula pubescens</i> — <i>Vaccinium myrtillus</i>)	Северные и западные склоны бугров	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкостойный заболоченный березняк (<i>Betula pubescens</i> — <i>Polytrichum commune</i> — <i>Aulacomnium palustre</i> — <i>Hylacomium proliferum</i>)	Пологие всхолмлений, прилегающие к заболоченным понижениям	1. Торфянисто-суглинчатый	Меньше 20 см	200	—	Суглинки	Около 0,0°	1—10	—	Неперемежающаяся ледяная растрескивание	Термокарст
Долгомошниковое елово-березовое редколесье (<i>Betula pubescens</i> — <i>Picea obovata</i> — <i>Polytrichum commune</i>)	Горизонтальные участки	2. Торфянисто-супесчаный	Меньше 20 см	250	—	Супеси	Около 0,0°	—	—	Перекрытая ледяная растрескивание	Нет

Ассоциации-индикаторы	Распространение ассоциаций по элементам рельефа	Типы сезонноталого и сезонномерзлого* слоев			Типы многолетнемерзлой толщи							
		названия типов**	мощность торфянистого (торфяного) горизонта	максимальная глубина протаивания (промерзания) за многолетний период (см)	№ типа	состав толщи	температура	мощность (м)	глубина залегающей поверхности (см)	состояние	хроматинные элементы	
Осоковое болото с преобладанием <i>Carex inflata</i>												
Осоково-сфагновое болото с преобладанием <i>Carex rotundata</i>												
Осоково-хвощево-сфагновое болото (<i>Carex inflata</i> — <i>Equisetum heliocharis</i> — <i>Sphagnum teres</i>)												
Осоково-сфагновое болото с преобладанием <i>Carex limosa</i>												
Вахтово-сфагновое болото (<i>Menyanthes trifoliata</i> — <i>Sphagnum squarrosum</i>)	Понижения между буграми и всхолмлениями	3, Торфяной	—	150								
Вахтовое болото (<i>Menyanthes trifoliata</i>)												
Сабельниковое болото (<i>Comarogum palustre</i>)												
Осоково-хвощево-сабельниковое болото (<i>Comarogum palustre</i> — <i>Equisetum heliocharis</i> — <i>Carex inflata</i>)												

* Первые 5 типов — сезонноталые, последние 3 типа — сезонномерзлые, для первых указана глубина протаивания, для вторых — глубина на промерзание;

** Названия типов даны по составу почвы.

Очевидно, что данные этой таблицы можно использовать для гео-криологического картирования как непосредственно на местности, так и на основании карт растительности или материалов аэрофотосъемки. Наиболее целесообразно это при составлении крупномасштабных (не менее 1 : 5000) карт и планов, так как район Игарки характеризуется значительным разнообразием условий рельефа, вследствие чего площадь отдельных участков растительных ассоциаций-индикаторов не превышает несколько сот квадратных метров, а часто измеряется десятками квадратных метров.

Что касается границ применения этих таблиц, то в 1959 г. было установлено, что отмеченные выше типы сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи с соответствующими ассоциациями-индикаторами широко распространены в южной части Дудинского района на участках, примыкающих к среднему и нижнему течению р. Хантайки. Следовательно, данные таблицы можно использовать для крупномасштабной гео-криологической съемки всего Игарского района и южной части Дудинского (в указанных пределах), за исключением предгорий и горных участков.

Следует оговорить, что в таблицу включены лишь те типы березовых лесов и редколесий, которые наиболее широко распространены в окрестностях г. Игарки. Что касается всего Игарского района, то для него характерны смешанные типы лесов и редколесий, распространенные на тех же элементах рельефа, что и соответствующие типы березовых лесов и редколесий, приведенные в таблице. Эти смешанные леса характеризуются примерно одинаковым участием в древостое трех основных пород: лиственницы, ели и березы. Иногда одна из хвойных пород доминирует, но примесь березы всегда значительна. Так, на горизонтальных участках и пологих склонах всхолмлений встречается не только березняк с подлеском из ольхи, но и смешанный лес с подлеском из ольхи (*Larix sibirica*—*Picea obovata*—*Betula pubescens*—*Alnus fruticosa*), березовый лиственничник с подлеском из ольхи (*Larix sibirica*—*Betula pubescens*—*Alnus fruticosa*) и еловый березняк с подлеском из ольхи (*Picea obovata*—*Betula pubescens*—*Alnus fruticosa*).

Эти три типа смешанных лесов с подлеском из ольхи так же, как и березняк с подлеском из ольхи, являются индикаторами суглинистого типа сезонноталого слоя и II типа многолетнемерзлой толщи (см. таблицу). За счет смешанных лесов и редколесий количество лесных ассоциаций-индикаторов увеличивается в 3—4 раза по сравнению с указанным в таблице.

В целом участки, покрытые лесной растительностью, характеризуются значительно большим разнообразием как гео-криологических условий, так и растительных сообществ по сравнению с болотами и торфяными буграми.

В таблице приведены только наиболее широко распространенные в Игарском районе болотные ассоциации. Установлено, что все типы переходных (мезотрофных) и низинных (эвтрофных) болот Игарского района являются индикаторами сезонномерзлого (преимущественно торфяного) слоя и распространены на участках, где нет многолетнемерзлой толщи.

Из ассоциаций торфяных бугров отмечены также наиболее широко распространенные в Игарском районе. Торфяные бугры, характеризующиеся повсеместным развитием сезонноталого слоя (за исключением нижних частей северных и западных склонов) и наиболее низкой температурой многолетнемерзлой толщи, настолько специфичны по форме, растительности (безлесные) и распространению (среди или около бо-

лот), что опознание их как на аэрофотоснимках, так и на местности не представляет затруднений.

Таким образом, выяснив приуроченность растительных сообществ к определенным типам сезонноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи в типичных небольших участках района, можно, используя растительность как индикатор, составить геокриологическую карту всего района со сходными физико-географическими условиями без дополнительных затрат средств на трудоемкие буровые, шурфовочные работы и различные наблюдения.

Комплекс детальных исследований по выяснению роли растительности как индикатора состава и свойств сезонноталого, сезонномерзлого слоев почвы и многолетнемерзлой толщи проведен только в Игарском районе. Постановка подобных исследований в других районах распространения многолетнемерзлых пород необходима как для геокриологического картирования, связанного непосредственно с освоением этой территории, так и для выяснения надежности этого метода при картировании типов многолетнемерзлой толщи в условиях, отличных от района Игарки. Что касается надежности этого метода при картировании сезонноталого и сезонномерзлого слоев почвы, то она установлена для многих районов. В районах, примыкающих с запада к Игарскому (в подзоне редкостойной тайги), необходимо уточнить границы применимости данной индикационной таблицы для геокриологического картирования.

Игарская научно-исследовательская
мерзлотная станция

Поступила в редакцию
23/III 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Городков, Вечная мерзлота в Северном крае. Тр. СОПС АН СССР, сер. северная, вып. 1. Изд. АН СССР, 1932.
2. Т. Голкин и др., Постоянномерзлые породы и грунтовые воды Аляски и Канады. Изд-во ИЛ, М., 1958.
3. В. К. Яновский, Методы исследования вечной мерзлоты в инженерно-строительных целях. Изд. АН СССР, 1951.
4. И. Я. Баранов, О методике составления мерзлотных карт. Тр. КОВМ, том VI, Изд. АН СССР, М.—Л., 1938.
5. Л. А. Мейстер, Общие указания по производству геокриологической съемки. В кн. Основы геокриологии, ч. II, гл. XII, § 2. Изд. АН СССР, 1959.
6. В. А. Кудрявцев, Температура, мощность и прерывистость толщ мерзлых пород. В кн. «Основы геокриологии», ч. I, гл. VIII. Изд. АН СССР, 1959.
7. Ю. А. Ливеровский, Использование аэрометодов в почвоведении. Почвоведение, № 6, 1957.
8. Б. В. Виноградов, О связи растительности с грунтовыми водами в степных ландшафтах Северного Казахстана и использование растительности в качестве индикатора при гидрогеологическом дешифрировании аэрофотоснимков. Изв. АН СССР, серия географ., № 1, 1958.
9. С. Б. Викторов, Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. М. Изд. АН СССР, 1955.
10. В. В. Алексин, География растений. Изд-во Сов. наука, 1951.

М. С. ОРЕНБАХ

ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ПРИ ВЫВЕТРИВАНИИ

Сжигание окисленных углей в энергетических установках встречает ряд трудностей, специфических для определенного вида топочных устройств. Следует выяснять, как изменяются реакционные свойства каменных углей при выветривании и не является ли их изменение причиной неудовлетворительного использования окисленных углей.

Исследованием процессов горения этих углей еще по существу никто не занимался. Между тем добыча их в 1960 г. только в Кузбассе составила 14 млн. т, или 20% от общей добычи. Это требует проведения широких исследований технологических свойств, в результате которых должны быть получены рекомендации по рациональному использованию окисленных углей в энергетике.

Влияние молекулярного механизма окисления на реакционные свойства углей

Химическая активность каменных углей в условиях горения в кинетическом режиме зависит от химического строения и пористой структуры угольного вещества, которые, в свою очередь, определяются петрографическим составом и стадией метаморфизма угля.

Петрографический состав углей при выветривании почти не изменяется, тем более у однородных фракций, которые применялись в опытах [1].

Изучение пористой структуры окисленных углей и их коксов, проведенное в Транспортно-энергетическом институте СО АН СССР, показало, что при выветривании характер изменения объема пор, удельных весов и удельной поверхности идентичен для углей разной стадии метаморфизма и определяется показателем окисленности угля.

Следовательно, молекулярное строение должно оказывать основное влияние на изменение реакционной способности окисленных углей разной стадии метаморфизма.

Анализ некоторых сторон процесса окисления углей удобнее делать, базируясь на теории макромолекулярного строения угольного вещества [2]. С целью проведения такого анализа была получена величина относительного количества углерода, входящего в ядерную часть основной структурной единицы макромолекулы:

$$C_{яд} = \frac{C^r - C_v^r}{C^r}$$

(Здесь C_v^r — содержание углерода периферийной части в % горючей массы угля) [3]. Для определения величины $C_{яд}$ использовались данные

технического и элементарного состава углей. Выход летучих определялся при температуре 1200°С в токе азота.

Для исследования были отобраны характерные для ряда метаморфизма окисленные пробы трех марок углей Кузбасса (табл. 1). Подробная характеристика их была приведена ранее [3]. Из таблицы видно, что

Таблица 1

Месторождение, шахта, разрез, марка	Глубина отбора проб по простиранию пласта, м	Степень окисленности $\Delta V, \%$	$V_{г, \%$ (станд. метод)	$V_{г, \%$ при $t=1200^\circ\text{C}$	$Q_{0, \text{ккал}}$ кг	$V_{гор, \%$	$\frac{C^g - C_v^g}{C^g} \times 100\%$	$\frac{Q_d}{Q_k}$
Бунгуро-Листвянское месторождение, Бунгурские штольни, марка Т	80	0	9,49	14,1	8350	14,1	95,8	0,244
	18	10,87	20,6	23,2	7520	13,02	93,2	0,256
	17	18,41	25,1	31,0	6743	11,7	86,4	0,256
	5,0	26,1	32,2	39,9	6150	12,6	79,6	0,312
Беловское месторождение, Бочатский разрез, марка СС	65	0	17,9	23,0	8050	23,5	87,4	0,335
	40	18	27,8	31,6	6520	13,58	89,4	0,218
	33	27,86	35,0	40,5	5740	12,4	86,0	0,227
	25	32,6	38,6	44,8	5335	11,55	83	0,228
Ленинское месторождение, шахта Польсаевская 3, марка Д-Г	1500	0	43,5	43,3	7720	43,3	70,2	0,725
	51	10,0	39,8	40,2	6950	30,1	79,7	0,478
	29	19,9	42,8	44,4	6200	24,7	78,2	0,432
	4,0	31,55	47,65	48,9	5290	16,45	79,4	0,306

интервалы между показателями окисленности двух соседних проб углей марок Т и Г близки между собой. Это позволяет более объективно оценивать результаты при сопоставлении экспериментальных данных.

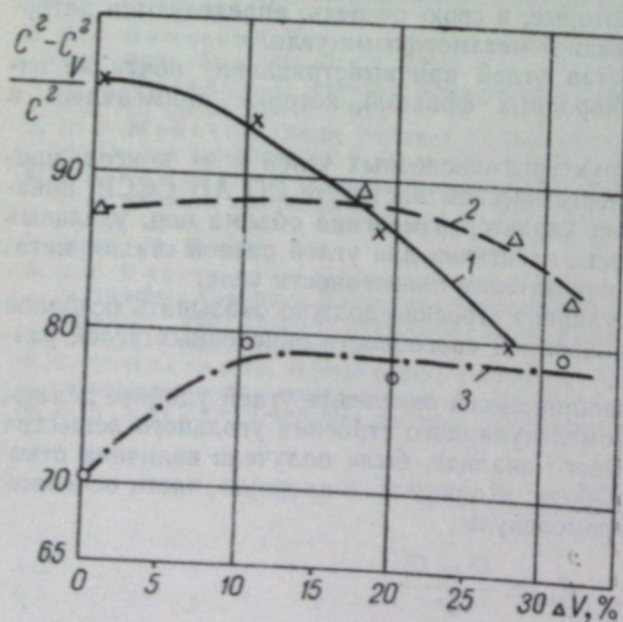


Рис. 1. Изменение содержания ядерного углерода при выветривании углей. Уголь марки: 1 - Т; 2 - СС; 3 - Д-Г.

Ранее [3] было показано, что летучие окисленных углей можно условно разделить на две части: горючие летучие, обладающие одинаковой теплотой сгорания с летучими неокисленного угля той же марки, и балластные летучие. Содержание балластных летучих (ΔV) принято в качестве показателя окисленности.

Из представленной на рис. 1 зависимости $C_{яд}$ от показателя окисленности проб угля видно, что при выветривании тощих углей доля ядерного углерода падает, а следовательно, растет доля углеро-

да периферийной части. При выветривании газового угля величина $C_{яд}$ в начальной стадии окисления резко возрастает, а затем изменяется мало. У угля марки СС в процессе всего окисления величина $C_{яд}$ почти постоянна. Соотношение между периферийным и ядерным углеродом сильно окисленных «сажистых» углей трех марок сближается между собой.

Характер изменения величины $C_{яд}$ от степени окисленности проверялся на многих марках углей Кузбасса. Во всех случаях можно было наблюдать указанные зависимости.

Приведенные данные показывают, что при выветривании тощих углей происходит, очевидно, реагирование углерода ядерной части, в результате чего образуются новые углеводородные группы, входящие в окисленном угле уже в состав боковых цепей макромолекулы. Реагирование ядерной части должно приводить к уменьшению количества бензольных колец в гексагональной сетке структурной единицы и ослаблению химических связей между атомами углерода.

В первый период окисления газовых углей кислород воздействует на длинные боковые цепи макромолекулы, изменяя их состав. При этом они обедняются водородом и углеродом, которые уносятся в виде продуктов окисления. В результате увеличивается доля углерода ядерной части, не затрагиваемая в этот период окислением. При дальнейшем окислении происходит реагирование как периферийной, так и ядерной части макромолекулы.

У углей марки СС, по-видимому, в течение всего процесса выветривания затрагиваются окислением как периферийная, так и ядерные части макромолекулы. Однако реагирование ядерной части не столь интенсивное, как у тощих углей. Это связано с уменьшением количества боковых цепей и усилением их связей в процессе метаморфизма угля.

Таким образом, разный механизм окисления каменных углей связан с неодинаковым химическим строением их в неокисленном состоянии. Конечные результаты анализа особенностей механизма выветривания подтверждаются данными химических исследований [4].

Рассмотрение процесса выветривания углей разных марок позволяет сделать ряд предположений о закономерностях изменения реакционных свойств коксовой основы углей в зависимости от степени окисленности их.

С некоторыми допущениями можно считать, что основное количество вещества периферийной части макромолекулы при высокотемпературном нагреве и длительной выдержке выделяется в виде летучих, а ядерная ароматическая часть образует коксовую основу угля [5]. По-видимому, в процессе горения реакционная способность коксовой основы тощих углей по мере увеличения показателя окисленности возрастает за счет уменьшения энергии химических углерод-углеродных связей, ослабленных присоединением кислородсодержащих групп, а также за счет уменьшения степени конденсированности структурной единицы макромолекулы.

Реакционная способность коксовой основы слабометаморфизированных углей до определенной величины степени окисленности не изменяется, так как кислород в основном реагирует с боковыми цепями, не затрагивая ядерной части. При дальнейшем окислении этих углей, когда начинаются реакции и в ядерной части, происходит некоторое возрастание реакционной способности коксовой основы угля. Темп ее роста при выветривании с переходом от тощих углей к газовым, очевидно, снижается.

С другой стороны, помимо изучения реакционных свойств коксовой основы окисленных углей был исследован процесс выхода летучих и их свойств при температурах нагрева $300\text{--}1200^\circ$ в токе азота. Выяснилось, что закономерности изменения выхода летучих от показателя окисленности и марки угля, установленные стандартным методом (при $t=850^\circ$), сохраняются при всех температурах (за исключением слабоокисленных газовых углей при температуре нагрева меньше 500°). При увеличении показателя окисленности падает температура начала разложения углей. Большое количество летучих углей марок T и CC выделяется при температурах выше 850° . Особенностью разложения окисленных углей является выход кислородсодержащих соединений при высоких (больше 800°) температурах нагрева угля.

Для подтверждения полученных выводов на экспериментальной установке исследовалось горение пылевзвеси коксовых остатков, а затем и отобранных проб углей.

Описание установки и методика исследования

Высоковлажные окисленные угли с низкой теплотой сгорания и большим количеством мелочи наиболее целесообразно использовать для сжигания в факельных топках. Исходя из этого, для экспериментальной установки выбрана схема пылеугольного сжигания (рис. 2). В установке использована камера сгорания в виде изогнутой трубки $\varnothing 16/10$ мм из стали 1Х18Н9Т с длиной зоны горения 1200 мм. Горизонтальная изогнутая часть служит воздухоподогревателем. Температура воздуха, поступающего в зону горения, близка к температуре стенки камеры. Как следует из расчета и специальных исследований [6], при малом диаметре камеры температура газового потока мало отличается от температуры стенки.

На верхней площадке каркаса расположен узел подачи угольной пыли.

На установке осуществлялся непосредственный нагрев камеры сгорания током низкого напряжения от переоборудованных сварочных трансформаторов.

Температура стенки камеры замерялась по показаниям хромель-алюмелевых термопар (T_1, T_2, T_3), подключенных к милливольтметру. Для снижения погрешностей замера корольки термопар помещались в углублениях, просверленных в стенке камеры, а отводящие концы плотно обертывались вокруг камеры. Обогрев камеры методом короткого замыкания, уже использованный ранее [6], и небольшая толщина изоляции позволили поддерживать во время опыта одинаковую и устойчивую по всей длине камеры температуру, почти не зависящую от режимных факторов и тепловыделения внутри камеры.

Воздух, необходимый для горения, подавался пылесосом через систему очистки в отогнутую часть камеры сгорания (воздухоподогреватель). Часть воздуха (около 20%) направлялась в пылепитатель.

Продукты сгорания попадали из камеры в сборник очаговых остатков, помещенный в баке с водой. За сборником были установлены две осушительные колонки с CaCl_2 для улавливания влаги. Однако основное количество образующихся при горении водяных паров конденсировалось в сборнике. Газообразные продукты сгорания были отведены в вытяжной шкаф и через реометр к аспиратору.

В опытах использовалась методика сравнения реакционных свойств в зависимости от показателя окисленности и марки угля. Поэтому каж-

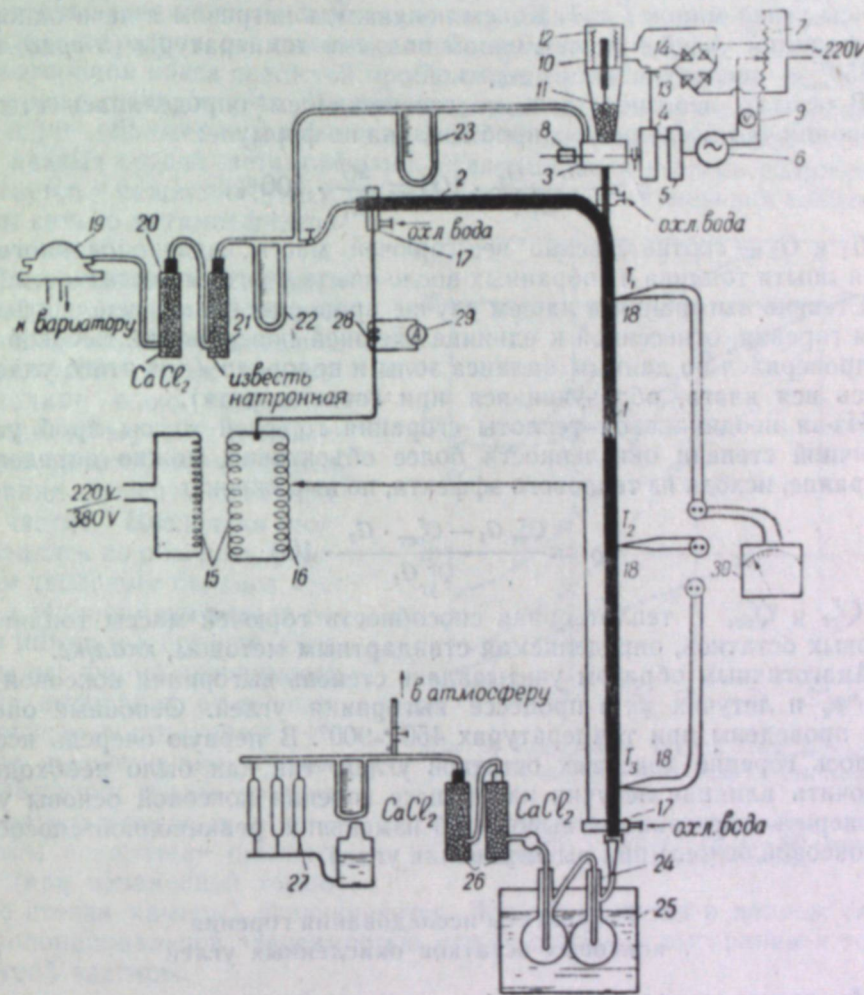


Рис. 2. Общая схема установки.

1 — камера сгорания, 2 — воздухоподогреватель, 3 — питатель, 4 — коробка скоростей, 5 — редуктор, 6 — мотор питателя, 7 — автотрансформатор, 8 — счетчик оборотов, 9 — вольтметр, 10 — бункер пыли, 11 — шуровочная пружина, 12 — электромагнит, 13 — выпрямитель, 14 — реле включения электромагнита, 15, 16 — сварочные трансформаторы, 17 — охлаждаемые контакты, 18 — термопары, 19 — пылесос, 20 — колонка с CaCl_2 , 21 — колонка с натронной известью, 22, 23 — реометры, 24 — сборник очаговых остатков, 25 — бак с водой, 26 — колонки с CaCl_2 , 27 — аспиратор, 28 — трансформатор тока, 29 — амперметр, 30 — милливольтметр.

дая серия опытов с пробами одной марки угля проводилась в строго одинаковых условиях. В частности, время пребывания частиц топлива в камере во всех случаях составляло 1 сек. Скорость воздуха выбиралась с учетом скорости витания частиц топлива [7]. Исходя из одинаковых условий опыта, определялись расход воздуха и топлива. В экспериментах использовались однородные фракции проб сухого угля (75-; 105 μ) и коксы углей марок Г и Т. Коксы получались нагревом в печи однородных фракций углей при медленном подъеме температуры (5 град/мин) до 850° с последующей выдержкой.

В опытах непосредственным взвешиванием определялась степень выгорания (φ) исследуемых проб топлива по формуле:

$$\varphi = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100 = \frac{\Delta G}{G_1} \cdot 100\%,$$

где G_1 и G_2 — соответственно вес горючей массы израсходованного за время опыта топлива и собранных после опыта очаговых остатков, г.

Степень выгорания в нашем случае пропорциональна удельной скорости горения, отнесенной к единице внешней поверхности. Весовой метод проверялся по данным баланса золы и водорода (для этого улавливалась вся влага, образующаяся при горении угля).

Из-за неодинаковой теплоты сгорания горючей массы проб углей различной степени окисленности более объективно можно определять выгорание, исходя из теплового эффекта, по выражению

$$\varphi_Q = \frac{Q_{\text{уг}}^r G_1 - Q_{\text{ост}}^r \cdot G_2}{Q_{\text{уг}}^r G_1} \cdot 100,$$

где $Q_{\text{уг}}^r$ и $Q_{\text{ост}}^r$ — теплотворная способность горючей массы топлива и очаговых остатков, определяемая стандартным методом, ккал/кг.

Аналогичным образом учитывалась степень выгорания коксовой основы φ_k и летучих φ_v в процессе выгорания углей. Основные опыты были проведены при температурах 450-; 900°. В первую очередь исследовалось горение коксовых остатков углей, так как было необходимо исключить влияние летучих на процесс горения коксовой основы угля и проверить высказанные выводы об изменении реакционной способности коксовой основы при выветривании углей.

Результаты исследования горения коксовых остатков окисленных углей

Из сопоставления степени выгорания коксовых остатков окисленных углей марок Г и Т (рис. 3) следует, что закономерности изменения их реакционных свойств определяются стадией метаморфизма и показателем степени окисленности углей, из которых получены коксовые остатки.

Для коксовых остатков углей марки Т характерно резкое возрастание степени выгорания с ростом показателя окисленности. Кокс неокисленной пробы при температурах опыта 610° и 680° еще не дает заметного выгорания, тогда как кокс сажистого угля выгорает почти на 22%. Из анализа кривых выгорания следует, что с ростом показателя окисленности снижается температура воспламенения коксового материала. При увеличении температуры опыта относительное изменение степени выгорания в зависимости от показателя окисленности проб снижается.

У коксовых остатков углей марки Г темп роста степени выгорания намного ниже, чем у коксов тощих углей (величина φ увеличилась при переходе от коксов неокисленного угля к коксу сажистого угля на 50%.

тогда как при этих температурах у коксов тощих углей величина φ увеличилась в 4 раза). На кривой выгорания коксов газовых углей характерно наличие двух довольно четко разграниченных участков. В первый период окисления углей степень выгорания их коксов почти не меняется, а затем происходит возрастание степени выгорания.

Если коксовые остатки неокисленных углей марок Т и Г сильно отличаются по реакционным свойствам, то у коксовых остатков сажистых углей тех же марок реакционные свойства близки между собой. Степень выгорания кокса сажистой пробы тощего угля выше, чем кокса неокисленного газового угля. Можно предполагать, что при выветривании происходит сближение физико-химического строения коксовой основы углей разных стадий метаморфизма. Максимальная степень сближения достигается у сажистых углей за счет наибольшего изменения коксовой основы сильно метаморфизированных углей.

При горении пылевзвеси коксовых остатков основные параметры опыта определялись температурой стенки камеры. Необходимо было проверить, остаются ли верными полученные результаты, если степень выгорания относить к температуре частиц. Последняя подсчитывалась по обычным уравнениям теплового баланса частицы и теплообмена между газовым потоком и стенкой. Оказалось, что форма зависимости степени выгорания от показателя окисленности у тощих углей не меняется, но кривые располагаются более полого. Температура коксовых частиц с ростом показателя окисленности (при неизменной температуре стенки камеры) увеличивается. Это объясняется в данном случае пропорциональной зависимостью между степенью выгорания и температурой частицы.

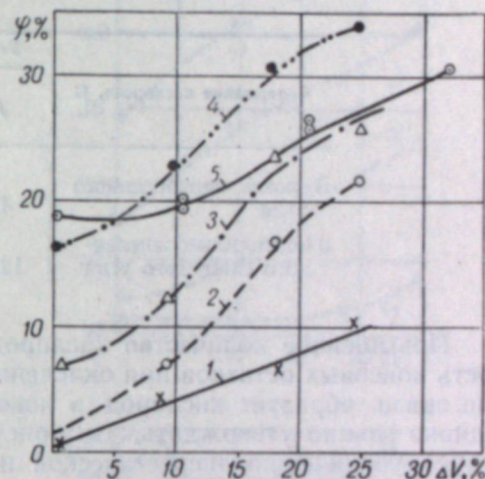


Рис. 3. Выгорание коксов окисленных углей марок Т и Г при разных температурах.

Температура камеры сгорания во время опытов, °С: 1 — 610, 2 — 680, 3 — 750, 4 — 830 (уголь тощий), 5 — 750 (уголь газовый).

По результатам опытов (из зависимости $\varphi = f\left(\frac{1}{T}\right)$) определялся характер изменения видимой энергии активации коксовых остатков проб тощих углей. Несмотря на повышенную скорость выгорания, энергия активации уменьшается с ростом показателя окисленности пробы с 28 до $10 \frac{\text{ккал}}{\text{г.мол}}$. Это можно заметить при анализе рис. 3. Очевидно, должна су-

ществовать температура, при которой скорости выгорания коксов вне зависимости от показателя окисленности будут близки между собой.

Снижение энергии активации, как и температуры воспламенения при выветривании, тесно связано с изменениями молекулярного строения коксовых остатков тощих углей. Эти величины зависят от энергетической прочности химических связей атомов углерода, входящих в коксовую основу угля. Энергия связи атомов тем больше, чем выше степень упорядоченности расположения и конденсированности гексагональных сеток.

Уменьшение степени выгорания коксовых остатков с повышением стадии метаморфизма неокисленных углей (рис. 3) объясняется ростом упорядоченности расположения и конденсированности сеток.

С окислением углей несколько уменьшается упорядоченность расположения гексагональных сеток [8]. Разрушение бензольных колец при выветривании высокометаморфизированных углей неразрывно связано с уменьшением энергии углерод-углеродных связей, поляризованных остатками кислородсодержащих групп [9].

До настоящего времени было известно, что при нагревании каменных углей до высоких температур (порядка 850°) выделяется основное количество кислорода. По данным элементарного анализа, содержание кислорода (по разности) в коксах сильно окисленных проб углей всех исследуемых марок возрастает в несколько раз (табл. 2).

Таблица 2

Содержание кислорода, %	Угли, из которых получен кокс		
	Г	СС	Г
В коксе неокисленного угля	4,71	2,01	4,23
В коксе сильноокисленного сажистого угля	12,53	9,48	9,62

Повышенное количество кислорода снижает теплотворную способность коксовых остатков при окислении угля. В каких соединениях и какие связи образует кислород в коксовом остатке, пока не выяснено. Однако можно утверждать, что присутствие кислорода в коксе способствует увеличению энергетической неравноценности атомов углерода, входящих в гексагональные сетки, и тем самым повышает их химическую активность.

Выявленные закономерности изменения реакционных свойств коксовых остатков углей разной стадии метаморфизма при выветривании, и некоторые данные о выходе летучих и их свойствах позволяют более объективно оценить результаты экспериментов по горению окисленных углей.

Горение окисленных углей

Зависимость степени выгорания горючей массы (по весу) углей марки Т и Г от показателя окисления при разных температурах опыта показаны на рис. 4, а и б.

Как и у коксовых остатков (рис. 3), степень выгорания тощих углей возрастает с ростом показателя окисленности при всех температурах опыта, но темп роста у углей выше, чем у коксов. Очевидно, это связано с повышенным выделением летучих при выгорании углей и их интенсифицирующей ролью в процессе горения.

Степень выгорания проб газовых углей с ростом показателя окисленности вначале падает, а затем постепенно возрастает. Минимум кривой наблюдается у пробы слабоокисленного угля. Степени выгорания коксовых остатков этой пробы и пробы неокисленного угля равны между собой (рис. 3). По-видимому, общее снижение степени выгорания слабоокисленного газового угля происходит за счет снижения теплоты сгорания летучих и их выхода.

В дальнейшем с ростом показателя окисленности выход летучих возрастает, что вместе с ростом реакционной способности коксового остатка ведет к увеличению выгорания угля.

У проб промежуточной по ряду метаморфизма угля марки СС выгорание с ростом показателя окисленности увеличивается, но в несколько меньшей степени, чем у тощих углей. Степень выгорания сильно окисленных проб сажистых углей мало зависит от стадии метаморфизма исходного угля.

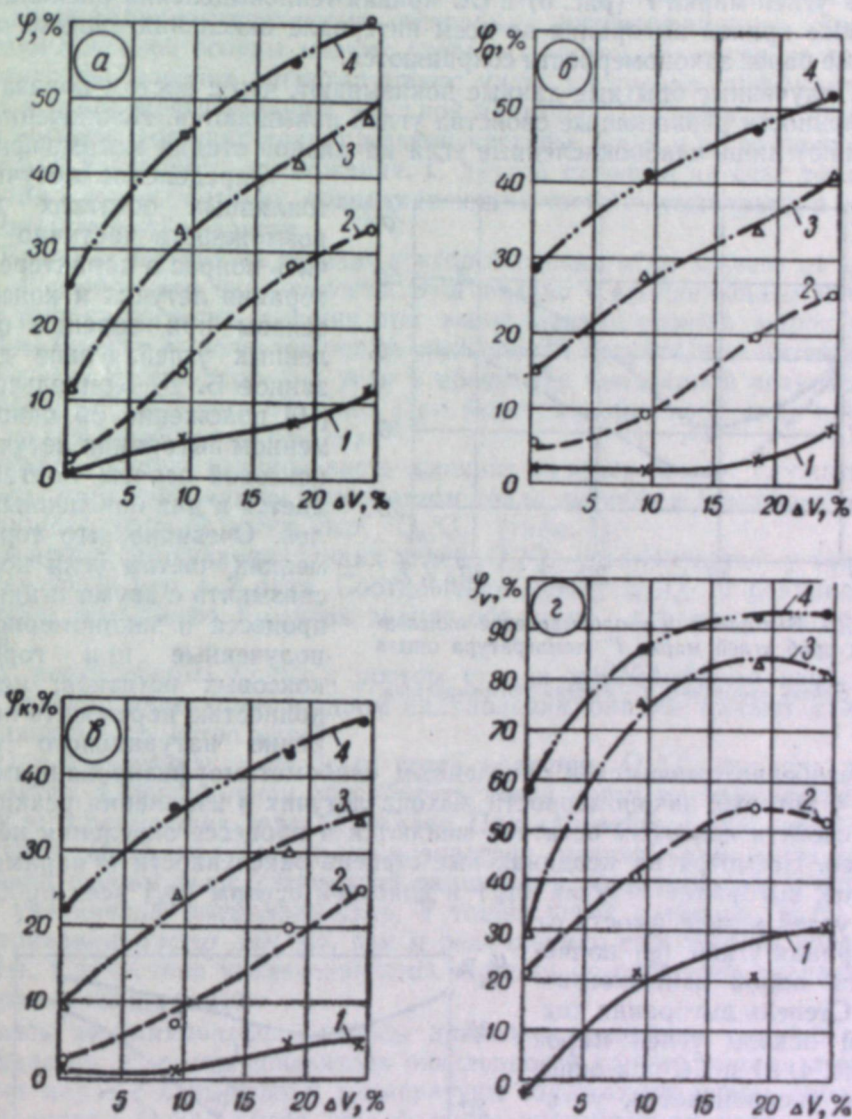


Рис. 4. Опыты с окисленными углями марки Т.
а — выгорание угля, б — тепловыделение угля, в — выгорание коксовой основы угля,
г — выгорание летучих углей.
Температура камеры сгорания во время опыта, °С: 1 — 450; 2 — 620; 3 — 750; 4 — 900.

Для практических целей использования окисленных углей основное значение имеет степень тепловыделения угля (ϕ_Q). При частичном выгорании окисленных углей, имевшем место в опытах, скорость убывания веса выше, чем скорость тепловыделения, что объясняется более

высокой скоростью сгорания летучих, забалластрированных окислами (рис. 4, а, 4, б и 5).

Как видно из опытных данных (рис. 4, б), степень тепловыделения тощих углей возрастает с окислением, как и степень выгорания. Однако кривые располагаются несколько более полого. У неокисленной пробы тощего угля степень выгорания (по весу) из-за повышенной теплоты сгорания летучих во всех опытах меньше, чем подсчитанная по тепловому эффекту.

У углей марки Г (рис. 5) и СС кривая тепловыделения располагается ниже кривой выгорания во всем интервале окисления, однако отмеченные ранее закономерности сохраняются.

Полученные опытные данные показывают, что с ростом показателя окисленности реакционные свойства углей повышаются. Исключение составляют лишь слабоокисленные угли начальной стадии метаморфизма.

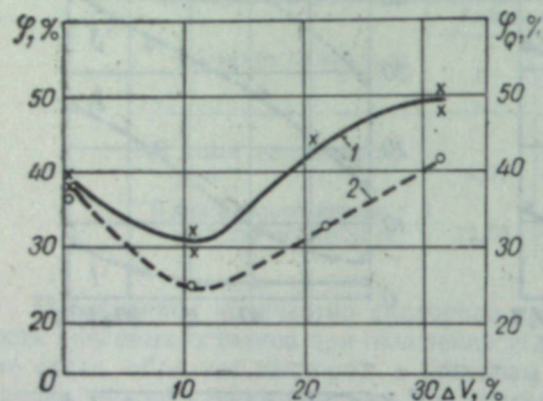


Рис. 5. Выгорание и тепловыделение окисленных проб углей марки Г (температура опыта 620°C).

1 — степень выгорания, 2 — степень тепловыделения.

Определение летучих в топливных остатках дало возможность частично изучить вопрос о характере выгорания летучих и коксовой основы при горении окисленных углей. Ранее доказанное Б. Д. Кацнельсоном [10] положение об одновременном выгорании летучих и коксовой основы подтверждается и для окисленных углей. Очевидно, что горение мелких частиц угля нельзя связывать с двумя стадиями процесса и закономерности, полученные при горении коксовых остатков, нельзя полностью переносить на горение натурального угля.

Это особенно относится к окисленным слабометаморфизированным углям, у которых закономерности выхода летучих и изменения реакционных свойств коксовых остатков меняются в процессе окисления неодинаково. Несмотря на неодинаковые степени окисленности и параметры опытов, выгорание летучих (ϕ_v) и коксовой основы (ϕ_k) всех проб тощих углей в зависимости от выгорания углей (ϕ) подчиняется одной закономерности. Степень выгорания коксовой основы углей марок Г (рис. 4, в) и СС при окислении увеличивается, у газовых углей (рис. 6) имеет место минимум (у слабоокисленной пробы).

Выгорание летучих у проб марок Г (рис. 4, г) и СС с увеличением степени окисленности, как правило, возрастает. Однако у сильноокисленной пробы тощих

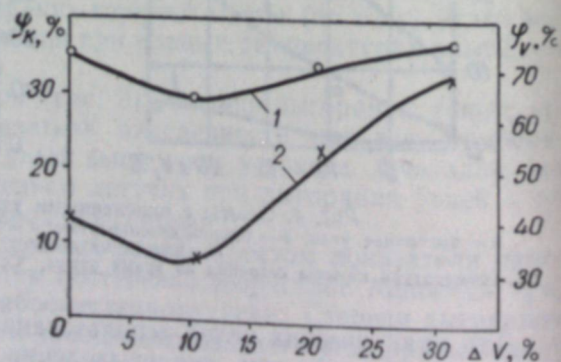


Рис. 6. Выгорание летучих и коксовой основы углей марки Г.

1 — коксовая основа, 2 — летучие.

углей степень выгорания летучих несколько уменьшается. Как следует из данных элементарного состава, это связано с повышенным содержанием кислорода в очаговых остатках этой пробы. У газовых углей выгорание летучих мало зависит от показателя окисленности (см. рис. 6).

Сравнение выгорания коксовой основы углей с рассмотренным ранее выгоранием их коксов позволяет оценить влияние летучих на горение углей в целом. Как видно из рис. 3 и 4, в, горение коксовой основы углей марки Г происходит более интенсивно, чем коксов. Горение летучих, даже забалластрированных окислами, интенсифицирует процесс горения коксовой основы мелких угольных частиц, несмотря на то, что летучие при горении перехватывают часть кислорода, диффундирующего к поверхности горячей угольной частицы [11]. Очевидно, толщина слоя летучих, горящих вокруг мелкой частицы, мала и не создает большого диффузионного торможения. С другой стороны, за счет тепловыделения горящих летучих, обволакивающих частицу, температура ее может значительно возрасти.

Влияние летучих на горение коксовой основы угля зависит от марки угля и степени его окисленности. Это связано с неодинаковым изменением выхода горючих летучих при выветривании разных марок углей [3]. Чем больше выделяется тепла при горении летучих, тем интенсивнее происходит процесс горения угля в целом при неизменной реакционной способности коксового остатка. При выветривании последняя почти у всех марок углей увеличивается.

Мерой оценки интенсивности влияния летучих может служить величина отношения между количеством тепла летучих и коксового остатка единицы горючей массы угля Q_a/Q_k (табл. 1).

В процессе окисления тощих углей Q_a/Q_k увеличивается, у газовых падает более чем в 2 раза. Соотношение между Q_a/Q_k и реакционной способностью коксовой основы может объяснить характер выгорания углей.

У неокисленных углей с ростом стадии метаморфизма изменение этих величин происходит в одном направлении: они обе падают, снижая реакционные свойства углей.

При выветривании газовых углей величина Q_a/Q_k вначале резко снижается, а реакционная способность кокса почти не изменяется, поэтому выгорание угля (рис. 5) падает. При дальнейшем окислении темп снижения Q_a/Q_k падает, однако возрастает реакционная способность коксовой основы угля, затронутой окислением. Это приводит к некоторому увеличению выгорания угля. У тощих углей величина Q_a/Q_k при выветривании растет так же, как и реакционная способность коксовой основы. Совместное увеличение этих величин способствует увеличению выгорания тощих углей.

Здесь не учитывались вопросы динамики выделения летучих. Как оказывается, с ростом показателя окисленности кривые выхода летучих разных марок с повышением температуры сближаются между собой.

Величина Q_a/Q_k имеет еще большее значение при использовании окисленных углей в слоевых топках. От размера ее зависит соотношение количества тепла, выделяемого в объеме топки и в слое, и следовательно, конструктивное выполнение топочного устройства.

В работе сравнивались реакционные свойства абсолютно сухих углей. Повышение гигроскопической влажности при выветривании углей увеличивает время на подготовку топлива к горению и несколько ухудшает процесс горения. Однако уже есть некоторые эксплуатационные данные, подтверждающие выводы о повышении реакционных свойств при окислении углей.

Выводы

1. Из анализа процесса окисления углей следует, что реакционные свойства их коксовой основы улучшаются и в большей степени для сильно метаморфизированных углей.

В результате проведения экспериментальных работ получены подтверждения сделанных предположений.

2. Исследованы зависимости выгорания окисленных углей. За исключением слабоокисленных молодых углей степень выгорания с ростом показателя окисленности увеличивается. Реакционные свойства сильно окисленных углей всех марок близки между собой.

3. Показано влияние изменения выхода летучих и их свойств при выветривании на горение окисленных углей.

4. Соответственно повышению реакционных свойств при окислении углей разных марок будет возрастать устойчивость горения и экономичность процесса в условиях пылеугольной топki. Трудности в использовании окисленных углей связаны с повышенным расходом топлива большой влажности.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
26/V 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Еремин, Изменение петрографических особенностей углей при окислении их в естественных условиях. Изв. АН СССР, 1956.
2. В. А. Касаточкин, О строении карбонизированных веществ. Изв. АН СССР, ОТН, № 10, 1953.
3. М. С. Оренбах, К вопросу об установлении теплотехнической характеристики и особенностях механизма окисления угля. Вопросы топочной техники, т. VIII. Тр. ТЭИ СО АН СССР, 1959.
4. Т. А. Кузарево, С. Л. Любимова, Исследование выветривания каменных углей различных стадий метаморфизма. Изв. АН СССР, ОТН, Металл. и топливо, № 5, 1959.
5. J. Leicester, A statistical structural analysis of some british coals. J. Appl. Chem., vol. 6, p. 91, 1956.
6. В. М. Третьяков, Лабораторное исследование динамики воспламенения и выгорания пылеугольной аэрозоль. Изв. ВТИ, № 11, 1947.
7. В. М. Третьяков, Процесс выделения летучих при нагревании угольной пыли во взвешенном состоянии. Изв. ВТИ, № 6, 1948.
8. Л. Л. Разумова, Рентгенографическое исследование структурных превращений каменных углей под действием температуры и давлений. Дисс., ИГи АН СССР, М., 1956.
9. М. М. Шемякин, Л. А. Шукина, Окислительно-гидролитические превращения органических соединений. Успехи химии, № 5, 1957.
10. Б. Д. Кацнельсон, Некоторые вопросы аэродинамики циклонных топочных камер и горения угольной пыли. Тр. совещания по прикл. газовой динамике, Изд. АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1959.
11. Б. В. Кавторович, Основы теории горения и газификации твердого топлива. Изд. АН СССР, 1958.

В. В. ЛОДЕЙЩИКОВ,
И. К. СКОБЕЕВ, В. Н. СМАГУНОВ

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ И ЗНАЧЕНИЕ ИХ ДЛЯ ПРОЦЕССА ЦИАНИРОВАНИЯ

При переработке на месте добычи упорных золотосодержащих концентратов несомненный интерес представляет применение окислительного обжига как подготовительной операции перед цианированием. В этой связи большое значение приобретает вопрос о возможности химического взаимодействия благородных металлов с рудными компонентами при обжиге, частично нашедший отражение в работе В. А. Оглодкова, исследовавшего процесс обжига сульфидных золото-мышьяковистых руд [1]. Изучая причины низкого извлечения золота при цианировании огарков, автор, в частности, высказал предположение, что потери золота вызываются образованием на его поверхности пленок вследствие взаимодействия серебра (входящего в состав природных золотых частиц) с сульфидами тяжелых металлов. Однако это предположение не было достаточно обосновано экспериментально. Не были выяснены природа химических превращений серебра при обжиге, форма образующихся соединений, поведение их в цианистом процессе. Между тем, данные вопросы представляют интерес не только с точки зрения объяснения причин депрессии золота при обжиге, но и с точки зрения поведения самого серебра в этом процессе. В настоящее время вопросу извлечения серебра при цианировании упорных флотационных концентратов уделяется недостаточное внимание. Потери серебра даже не контролируются и не учитываются. Этим в значительной степени объясняются большие потери серебра с кеками цианирования, которые в отдельных случаях могут превышать в стоимостном выражении потери золота. Поэтому вопрос о поведении серебра в процессе окислительного обжига занимает важное место в общей проблеме комплексного использования золотосодержащего сырья.

Отмеченное выше и послужило основанием для проведения настоящего исследования.

Как известно, основным рудным компонентом, входящим в состав сульфидных золотосодержащих концентратов, является пирит. С пиритом почти всегда связана значительная часть упорного золота и серебра в рудах. Поэтому его влияние на поведение благородных металлов при обжиге было изучено в первую очередь.

При проведении исследования использовалась следующая методика постановки опытов. Пластинки благородных металлов (золота, серебра, золото-серебряных сплавов) помещали между двумя слоями тонкоизмельченного пирита* в фарфоровую лодочку и обжигали в лабораторной

* Использовался пирит Бугдаинского месторождения, содержащий 96% FeS₂.

трубчатой печи при температурах 400, 600 и 800° (рис. 1). Обжиг проводился в воздушной среде при скорости воздуха 30 л/час до полного исчезновения SO₂ в отходящих газах (концентрация SO₂ определялась методом йодометрического титрования). По окончании обжига пластинки охлаждались, освобождались от слоя огарка и полученные продукты обжига подвергались цианированию с целью определения растворимости золота и серебра из обожженных пластинок и огарков.



Рис. 1. Схема реакционного узла трубчатой печи.

1 — кварцевая трубка, 2 — пластина металла в слое сульфида, 3 — термопара, 4 — кожух термопары, 5 — газоотводящая трубка, 6 — кольца из платиновой проволоки, 7, 8 — пробки, 9 — трубка для подвода воздуха в печь.

В результате проведенных опытов было установлено, что пластинки химически чистого золота при обжиге с пиритом не претерпевают никаких изменений во всем диапазоне температур от 400 до 800°, вследствие чего поведение их в цианистом растворе ничем не отличается от поведения исходных необожженных пластинок.

В процессе обработки с пиритом пластинок золото-серебряного сплава (30% Ag, 70% Au) последние уже при температуре 400° начинают заметно корродировать. В поверхностный слой, состоящий из продуктов обжига (огарок) при данной температуре переходит до 1% серебра. Золото при этом полностью остается в пластинке (табл. 1).

Таблица 1

Распределение золота и серебра по продуктам обжига

Температура обжига, °С	Продукты термической обработки	Выход, к исходной пластинке, %	Содержание, %		Распределение, %		Отношение Au-Ag
			Au	Ag	Au	Ag	
400	огарок пластинка	485,0 99,7	0,00 70,20	0,06 29,80	0,0 100,0	0,9 99,1	— 2,36
	исходный сплав	100,0	70,00	30,00	100,0	100,0	2,34
600	огарок пластинка	466,0 89,0	0,12 78,00	2,85 19,00	0,8 99,2	44,3 55,7	0,04 4,11
	исходный сплав	100,0	70,00	30,00	100,00	100,00	2,34
800	огарок пластинка	349,0 91,9	0,19 75,40	2,15 24,40	1,0 99,0	25,0 75,0	0,09 3,10
	исходный сплав	100,0	70,00	30,00	100,0	100,0	2,34

При повышении температуры обжига до 600° процесс коррозии золото-серебряного сплава протекает более интенсивно. В огарок переходит свыше 40% серебра и лишь 0,8% золота. Соотношение Au : Ag в огарке во много раз ниже соотношения указанных компонентов в исходном сплаве.

Аналогичная картина наблюдается и при температуре 800°.

Факт селективности золота и серебра при термической обработке сплава с пиритом хорошо согласуется с высказанным ранее предположением [1] об избирательном взаимодействии серебра (входящего в состав сплава) с некоторыми активными компонентами концентратов.

Однако, как показало цианирование продуктов обжига (табл. 2), химические процессы, протекающие на поверхности частиц сплава, в данном случае не являются препятствием для последующего извлечения золота гидromеталлургическим путем. Более того, из результатов проведенных опытов видно, что в процессе цианистой обработки в раствор переходит не только золото, но и серебро, в том числе и та часть серебра,

Таблица 2

Извлечение золота и серебра из продуктов обжига цианированием

Температура обжига, °С	Продукты термической обработки	Извлечение металлов в раствор, %											
		Au				Ag							
		за I цикл	за II цикл	за III цикл	общее	за I цикл	за II цикл	за III цикл	общее				
400	огарок пластинка	—	—	—	—	100,0	—	—	100,0	54,2	18,9	26,9	100,0
	исходный сплав	58,5	18,2	23,3	100,0	—	—	—	—	80,8	—	—	80,8
600	огарок пластинка	89,8	10,2	—	100,0	80,8	—	—	80,8	89,3	7,7	3,0	100,0
	исходный сплав	94,2	4,3	1,5	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—
800	огарок пластинка	100,0	—	—	100,0	100,0	—	—	100,0	22,1	40,2	37,7	100,0
	исходный сплав	29,6	59,3	11,1	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Цианирование осуществлялось в закрытых пробирках 0,5% раствором NaCN в присутствии окислителя — перекиси бария. Обработку вели в 3 стадии: первая и вторая — по 8 час., третья — 16 час.

которая перешла при обжиге в огарок, т. е. подверглась наиболее интенсивному химическому воздействию. При этом максимальное извлечение серебра из огарка в раствор имеет место при температурах обжига 400 и 800°. При температуре обработки 600° некоторая часть серебра (до 20%) остается неизвлеченной, несмотря на большую продолжительность цианирования.

Дальнейшие опыты показали, что уменьшение весового соотношения сплава к пириту в исходной смеси (при одинаковой толщине пластинок), как и уменьшение количества воздуха, подаваемого в печь, увеличивает степень перехода серебра из сплава в огарок. Благодаря этому несколько возрастает количество нерастворимого серебра в огарках, полученных при температуре 600°. При других температурах обжига (400, 800°) серебро во всех опытах переходило из огарков в раствор практически нацело уже в первые часы цианирования. Растворение золота из продуктов обжига также протекало без особых осложнений с достаточно высокой скоростью.

**

С целью объяснения отмеченных выше моментов, было изучено поведение металлического серебра в условиях окислительного обжига с пиритом и продуктами его термической диссоциации (сера, пирротин).

Опыты по обжигу пластинок проводились по описанной выше методике. Для изучения состава образующихся продуктов был использован метод рентгеноструктурного фазового анализа.

На рис. 2—4 представлены продукты термической обработки серебряных пластинок с пиритом ($T = 400 - 800^\circ$), а также рентгенограммы, характеризующие состав указанных продуктов.

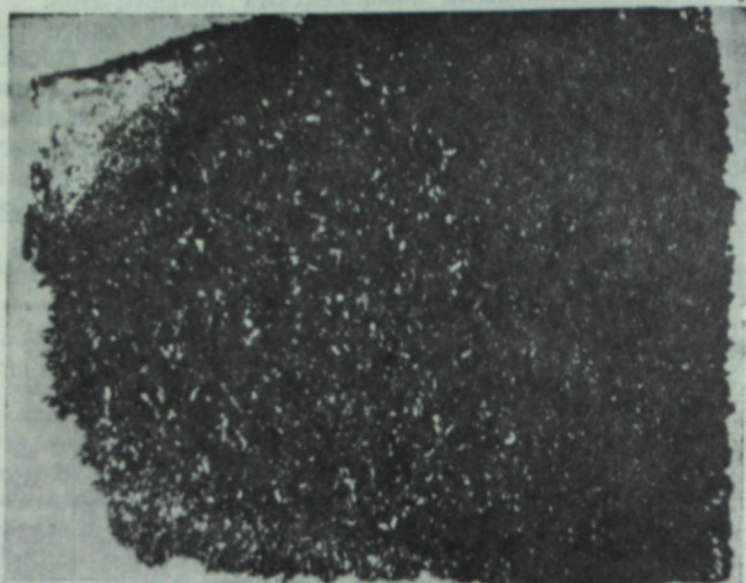


Рис. 2. Пластика серебра, обожженная с пиритом при температуре 400° ($\times 32$).



Рис. 3. Разложение «серебряного» штейна с образованием металлического серебра ($\times 32$). Слева исходный сплав, справа тот же сплав после разложения при температуре 800° (белое — серебро).

На рис. 2 видно, что низкотемпературный (400°) обжиг пластины с пиритом приводит к образованию на ее поверхности слоя, состоящего из черных игольчатых кристаллов, вертикально ориентированных к плоско-

сти пластинки. Состав кристаллов (рис. 4, IV) соответствует составу аргентита Ag_2S . Наличие дополнительных линий на рентгенограмме объясняется присутствием гематита (продукт окисления FeS_2), полностью отделить который от исследуемого соединения не представлялось возможным.

При температуре 600° пластинка серебра как таковая исчезает. На ее месте образуется однородный затвердевший расплав черного цвета с характерным металлическим блеском и сильно выраженными магнит-

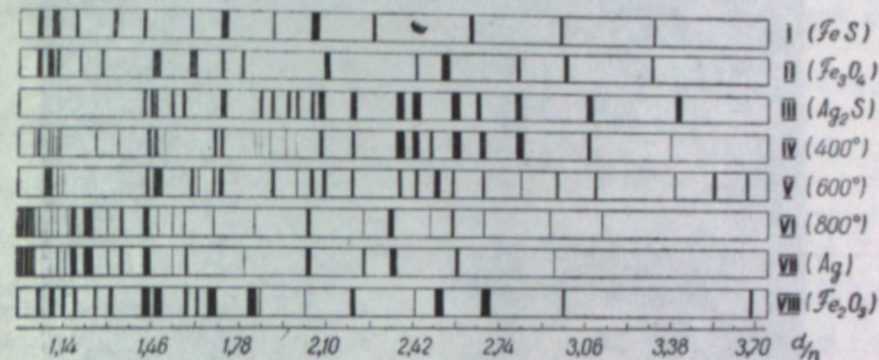


Рис. 4. Условное изображение рентгенограмм, характеризующих структурные превращения серебра в процессе термической обработки с пиритом в интервале температур $400 - 800^\circ$ (ширина полос на диаграммах соответствует относительной интенсивности линий).

IV, V, VI — продукты обработки; I, II, III, VII, VIII — эталоны.

ными свойствами (рис. 3). Продукт отличается сложным фазовым составом. Расшифровка рентгенограммы V (рис. 4) показывает, что сплав состоит в основном из Ag_2S , FeS (пирротин), Fe_3O_4 и Fe_2O_3 *

Дальнейшее повышение температуры до 800° и выше приводит к разложению сплава с образованием в конечном итоге металлического серебра и гематита — Fe_2O_3 (рис. 3 и 4, VI).

Результаты анализов показывают, что основную роль в химических превращениях серебра играет активная сера, образующаяся на первой стадии химического и термического разложения пирита: $FeS_2 \rightarrow S + FeS$ (пирротин). Возможность непосредственного взаимодействия металлического серебра с серой хорошо известна и легко подтверждается экспериментальным путем.

На рис. 5 показаны продукты взаимодействия серебра с элементарной серой в процессе окислительного обжига в диапазоне температур $200 - 1000^\circ$. Опыты проводились в условиях, аналогичных условиям обжига серебряных пластинок с пиритом.

Изучение рентгенограмм показало наличие двух точек фазовых превращений серебра, одна из которых лежит в интервале температур $180 - 200^\circ$, другая в интервале температур $500 - 600^\circ$. В первом случае происходит образование Ag_2S , во втором — разложение образующегося сульфида с выделением «вторичного» серебра. Как видно из рис. 4, вновь образованное серебро обладает характерной губчатой структурой с исключительно развитой поверхностью.

Сопоставление результатов опытов по термообработке металлического серебра с элементарной серой и пиритом показывает, что переход

* Соотношение указанных компонентов в сплаве не является постоянным и в зависимости от условий обжига (продолжительность, расход воздуха) колеблется в довольно широких пределах.

$Ag \rightarrow Ag_2S \rightarrow Ag$ в последнем случае протекает гораздо медленнее и требует применения более высоких температур.

Полученный при температуре 600° сплав не содержит металлического серебра. В то же время он концентрирует в себе значительное количество FeS , окисление которого в нормальных условиях обжига происходит с высокой скоростью во всем диапазоне температур, от 400 до 900° .

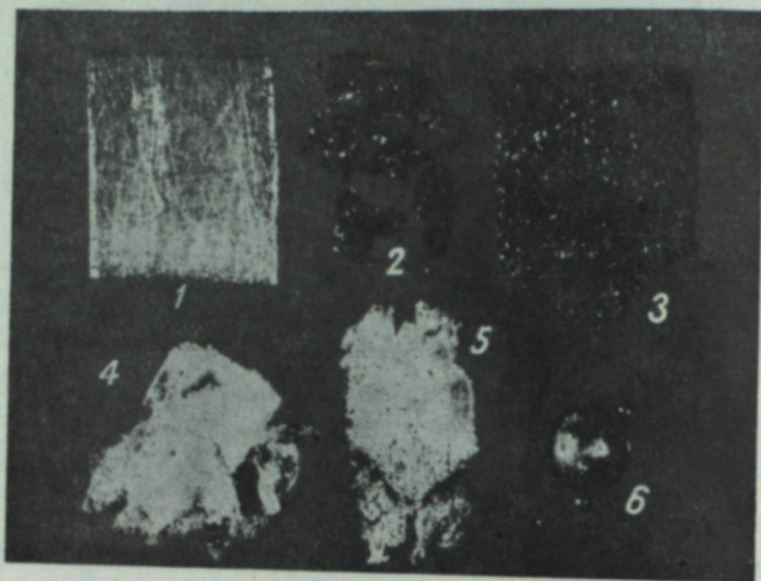


Рис. 5. Продукты взаимодействия металлического серебра с элементарной серой при обжиге. 1 — исходная пластинка, 2—6 — продукты термической обработки при температурах 280, 400, 600, 800 и 1000° ($\times 8$).

Отмеченные факты свидетельствуют о том, что оба сульфида образуют между собой прочную связь и что наиболее вероятной формой такой связи является расплав.

В этом отношении полученные результаты хорошо согласуются с известной диаграммой состояния Ag_2S-FeS [2]. Особенностью данной системы является наличие эвтектического сплава с температурой плавления 620° . Состав эвтектики (12% — FeS , 88% — Ag_2S) примерно отвечает содержанию основных компонентов в полученном нами штейне: 60—70% Ag , 14—18% S , 5—8% Fe . (Содержание железа в штейне устанавливалось методом спектрального количественного анализа).

Дальнейшее изучение вопроса о поведении серебра в процессе термической обработки его с сульфидами показало, что образование «серебряного штейна» может происходить и за счет взаимодействия Ag с пирротинном, являющимся одним из продуктов разложения FeS_2 при обжиге. Процесс начинается при температуре, близкой к 600° . В результате образуется сплав, основными составляющими компонентами которого также являются Ag_2S , FeS , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 . Сплав обладает высокой плотностью, твердостью и является более стойким в химическом и термическом отношении, чем штейн, полученный в аналогичных условиях при обработке серебряных пластинок с пирритом. Разложение его наступает при температурах, близких к температуре плавления металлического серебра.

Совместное присутствие в обжигаемой смеси пирротина и серы оказывает на серебряную пластинку в сущности такое же действие, как

и пирит в тех же условиях. В обоих случаях на поверхности пластинки образуются корочки с рыхлой пористой структурой. Характерно, что, несмотря на значительную толщину образующихся корочек, в 10—15 раз превышающую толщину исходных пластинок, частицы сплава (а при высоких температурах — капельки металлического серебра) хорошо видны при внешнем просмотре корочек под биноклем. Данный факт свидетельствует о наличии диффузии серебра (точнее — его соединений) в огарок. Это подтверждается также приведенными в табл. 3 данными, характеризующими распределение серебра и серы между внешней, средней и внутренней фракциями образующихся корочек.

Таблица 3

Распределение серебра и серы по фракциям

Фракции	Температура обжига, $^\circ C$														
	400					600					800				
	γ	c_1	e_1	c_2	e_2	γ	c_1	e_1	c_2	e_2	γ	c_1	e_1	c_2	e_2
Внешняя (огарок)	120,0	0,3	0,4	9,6	40,0	70,0	2,0	1,4	0,76	1,8	111,0	20,4	22,6	2,8	76,3
Средняя	119,5	65,0	85,5	14,4	59,7	147,0	44,0	64,6	14,5	71,2	80,4	32,2	25,9	1,2	23,7
Внутренняя	15,0	94,0	14,1	0,5	0,3	56,3	60,3	34,0	14,4	27,0	105,0	50,0	52,5	0,0	0,0

Примечание. γ — выход фракции, % к исходной пластинке; c_1 и c_2 — содержание Ag и S в фракции, %; e_1 и e_2 — извлечение Ag и S в отдельные фракции, %.

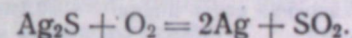
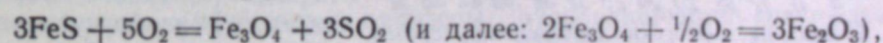
На основании сказанного выше механизм структурных превращений серебра в процессе термической обработки с пирритом может быть представлен следующим образом.

При температуре, соответствующей температуре воспламенения пиррита, происходит отщепление первого пая серы, обладающего наименьшей энергией связи в соединении FeS_2 (по данным О. А. Есина и П. В. Гельда, 7200 кал/моль [3]). Сера вступает в химическое взаимодействие с металлическим серебром, результатом чего является образование сульфида Ag_2S . Эта стадия процесса характеризуется следующей суммарной реакцией:



В определенных условиях обжига образование Ag_2S может протекать и за счет взаимодействия металлического серебра с пирротинном.

Находясь в свободном состоянии, сульфиды окисляются кислородом воздуха по схемам [4]:



Скорость окисления сульфидов неодинакова. В интервале температур $400-500^\circ$ FeS быстро окисляется до гематита (Fe_2O_3), в то время как сульфид серебра разлагается в меньшей степени. Данный факт селективного окисления сульфидов подтверждается результатами микроскопического и рентгеноструктурного анализа.

При температурах около 600° сульфиды серебра и железа образуют эвтектический расплав $Ag_2S \cdot FeS$. Процесс сопровождается резким снижением скорости окисления отдельных компонентов сплава. Благодаря этому, продукт термической обработки наряду с гематитом содержит значительное количество FeS и Fe_3O_4 . Сульфид серебра в данном случае

полностью сохраняет свою структуру, несмотря на то, что температура обработки является достаточно высокой для разложения Ag_2S .

Повышение температуры обжига до 800° ускоряет процесс окисления обоих сульфидов. Следствием этого является образование двухфазной системы, состоящей из гематита и металлического серебра (рис. 3, 4).

**

Влияние химических превращений, протекающих при обжиге серебряных пластинок с пиритом, на поведение серебра в цианистом процессе было изучено нами с помощью радиоактивного изотопа серебра Ag^{110} .

Пластины активного серебра (по 15 мг) обжигались с пиритом (1,0 г) при температурах 400, 600 и 800° . Огарки вместе с содержащимся в них серебром подвергались 52-часовой обработке раствором NaCN (0,5%). Цианирование проводилось в закрытых пробирках при соотношении $\text{Ж} : \text{T} = 15 : 1$ с трехкратной загрузкой окислителя — перекиси бария (в начале опыта, а также через 32 и 40 часов от начала перемешивания). Активность рабочего раствора измерялась на установке Б-2 с использованием счетчика Гейгера-Мюллера с медным катодом. Для сопоставления полученных данных со скоростью растворения чистого серебра был поставлен контрольный опыт по цианированию в аналогичных условиях с пиритом необожженной пластинки активного серебра. Результаты всех четырех опытов представлены в виде кинетических кривых на рис. 6.

Кривая 1 характеризует поведение при цианировании необожженной серебряной пластинки. Скорость растворения серебра в данном

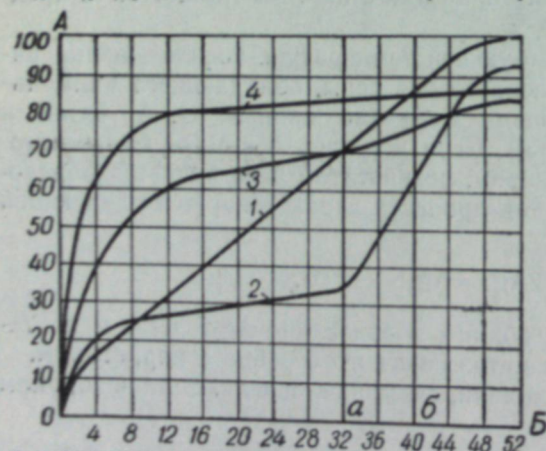


Рис. 6. Влияние химических превращений серебра при обжиге на скорость растворения его в цианистых растворах.

А — количество серебра, перешедшего в раствор при цианировании, %; Б — продолжительность цианирования, час.

1 — кинетика растворения исходной пластинки; 2—4 — растворение пластинок, обожженных с пиритом при температурах 400, 600 и 800° .

который без окислителя протекает крайне медленно.

Напротив, растворение продуктов высокотемпературной обработки серебра с пиритом (кривая 4 на рис. 6) происходит достаточно быстро. Более 75% серебра извлекается в течение первых 8 часов перемешивания. Влияние добавок окислителя, как и в случае обработки необожженной пластинки, несущественно.

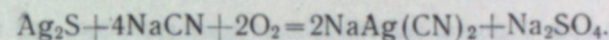
случае сохраняется постоянной на протяжении почти всего опыта. Дополнительное введение окислителя в раствор (точки а и б) не оказывает существенного влияния на характер протекающего процесса.

Кривые 2—4 отображают кинетику растворения серебряных пластинок, подвергнутых термической обработке с пиритом при температурах 400, 600, 800° . В первом случае скорость растворения образующегося соединения серебра в цианиде существенным образом зависит от концентрации окислителя в растворе. Введение свежих навесок BaO_2 заметно ускоряет процесс,

Результаты проведенных опытов цианирования хорошо согласуются с полученными данными по вещественному составу образующихся продуктов.

Так, в частности, высокая скорость перехода серебра в раствор при обработке огарков высокотемпературного (800°) обжига является следствием образования «вторичного» серебра с высоко развитой поверхностью. Недоизвлечение серебра в раствор может быть, по-видимому, объяснено неполнотой разложения крупных частиц сплава, обладающих более плотной механической структурой.

Низкотемпературный обжиг ($400\text{—}450^\circ$) устраняет возможность образования сплава. Поэтому извлечение серебра при цианировании может быть достаточно высоким. Однако процесс в данном случае связан с повышенным расходом окислителя. В значительной степени это объясняется тем, что основная масса серебра в огарке представлена сульфидом, растворение которого в цианиде протекает по реакции [5]:



Расчет показывает, что на 1 вес. часть серебра в форме Ag_2S расходуется кислорода при цианировании в 4 раза больше, чем при обработке такого же количества металлического серебра. Кроме того, определенная часть кислорода в процессе поглощается восстановителями, образующимися в условиях низкотемпературного обжига пирита (сульфат закиси железа, пирротин и др.). Дефицит окислителя в растворе является, таким образом, основной причиной, тормозящей процесс растворения Ag_2S .

Результаты проведенных опытов в целом свидетельствуют о высокой химической активности серебра в процессе окислительного обжига сульфидных концентратов. Это свойство серебра обуславливает поведение при обжиге золото-серебряных сплавов, состав которых отвечает составу природного золота. Так, образование корочек на поверхности частиц сплава в процессе обжига их с пиритом может быть объяснено диффузией в огарок легкоплавких сульфидных соединений серебра, которые при охлаждении цементируют частицы огарка вокруг металлической основы.

Опыты показали, что образующиеся корочки (спеки) являются весьма непрочными в механическом отношении и легко разрушаются в процессе гидрометаллургической обработки. Поэтому остающееся в сплаве золото хорошо растворяется при цианировании. Разрушению поверхностных корочек в значительной степени способствует относительно высокая растворимость в цианиде образующихся при обжиге сульфидных соединений серебра. Определенную положительную роль при этом играют также диффузионные процессы, обуславливающие «распыление» серебра в огарке и увеличение общей поверхности контакта между твердыми частицами и растворителем.

Таким образом, полученные результаты не подтверждают существующего предположения об исключительном влиянии состава природного золота на показатели его извлечения из пиритных концентратов по схеме обжиг — цианирование. В то же время они показывают, что значительная часть серебра, присутствующего в исходных концентратах в свободном состоянии, а также в форме золото-серебряных сплавов и простых сульфидов (аргентит), может быть извлечена попутно с золотом при гидрометаллургической обработке золотосодержащих огарков. В этом отношении интерес представляет вариант низкотемпературного обжига с переводом металлического серебра в сульфид и последующим интенсивным цианированием огарка.

Условия низкотемпературного обжига в наибольшей степени способствуют вскрытию золотосодержащих сульфидов [6—11] и поэтому являются наиболее приемлемыми, с точки зрения комплексного извлечения обоих ценных металлов.

Температура обжига в данном случае должна быть достаточной для полного окисления пирита, но не должна превосходить опасного предела, при котором возможно оплавление огарка, приводящее к дополнительным потерям золота и серебра в процессе. Оптимальной следует считать температуру 450—550°.

Иркутский государственный
научно-исследовательский институт
редких металлов

Поступила в редакцию
1/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Оглодков, Влияние условий обжига мышьяковистых руд на образование пленок на золоте и последующее поведение золота в процессе обработки, Сб. научн. тр. Иркутского горнометаллургич. ин-та, вып. 1, 1940.
2. Справочник металлурга по цветным металлам, Т. 2. Металлургиздат, 1953.
3. О. А. Есин, П. В. Гельд, Физическая химия пирометаллургических процессов. Часть I. Металлургиздат, 1950.
4. В. И. Смирнов, Окислительный обжиг сульфидных руд и концентратов. ОНТИ, 1938.
5. K. Rose. The Metallurgy of Gold. London, 1937.
6. R. Carter, C. Camis, The Influence of Roasting Temperature upon Gold Extraction by Cyanidation from Refractory Gold Ores. Can. Min. and Met. Bull., 479, 1952.
7. O. I. Parker, A Cause of Refractory Gold in Desulphurised Pyritic Concentrates. Austr. J. Min. and Met., 182, 1957.
8. O. Matthews, Fluo-Solid Roasting of Arsenopyrite Concentrates at Cochenour Willans. Can. Min. and Met. Bull., 444, 1949.
9. И. Н. Масленицкий, Извлечение тонковкрапленного золота из пиритных и пирротинных руд. Зап. Ленинградского горного ин-та, т. XXXII, вып. 3, 1956.
10. В. В. Лодейщиков, Некоторые особенности окислительного обжига сульфидных золотосодержащих концентратов. Цветные металлы, 12, 1958.
11. В. В. Лодейщиков, Опыт извлечения упорного золота. Вестник Вост.-Сиб. правления НТО цвет. мет., 1, 1960.

Ю. Л. ЛЕЛЬЧУК,
Л. Л. СКРИПОВА, П. В. КРИСТАЛЕВ

ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ КОЛИЧЕСТВ КОБАЛЬТА В РУДАХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ β -НИТРОЗО- α -НАФТОЛОМ

Весовые методы определения кобальта в рудах длительны и недостаточно точны [1]. Объемный потенциометрический метод с феррицианидом калия дает хорошие результаты при содержании кобальта не ниже 0,3—0,5% [2]. Вследствие низкого содержания кобальта в рудах цветных металлов и продуктах их обогащения в лабораториях цветной металлургии широко используются колориметрические методы определения. Из них наибольшее распространение получили роданидный метод и методы определения кобальта нитрозо-Р-солью и α -нитрозо- β -нафтолом.

М. И. Троицкая и Т. В. Заглодина показали, что колориметрическое определение кобальта натриевой солью α -нитрозо- β -нафтола является более точным и четким, чем определение роданистым аммонием [3]. Из всех колориметрических методов определения кобальта самым чувствительным до последнего времени считали фотоколориметрическое определение нитрозо-Р-солью [2]. Однако наши опыты показали, что измерение оптической плотности растворов комплекса кобальта с нитрозо-Р-солью на фотоэлектрическом колориметре модели ФЭК-М в кювете 50 мм не дает достаточно воспроизводимых результатов при содержании кобальта ниже 10 γ в 100 мл колориметрируемого раствора. Таким образом, определение десятитысячных процента кобальта в рудах этот метод не обеспечивает. Более чувствительным оказался метод определения кобальта спиртовым раствором β -нитрозо- α -нафтола и бензола как экстрагента. С этим реактивом вполне воспроизводимые данные получены при фотоколориметрировании 1 γ кобальта в 50 мл бензольного раствора.

Бойленд [4] использовал β -нитрозо- α -нафтол для спектрофотометрического определения малых количеств кобальта в биологических материалах после разложения органического вещества. По его данным, красный комплекс кобальта образуется быстро, на холоде при pH 4—9. Экстрагирование комплекса проводилось четыреххлористым углеродом. Отделение его от мешающих окрашенных комплексов других металлов, образующихся при этих условиях, и избытка реактива основано на разном отношении этих соединений к сильным кислотам и щелочам. Красные комплексы хрома, трехвалентного железа и никеля разрушаются соляной кислотой, оранжевый комплекс меди и избыток β -нитрозо- α -нафтола разлагается водным или спиртовым раствором щелочи. Комплекс кобальта устойчив в этих растворах.

Руни [5] разработал методику спектрофотометрического определения кобальта в чугунах и сталях. При содержании кобальта до 10⁻³%

железо и медь предварительно осаждаются купферомом и удаляются хлороформом. Избыток купферона разрушается смесью HNO_3 и HClO_4 . При более низких содержаниях кобальта еще до добавки купферона основная масса железа удаляется в виде хлорного железа изобутил-ацетатом. Спектрофотометрирование комплексов кобальта проводилось при 530 μm , а при содержании его менее 2 γ — при 365 μm .

Сравнительным изучением комплексов кобальта с α -нитрозо- β -нафтолом и с β -нитрозо- α -нафтолом В. М. Пешкова и В. М. Бочкова [6] доказали преимущества последнего реактива. Методом эквимольных серий авторы подтвердили данные Н. П. Комарь и В. Н. Толмачева [7] о двухвалентном состоянии кобальта в воднорастворимом комплексе с β -нитрозо- α -нафтолом, получающимся в щелочной среде, и установили, что состав комплекса, получающегося из подкисленных растворов в присутствии нитрата натрия, отвечает формуле CoR_2 . Авторы получили хорошие результаты при спектрофотометрическом определении кобальта в стали β -нитрозо- α -нафтолом при 480 μm без предварительного отделения железа купферомом. В стали состава С — 0,37, Мп — 0,87, Si — 0,70, Мо — 2,23, S — 0,008, P — 0,032, Cr — 13,18; Ni — 12,71; W — 3,03; V — 2,23, Nb — 1,08, Co — 10,35 они нашли 10,41% кобальта. Указания о возможности спектрофотометрического определения кобальта без предварительного отделения железа при большом избытке реактива имеются и у Руни. Однако опытных данных, подтверждающих это высказывание, Руни не приводит.

Нами исследована возможность использования β -нитрозо- α -нафтола для фотоколориметрического определения кобальта в рудах цветных металлов при содержании его в пределах тысячных и десятитысячных долей процента. Опыты проводились как с отделением мешающих металлов купферомом, так и без их отделения.

Экспериментальная часть

β -нитрозо- α -нафтол приготовлен по методике, описанной Кульбергом [8]. Наши опыты показали, что более чистым получается реактив, если выделение свободного β -нитрозо- α -нафтола из его калиевой соли проводить медленным прибавлением HCl (1 : 5) по каплям при интенсивном перемешивании в течение 25—30 мин. В качестве экстрагентов нами использованы очищенные перегонкой бензол и хлороформ. Полнота экстрагирования комплекса бензолом доказана В. М. Пешковой и В. М. Бочковой с помощью Co^{60} [6].

Для построения калибровочного графика использован дважды перекристаллизованный сульфат кобальта, для отделения мешающих металлов и поддержания pH раствора — продажные купферон и уксуснокислый натрий марки ЧДА. Концентрация исходного стандартного раствора сульфата кобальта определена весовым путем α -нитрозо- β -нафтолом по общепринятой методике [9]. Кобальт взвешивался в виде Co_2O_4 . Отделение купфератов и выделение комплекса кобальта проводилось в основном по методике Руни [5]. Оптическая плотность измерялась на фотоэлектрориметре модели ФЭК-М.

Первая серия опытов проведена нами с целью проверки чувствительности и воспроизводимости фотоколориметрирования кобальта в виде комплекса с β -нитрозо- α -нафтолом.

В делительную воронку объемом 100 мл последовательно добавлялось 20 мл 2 М раствора уксуснокислого натрия, 1 мл концентрированной соляной кислоты, стандартный раствор сульфата кобальта и после

перемешивания — 10 мл 0,5% раствора β -нитрозо- α -нафтола в метиловом спирте. Содержимое воронки перемешивалось 30 сек. и после 5-минутного стояния тщательно встряхивалось с 20 мл бензола еще 30 сек. После расслоения сливалась водная фаза и бензольный слой

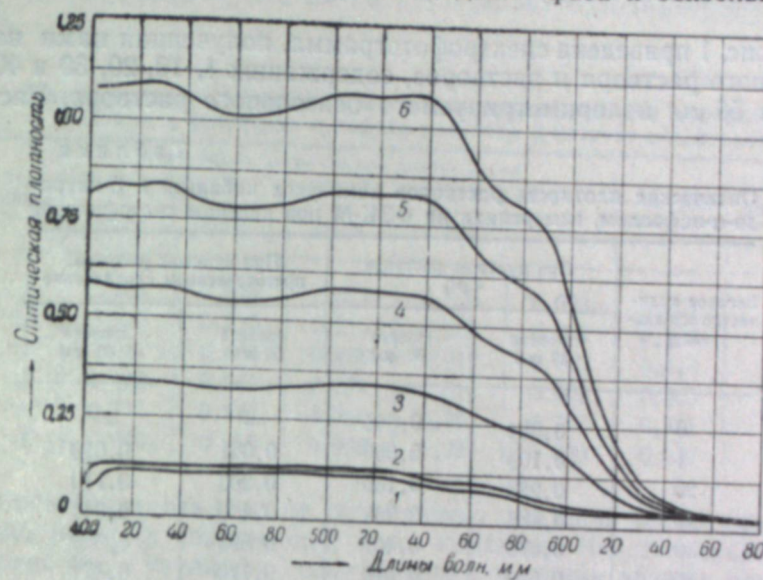


Рис. 1. Спектрограмма комплекса кобальта с β -нитрозо- α -нафтолом при растворе сравнения C_6H_6 .

1 — оптическая плотность нулевого раствора, 2 — раствора, содержащего 1 γ Со в 50 мл, 3 — 10 γ Со, 4 — 20 γ Со, 5 — 30 γ Со, 6 — 40 γ Со.

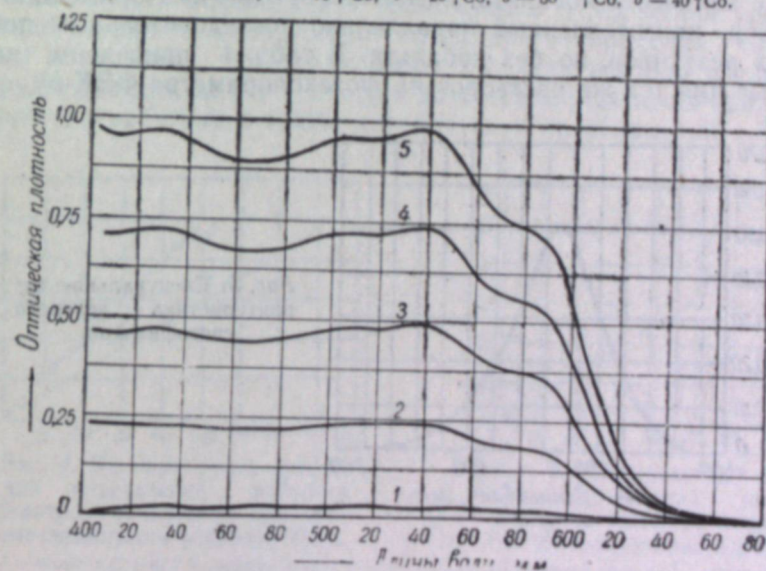


Рис. 2. Спектрограмма комплекса кобальта с β -нитрозо- α -нафтолом при растворе сравнения, приготовленном параллельно.

1 — оптическая плотность раствора, содержащего 1 γ Со, 2 — 10 γ Со, 3 — 20 γ Со, 4 — 30 γ Со, 5 — 40 γ Со.

промывался последовательно 10 мл воды, 10 мл HCl (1 : 5), 10 мл воды, 10 мл нормальной NaOH и в заключение — опять 10 мл воды. Затем бензольный слой фильтровался через сухой 5-сантиметровый бензольный фильтр белой ленты в мерную колбу на 50 мл, осадок на фильтре промывался бензолом, потом добавлялся бензол до метки и

измерялась оптическая плотность раствора в кюветах 50 и 30 мм при зеленом светофильтре. Нулевой раствор готовился параллельно добавлением всех реактивов в той же последовательности, но без кобальта. Оптическая плотность нулевого раствора каждый раз проверялась по бензолу.

На рис. 1 приведена спектрофотограмма, полученная нами на СФ-4 для нулевого раствора и растворов, содержащих 1, 10, 20, 30 и 40 γ кобальта в 50 мл колориметрируемого бензольного раствора. Раствором

Таблица 1

Оптическая плотность растворов комплекса кобальта с β -нитрозо- α -нафтолом, измеренная на ФЭК-М при зеленом светофильтре

Весовое количество кобальта, γ	При нулевом растворе C_6H_6		При нулевом растворе, приготовленном параллельно	
	кювета 50 мм	кювета 30 мм	кювета 50 мм	кювета 30 мм
1	0,105	0,056	0,021	0,010
20	0,285	0,166	0,203	0,119
20	0,482	0,288	0,400	0,241
30	0,675	0,407	0,595	0,360
40	0,850	0,519	0,770	0,471

сравнения служил чистый бензол. На рис. 2 показана спектрофотограмма тех же количеств кобальта, но вместо бензола мы применили нулевой раствор, приготовленный параллельно последовательным добавлением всех реактивов, но без кобальта. В табл. 1 приведены данные, полученные для тех же растворов на фотоколориметре ФЭК-М.

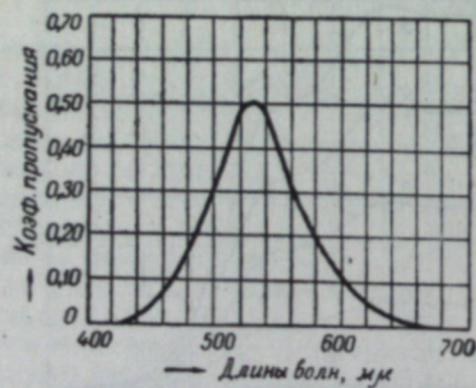


Рис. 3. Спектральная характеристика зеленого светофильтра.

Наши спектрофотограммы мало чем отличаются от данных Руни [5], В. М. Пешковой и В. М. Бочковой [6]. По данным Руни, комплекс кобальта дает хорошо выраженный максимум при 365 $m\mu$ и область высокого поглощения от 400 до 600 $m\mu$ с недостаточно очерченным максимумом при 530 $m\mu$. По нашим данным, последний максимум отвечает 535 $m\mu$, область высокого поглощения кончается при 545 $m\mu$. Таким образом, выбор зеленого светофильтра, спектральная характеристика которого приведена на рис. 3, для фотоколориметрирования комплекса кобальта следует считать особо удачным.

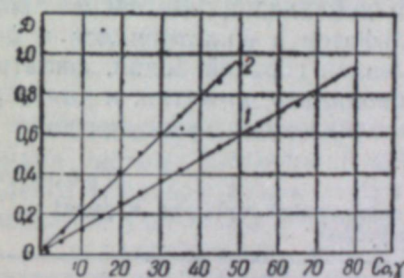
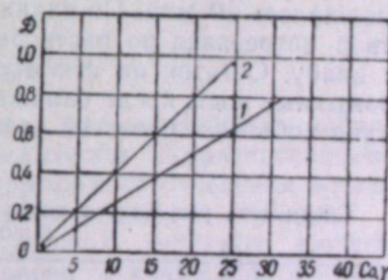
В табл. 2 приведены полученные нами данные, характеризующие чувствительность и воспроизводимость фотоколориметрирования бензольных растворов комплекса кобальта с β -нитрозо- α -нафтолом при содержании кобальта от 1 до 50 γ в 50 мл колориметрируемого раствора.

Таблица 2

Воспроизводимость результатов фотоколориметрического определения кобальта в растворах сульфата кобальта β -нитрозо- α -нафтолом

Взято кобальта, γ	Оптическая плотность при кювете 50 мм					Среднее значение	Макс. отклонение от среднего, %
	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия	5 серия		
1	0,023	0,024	0,021	0,020	0,023	0,022	9
10	0,210	0,215	0,212	0,207	0,203	0,209	3
20	0,411	0,400	0,408	0,417	0,413	0,410	1,7
30	0,608	0,595	0,603	0,612	0,609	0,605	1,6
40	0,785	0,770	0,788	0,776	0,788	0,781	1
50	0,940	0,915	0,935	0,920	0,950	0,932	2

Наибольшее отклонение от среднего значения оптической плотности дает раствор, содержащий 1 γ кобальта. Чувствительность метода может быть увеличена, если вместо доведения объема раствора перед фотоколориметрированием до 50 мл, доводить его до 25 мл. В этом случае 20 мл бензола для экстрагирования комплекса и 5 мл для промывания осадка после его фильтрования даются из бюретки. Такая чувствительность обеспечивает возможность определения кобальта при его содержании в исследуемом веществе в пределах 10^{-3} — $10^{-4}\%$. Расчет показывает, что при навеске 5 г, если раствор после разложения руды доведен до 100 мл, а для каждого определения взято по 25 мл, содержание кобальта в пробе колеблется в пределах 1,25—12,5 γ .

Рис. 4. Калибровочный график для определения кобальта β -нитрозо- α -нафтолом при объеме бензольного раствора 50 мл. 1 — кювета 30 мм, 2 — кювета 50 мм.Рис. 5. Калибровочный график для определения кобальта β -нитрозо- α -нафтолом при объеме бензольного раствора 25 мл. 1 — кювета 30 мм, 2 — кювета 50 мм.

На рис. 4 приведен полученный нами калибровочный график при объеме раствора перед колориметрированием 50 мл, на рис. 5 — при объеме 25 мл.

Вторая серия опытов проводилась с целью проверки возможности определения малых количеств кобальта без предварительного отделения железа и других мешающих металлов купфером. Опыты ставились с растворами, в которых отношение $Co : Ni : Cu$ доходило до 1 : 1000 : 1000 при неизменном содержании 20 γ кобальта. При отсут-

ствин железа более или менее удовлетворительные данные получаются до соотношения $Co : Ni : Cu = 1 : 100 : 100$. Железо сообщает красным растворам комплекса кобальта синий оттенок и приводит к значительным колебаниям оптической плотности растворов одних и тех же количеств кобальта. Повторные обработки бензольного раствора концентрированной соляной кислотой несколько улучшают результаты, но они остаются все еще неудовлетворительными. Опыты с рудами цветных металлов при содержании кобальта от 0,008 до 0,018%, железа от 10 до 50%, Ni от 0,16 до 0,52% и меди от 0,32 до 0,53% удовлетворительных результатов также не дали.

Дальнейшие опыты ставились с отделением мешающих металлов купфером. В делительную воронку объемом 100 мл последовательно добавлялось 10 мл HCl (1 : 4), 20 мл раствора руды, 25 мл 6% раствора купферона и после перемешивания встряхивалось 30 сек. с 30 мл хлороформа. После расслоения фаз слой хлороформа сливался, проверялась полнота осаждения купфератов, водный раствор промывался 10 мл хлороформа, переносился в стакан и выпаривался досуха. После этого к сухому остатку добавлялись 5 мл концентрированной HNO_3 и 3 мл $HClO_4$, стакан накрывался часовым стеклом, и выпаривание продолжалось до влажного остатка. После охлаждения добавлялись 15 мл воды, по каплям — 25% раствор NaOH до появления мути, 1 мл концентрированной соляной кислоты и раствор переносился в делительную воронку, куда заранее наливалось 20 мл 2 M раствора уксуснокислого натрия. Определение заканчивалось точно так же, как при построении калибровочной кривой.

Подготовка руды к анализу проводилась по следующей методике. 2 г тонко измельченной руды, 1 г фтористого аммония и 20 мл концентрированной соляной кислоты кипятятся 2 мин. в стакане, накрытом часовым стеклом. Затем добавлялось 10 мл концентрированной азотной кислоты, и кипячение продолжалось до густой консистенции солей; добавлялось 20 мл серной кислоты (1 : 1), и выпаривание раствора велось до паров серного ангидрида; добавлялось 5 мл воды, и дымление продолжалось 10 мин. По охлаждению и добавлении 40—50 мл воды раствор нагревался до растворения сульфатов и фильтровался в мерную колбу. Остаток на фильтре промывался горячей водой, фильтрат и промывные воды после охлаждения доводились до метки, и для определения кобальта пипеткой отбиралась аликвотная часть раствора.

Таблица 3
Сходимость результатов параллельных определений кобальта в рудах β -нитрозо- α -нафтолом

№ образца руды	Найдено кобальта нитрозо-Р-солью, %	Найдено кобальта β -нитрозо- α -нафтолом, %					Макс. отклонение от среднего, %
		1 серия	2 серия	3 серия	4 серия	5 серия	
6930	0,008	0,008	0,0076	0,0085	0,008	0,008	0,5
6929	0,015	0,0156	0,0156	0,0150	0,0148	0,0152	0,4
6928	0,018	0,0175	0,0172	0,0162	0,0160	0,0167	0,8

В табл. 3 приведены результаты определения кобальта в 3 рудах по описанной выше методике. В табл. 4 даны результаты проверки точности метода методом добавок. Как видно из этих данных, сходимость параллельных определений и совпадение результатов с действительным содержанием кобальта вполне удовлетворительны.

На основании данных табл. 3 и 4 считаем, что методика определения кобальта β -нитрозо- α -нафтолом с предварительным отделением мешающих металлов купфером может быть рекомендована для определения малых количеств кобальта в рудах. Однако неудобства, связанные с удалением остатков купферона выпариванием с HNO_3 и $HClO_4$ при массовых анализах, заставляют нас продолжать поиски бо-

Таблица 4
Проверка фотоколориметрического метода определения кобальта β -нитрозо- α -нафтолом методом добавок (образец руды 6930)

Взято раствора руды, мл	Содержание кобальта, %	Добавлено кобальта, %	Всего кобальта		Ошибка, %
			взято, %	найденно, %	
20	8	—	8	8	—
20	8	10	18	16	-2,0
20	8	10	18	17	-1,0
20	8	15	23	23	—
20	8	15	23	22	-1,0
20	8	20	28	25	-3,0
20	8	20	28	27	-1,0
20	8	25	33	31,5	-1,5
20	8	25	33	31	-2,0
20	8	30	38	35,3	-2,7
20	8	30	38	35,3	-2,7

лее удобного и менее длительного способа удаления мешающих металлов. Из нескольких вариантов, предварительно проверенных нами, лучшие данные дает осаждение железа фтористым натрием в виде железного криолита. После уточнения всех деталей нами будут опубликованы результаты этих исследований.

Выводы

Фотоколориметрическое определение малых количеств кобальта в рудах цветных металлов β -нитрозо- α -нафтолом экстрагированием комплекса кобальта бензолом без предварительного отделения мешающих металлов удовлетворительных результатов не дает.

Предварительное отделение мешающих металлов купфером позволяет при навеске руды 5 г определять тысячные и десятитысячные доли процента кобальта в рудах с удовлетворительной точностью.

β -нитрозо- α -нафтол — более чувствительный реактив на кобальт, чем нитрозо-Р-соль.

Томский политехнический институт

Поступила в редакцию 27/II 1960

ЛИТЕРАТУРА

- С. Ю. Файнберг, Анализ руд цветных металлов. Металлургиздат, М., 1953.
- Ю. Н. Книпович, Ю. В. Морачевский, Анализ минерального сырья. Госхимиздат, Л., 1956.
- М. И. Троицкая, Т. В. Заглодина, Колориметрические методы определения кобальта. Заводская лабор., № 2, 1947.

4. E. Boyland, Separation of the cobalt complex of β -nitroso- α -naphthol from other coloured metallic complexes. *The Analyst*, № 842, 230, 1946.
5. R. C. Rooney, The Determination of Cobalt in Iron and Steel, *Metallurgia*, № 348, 205, 1958.
6. В. М. Пешкова, В. М. Бочкова, Исследование свойств комплексных соединений кобальта с нитрозо- и изонитрозосоединениями. Тр. комиссии по аналит. химии, т. 7, М., 1956.
7. Н. П. Комарь, В. Н. Толмачев, Исследование окрашенных соединений кобальта, имеющих аналитическое значение. *ЖАХ*, № 1, 1950.
8. Л. М. Кульберг, Синтезы органических реактивов. Госхимиздат, М.—Л., 1947.
9. В. Ф. Гиллебранд, Г. А. Лендель, Г. А. Брайт, Д. И. Гофман, Практическое руководство по неорганическому анализу. Госхимиздат, М., 1957.

А. Н. КИРГИНЦЕВ

О ХИМИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ В РАСТВОРАХ ИОННЫХ СОЛЕЙ

В настоящее время полезность введения коэффициентов активности при изучении растворов очевидна. Однако введение коэффициентов активности требует точного знания свойств идеального раствора.

Известно, что для образования идеального раствора необходимо выполнение трех независимых друг от друга условий:

1. Изменение энергии при образовании раствора должно быть равно нулю.
2. Парциальный мольный объем любого компонента раствора не должен зависеть от концентрации.
3. Парциальная энтропия смешения компонента i должна быть равна $-R \ln x_i$ (x_i — мольная доля компонента i).

Первые два условия могут быть приняты и для растворов ионных солей. Последнее нуждается в уточнении.

Впервые вопрос об идеальных растворах ионных солей был поставлен в работе М. Темкина [1]. В основе работы Темкина лежит модель, согласно которой чистые соли и их смеси состоят не из молекул, а из ионов. Ионы в солях и растворах этих солей располагаются таким образом, что каждый анион практически окружен катионами и наоборот. Электростатические силы между ионами весьма велики, и поэтому перестановки анионов и катионов должны быть исключены из рассмотрения при вычислении энтропии смешения. По Темкину, энтропия смешения определяется выражением

$$\Delta S = \Delta S_+ + \Delta S_-, \quad (1)$$

$$\Delta S_+ = k \ln W_+, \quad (2)$$

$$\Delta S_- = k \ln W_-, \quad (3)$$

где W_+ и W_- — число перестановок катионов и анионов.

Вместо третьего из перечисленных выше условий при вычислении парциальных энтропий смешения в идеальном растворе нужно, как указывает Темкин, применять уравнение (1). Отметим, что в работе Темкина уравнение (1) применялось только к растворам, образованным солями типа AB и CD . Для растворов других солей Темкин вводит понятие о коэффициенте активности по аналогии с водными растворами. Последнее положение вряд ли правильно (см. [2]). Целесообразнее уравнение (1) применять к растворам ионных солей любого типа. Отметим также, что в работе Темкина рассматривались жидкие растворы (расплавы), но выводы работы в равной степени могут быть отнесены и к твердым растворам ионных солей. В нашем изложении будем предполагать, что соли образуют твердые растворы, хотя выводы работы могут быть применены и к расплавам.

Рассмотрим бинарный раствор, образованный солями $A_{n_1}B_{n_2}$ и $C_{n_3}B_{n_4}$. Обозначим через N_1 и N_2 количество «молекул» первой и второй солей в растворе. Термином «молекула» мы пользуемся условно, называя им нейтральную частицу, состоящую из минимально возможного числа ионов. По Темкину,

$$W_+ = \frac{(n_1N_1 + n_3N_2)!}{(n_1N_1)!(n_3N_2)!}, \quad (4)$$

а поскольку в методе Темкина анионы следует считать неразличимыми, то

$$W_- = 1, \quad (5)$$

что приводит к следующим выражениям для химических потенциалов солей в идеальном растворе:

$$\mu_1 = \mu_{10} + n_1RT \ln \frac{n_1x_1}{n_1x_1 + n_3x_2}, \quad (6)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + n_3RT \ln \frac{n_3x_2}{n_1x_1 + n_3x_2}, \quad (7)$$

где

$$x_1 = \frac{N_1}{N_1 + N_2}, \quad (8)$$

$$x_2 = \frac{N_2}{N_1 + N_2}. \quad (9)$$

При вычислении химических потенциалов — уравнения (6) и (7) — в идеальном растворе ионных солей мы предположили, что анионы неразличимы и что различные микросостояния системы осуществляются только перестановками катионов. Это правильно для растворов, образованных солями $A_{n_1}B_{n_2}$ и $C_{n_3}B_{n_4}$, т. е. для растворов с равновалентными катионами. Однако в растворах с разновалентными катионами либо меняется валентность одного из катионов, либо появляются вакансии в катионной или анионной частях решетки. Эти процессы необходимы для компенсации избыточного заряда, возникающего при взаимной замене разновалентных катионов в растворе. Поскольку компенсация избыточного заряда чаще всего происходит за счет возникновения вакансий, то мы будем рассматривать только этот случай. Отметим, что речь идет не об обычных вакансиях (по Шоттки или по Френкелю), а только о вакансиях, обусловленных наличием в растворе разновалентных катионов. Здесь важны два случая. В первом случае вакансии существуют в кристаллической решетке одного из компонентов до образования раствора. Например, в решетке фтористого кальция ионы кальция занимают места шаров плотнейшей упаковки, а анионы фтора размещаются в пустотах. На один ион кальция приходится три пустоты, из которых две заняты ионами фтора, а одна свободна. Если вместо иона кальция в решетке фтористого кальция размещается ион иттрия (радиусы их примерно одинаковы), то дополнительный ион фтора размещается в свободной пустоте. Во втором случае вакансии возникают во время образования раствора. Так, при смешивании хлористого серебра и хлористого кадмия ион кадмия занимает место иона серебра, а для компенсации избыточного заряда иона кадмия соседнее с ним место иона серебра должно быть свободным.

Как повлияет возникновение вакансий в растворе на его термодинамические свойства? Можно думать, что возникновение вакансий приведет к увеличению числа микросостояний, и поэтому энтропия смешения

при наличии вакансий должна быть больше. Количественное определение увеличения энтропии смешения можно было бы провести, учитывая перестановки вакансия — ион. Такой путь указывается в работах Флода, Форланда [3, 4] и др. Однако он встречает существенные затруднения, поскольку вакансии не могут быть перемещены на места ионов без перемещения других ионов. Так, в растворе CaF_2-YF_3 мы не можем провести перестановку вакансия — анион без перестановки катионов. Следовательно, мы уже не можем подсчитывать число перестановок обычным путем. Поэтому представляется более целесообразным другой подход.

Как указывалось выше, в методе Темкина анионы следует считать неразличимыми. Критерием неразличимости анионов будем считать возможность перестановки катионов без перестановки анионов. Если такие перестановки возможны, то анионы неразличимы. В противном случае анионы различимы. Действительно, в растворе $AgCl-KCl$ мы не можем какой-нибудь из ионов хлора отнести к какому-либо иону калия или серебра. Если же отнесем какой-нибудь ион хлора к какому-либо иону калия, то при перестановке этого иона калия на ион серебра перемещения аниона не происходит и различимость анионов теряется. Напротив, в растворе $AgCl-CdCl_2$ при перестановке иона кадмия на ион серебра обязательно должен переместиться и один из анионов, окружающих ион кадмия. Следовательно, здесь ионы хлора, относящиеся к ионам кадмия и серебра, будут различимыми.

Таким образом, растворы ионных солей можно разделить на два класса:

1. Растворы, допускающие перестановки катионов без перестановки анионов.

2. Растворы, не допускающие перестановки катионов без перестановки анионов.

Для растворов первого класса энтропия смешения рассчитывается по уравнению (1) с учетом (4) и (5), что приводит к уравнениям (6) и (7) для химических потенциалов в идеальном растворе.

Для растворов второго класса справедливо соотношение (4), но поскольку анионы различимы, то вместо (5) будем иметь

$$W_- = \frac{(n_2N_1 + n_4N_2)!}{(n_2N_1)!(n_4N_2)!}. \quad (10)$$

Подставляя (4) и (5) в уравнение (1) и проводя обычные преобразования, получим для химических потенциалов идеального раствора следующие выражения

$$\mu_1 = \mu_{10} + n_1RT \ln \frac{n_1x_1}{n_1x_1 + n_3x_2} + n_2RT \ln \frac{n_2x_1}{n_2x_1 + n_4x_2}, \quad (11)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + n_3RT \ln \frac{n_3x_2}{n_1x_1 + n_3x_2} + n_4RT \ln \frac{n_4x_2}{n_2x_1 + n_4x_2}. \quad (12)$$

В области малых концентраций второго компонента уравнения (6), (7) и (11), (12) упрощаются. Для растворов первого класса

$$\mu_1 = \mu_{10}, \quad (13)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + n_3RT \ln \frac{n_3}{n_1} + n_3RT \ln x_2. \quad (14)$$

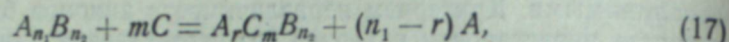
Для растворов второго класса

$$\mu_1 = \mu_{10}, \quad (15)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + n_3RT \ln \frac{n_3}{n_1} + n_4RT \ln \frac{n_4}{n_2} + (n_3 + n_4)RT \ln x_2. \quad (16)$$

Зная выражение химического потенциала в идеальном растворе, легко получить выражение для химического потенциала реального раствора путем введения коэффициента активности, т. е. в правых частях уравнений (6), (7), (11), (12), (13) — (16) мы должны записать член $RT \ln \gamma_i$, где γ_i — коэффициент активности компонента i .

К растворам первого класса относятся все твердые растворы, образованные солями $A_{n_1}B_{n_2}$ и $C_{n_1}B_{n_2}$. Но к растворам первого класса могут относиться и растворы, образованные солями с разновалентными катионами. Действительно, если мы сможем записать процесс образования твердого раствора по схеме



для таких растворов возможны перестановки катионов без перестановки анионов, и такие растворы следует отнести к первому классу. В табл. 1 представлены соли, которые могут образовывать растворы первого класса, т. е. для которых осуществима «реакция» (17).

Проверить правильность развитых здесь представлений можно на основании экспериментального материала по гетерогенным равновесиям в области разбавленных растворов. Так по результатам криоскопических измерений расплавленных солей можно было бы достаточно точно проверить уравнения (13) — (16). Однако эти результаты недостаточно точны и в настоящее время не могут дать однозначного ответа относительно вида химического потенциала в идеальных растворах ионных солей. Более определенные результаты могут быть получены при изучении сокристаллизации так называемых аномальных смешанных кристаллов из водных растворов.

Рассмотрим равновесие смешанных кристаллов $A_{n_1}B_{n_2} - C_{n_1}B_{n_2}$ с водным раствором этих солей. Обозначим твердую фазу одним штрихом, жидкую — двумя. Второй компонент (т. е. соль $C_{n_1}B_{n_2}$) в системе присутствует в незначительных количествах.

Пусть в твердой фазе находятся растворы первого класса. Тогда

$$\mu_1 = \mu_{10} + RT \ln \gamma_1 + RT \ln c_1^{n_1} c_a^{n_1}, \quad (18)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln c_2^{n_2} c_a^{n_2}, \quad (19)$$

где c_1 , c_2 и c_a — концентрация катионов A , C и аниона B в водной фазе. В состоянии равновесия

$$\mu_1 = \mu_2. \quad (20)$$

Значения для μ_i нам даны уравнениями (13) и (14). Из этих уравнений и из (18), (19) с учетом (20) можно найти, что

$$D = \frac{x_2 c_1}{x_1 c_2} = K c_1^{1-\alpha}, \quad (21)$$

где K — некоторая постоянная величина, определяемая только характером чистых веществ и коэффициентом активности, а

$$\alpha = \frac{n_1 n_2}{n_2 n_3}. \quad (22)$$

Для равновесий твердых растворов второго класса с водной фазой уравнения (18) и (19) уже применять нельзя. Действительно, в твердой фазе анионы различимы, а в жидкой они будут неразличимыми. Однако условие (20) означает равенство производных свободной энергии в твер-

дой и жидкой фазах, взятых по количеству компонента i . Изменение количества компонента i в фазах изолированной системы может быть проведено только путем перехода некоторого количества компонента (компонента, а не иона!) из одной фазы в другую. Поскольку наименьшей частицей компонента будет «молекула» $A_{n_1}B_{n_2}$ или $C_{n_1}B_{n_2}$, то в образовании «молекул», уходящих из водного раствора в кристалл, анионы будут различимы, т. е. в образовании, скажем, «молекулы» $A_{n_1}B_{n_2}$ примут участие не все анионы, а только часть их, равная $\frac{c_1}{c_1 + c_2} c_a$. Поэтому

вместо (18) и (19) мы должны записать

$$\mu_1 = \mu_{10} + RT \ln \gamma_1 + RT \ln c_1^{n_1} \cdot \left(\frac{c_1}{c_1 + c_2} c_a \right)^{n_1}, \quad (23)$$

$$\mu_2 = \mu_{20} + RT \ln \gamma_2 + RT \ln c_2^{n_2} \left(\frac{c_2}{c_1 + c_2} c_a \right)^{n_2}. \quad (24)$$

Из этих уравнений и уравнений (15) и (16) с учетом (20) получим

$$D = \frac{x_2 c_1}{x_1 c_2} = K' c_1^{1-\alpha'}, \quad (25)$$

где

$$\alpha' = \frac{(n_1 + n_2) n_4}{n_2 (n_3 + n_4)}, \quad (26)$$

а K' — некоторая величина, также определяемая только характером чистых компонентов и коэффициентами активности.

Уравнения (21) и (25) были получены ранее молекулярно-кинетическим методом и методами обычной термодинамики [5, 6]. Здесь дан более строгий их вывод, показывающий большую физическую сущность сделанных допущений.

Уравнения (21) и (25) отличаются друг от друга показателем степени, в которую возводится концентрация аниона. Этот показатель сравнительно легко определяется экспериментально. В работе О. Е. Звягинцева и М. Кырша [7] уравнение (21) проверялось на результатах экспериментального изучения кристаллизации смешанных кристаллов $Fe_4[Fe(CN)_6]_3 - Cs_4[Fe(CN)_6]$ из водных растворов. Величина α оказалась равной $1/3$. Последнее означает, что эти смешанные кристаллы нужно отнести к первому классу растворов. Из табл. 1 видим, что твердые растворы, образованные этими солями, действительно допускают возможность перестановок катионов без перестановок анионов. Схема образования твердого раствора в этом случае может быть записана так:



Экспериментальные данные В. Г. Хлопина и М. С. Меркуловой [8, 9] косвенно показывают, что для смешанных кристаллов $LaF_3 - RaF_2$ и $LaF_3 - ThF_4$ величина α определяется равенством (26), т. е. эти твердые растворы нужно отнести ко второму классу. Действительно, здесь перестановки катионов без перестановок анионов невозможны.

Таким образом, мы видим, что имеющийся экспериментальный материал подтверждает уравнения (21) и (25), а также существование

Таблица 1

Растворы ионных солей первого класса	
Заряд аниона	Формулы солей, образующих раствор
1	AB CB
2	A_2B A_2B C_2B CB
3	A_3B A_3B A_3B C_3B C_3B_2 CB
4	A_4B A_4B A_4B A_4B C_4B C_2B C_4B_3 CB

двух классов твердых растворов ионных солей. На других примерах, иллюстрирующих правильность развитых здесь представлений, мы остановились ранее [10].

В заключение отметим, что положение о неразличимости анионов в смешанных кристаллах (твердых растворах), образованных солями $A_{n_1}B_{n_2}$ и $C_{n_3}B_{n_4}$ ($n_1 \neq n_3$; $n_2 \neq n_4$), нами было выдвинуто ранее [6]. Однако в этой работе еще не был найден критерий неразличимости анионов. Более строгое рассмотрение, проведенное в данном исследовании, позволило найти критерий неразличимости анионов и провести четкое разделение растворов ионных солей на два класса, причем в первый класс, как мы видели выше, могут входить и некоторые растворы, образованные солями $A_{n_1}B_{n_2}$ и $C_{n_3}B_{n_4}$ ($n_1 \neq n_3$; $n_2 \neq n_4$).

Выводы

1. В работе предложен метод учета энтропии смешения в идеальных растворах ионных солей типа $A_{n_1}B_{n_2}-C_{n_3}B_{n_4}$.
2. Показано, что в отношении энтропии смешения, обусловленной анионами, идеальные растворы ионных солей могут быть разделены на два класса.
3. Имеющиеся экспериментальные данные хорошо подтверждают развитые в работе представления о роли энтропии смешения, обусловленной анионами.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
25/ХII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Темкин, ЖФХ, 20, 105 (1946).
2. В. А. Кожеуров, Термодинамика металлургических шлаков. Металлургиздат, Свердловск, 1955.
3. Н. Flood, T. Förland, Grjotheim. Z. anorg. Chem., 276, 289 (1954).
4. T. Förland. I. phys. Chem., 59, 152 (1955).
5. А. Н. Киргинцев, ЖНХ, 1, 2390 (1956).
6. А. Н. Киргинцев, ЖНХ, 3, 1447 (1958).
7. О. Е. Звягинцев, М. Кырш, ЖНХ, 4, 227 (1959).
8. В. Г. Хлопин, М. С. Меркулова, ДАН СССР, 65, 861 (1949).
9. В. Г. Хлопин, М. С. Меркулова, В сб. «Радиохимия». Изд. МГУ, М., 1952.
10. А. Н. Киргинцев, Изв. СО АН СССР, № 9, 1960.

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

КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЯТИ- И ЧЕТЫРЕХОКСИ ВАНАДИЯ УГЛЕРОДОМ

Как известно [1—4], из высших окислов ванадия (от V_2O_4 до V_2O_5) с помощью газообразных восстановителей можно получить как V_3O_5 , так и V_2O_3 . Низшие же окислы (VO_{1+x} , V_4O), а также металлический ванадий и его карбиды образуются либо в результате металлотермических, либо карботермических взаимодействий [5—7]. Не останавливаясь на подробном сопоставлении этих методов, отметим лишь, что в настоящее время в металлургии ванадия проявляется все больший интерес к последнему [8—11].

В связи с этим, а также широким использованием карботермических методов для получения карбидов (и оксикарбидов) [6, 7, 12—14] представляет определенный интерес изучение кинетики и механизма восстановления высших окислов ванадия углеродом. К сожалению, эти процессы до последнего времени изучены недостаточно. В работах [12, 13] приводятся интересные сведения о структурных особенностях отдельных фазовых составляющих системы V—C—O и отдельные соображения о последовательности превращений при восстановлении V_2O_3 углеродом.

Некоторые кинетические особенности карботермического восстановления V_2O_3 освещены в работах [9, 15, 16].

В этих исследованиях, выявивших ряд интересных особенностей обобщаемого взаимодействия, недостаточное внимание уделялось контролю за фазовым составом реагентов. Учитывая это, а также необходимость накопления фактических данных об особенностях углетермического восстановления не только трехоксида, но и высших окислов, мы предприняли настоящее исследование.

Исходные материалы и методика исследования

Использованный в работе препарат пятиоксида ванадия (ЧДА) содержал около 0,007% окислов тяжелых металлов и менее 0,1% SiO_2 . Он состоял из хорошо сформированных кристалликов, средний размер которых был близок к 15 μ . Четырехокись ванадия (V_2O_4) готовилась восстановлением V_2O_5 шавелевой кислотой при $\sim 500^\circ C$ [17].

В качестве восстановителя использовались тщательно измельченные и прокаленные в вакууме ($1200^\circ C$, 10^{-2} мм рт. ст.) в течение двух часов препараты спектрально чистого графита, кокса (9,5% золы), березового угля и сажи. Наконец, ряд опытов проводился с реагентами, активизированными добавками поташа.

Шихта готовилась тщательным смешением и дополнительным истиранием навесок компонентов. Ее состав соответствовал необходимому для образования карбида VC. Для обеспечения хорошего контакта

частиц шихты брикетировалась (при давлении около 2500 кг/см^2) в цилиндрики высотой и диаметром около 12 мм.

Кинетика восстановления изучалась весовым методом с одновременным контролем за составом выделяющейся газовой смеси (рис. 1).

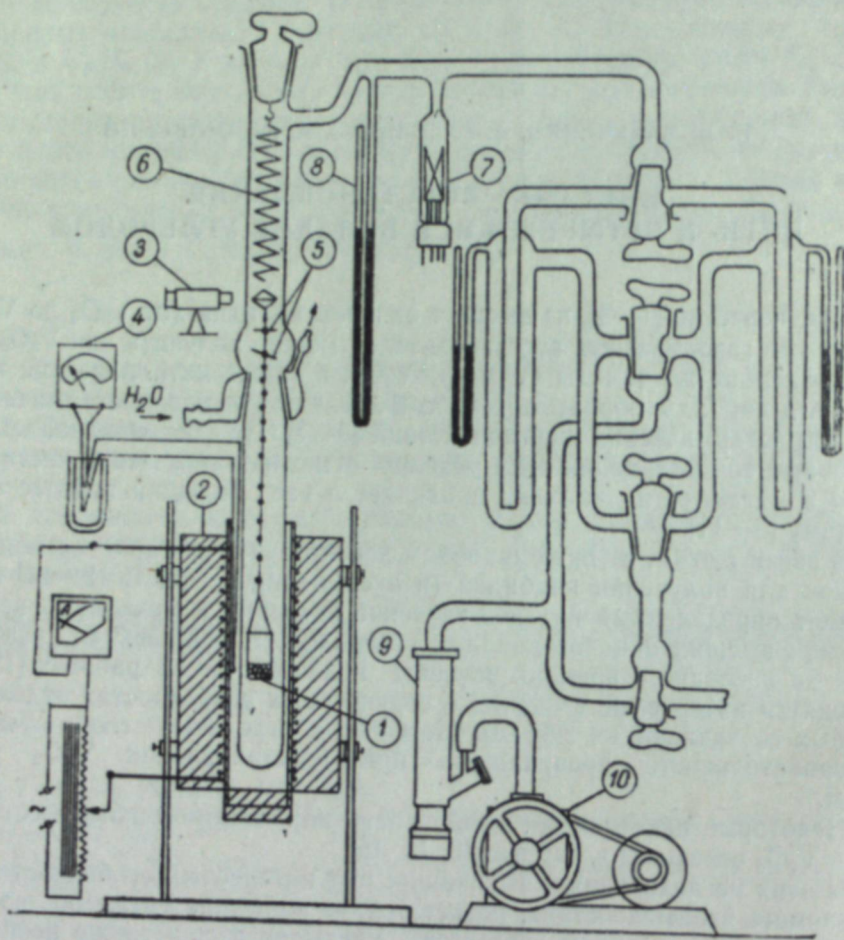


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — графитовый стаканчик с навеской, 2 — печь сопротивления, 3 — катетометр, 4 — милливольтметр, 5 — слюдяные зеркальные экраны, 6 — пружинный индикатор, 7 — лампа ЛТ-2, 8 — манометр, 9 — паромасляный диффузионный насос, 10 — вакуумный насос.

Навеска шихты около 2 г помещалась в графитовый тигелек, подвешиваемый внутри жаровой кварцевой трубки к концу пружинного индикатора. Наблюдение за весом системы осуществлялось с помощью катетометра, а также контролировалось взвешиванием (до и после опыта) на аналитических весах. Вспомогательная аппаратура позволяла осуществлять непрерывный контроль за температурой и давлением, а также периодически изучать состав газообразных продуктов реакции (система двух параллельно включенных ловушек, охлаждаемых жидким азотом).

Контроль за составом исходной шихты и конечных продуктов осуществлялся стандартными методами химического и рентгенофазового анализов. В последнем случае съемки осуществлялись в хромовом излучении в камерах РКД ($d = 57,3 \text{ мм}$) или ВРС ($d = 143,3 \text{ мм}$).

Экспериментальные данные

Процесс восстановления пятиоксида ванадия исследовался в связи с ее легкоплавкостью ($t_{пл} = 675^\circ \text{C}$) в интервале $550\text{--}650^\circ$, а четырехоксида — от 800 до 1200° .

Первая серия опытов была посвящена выяснению влияния внешней диффузии. С этой целью сопоставлялись данные, полученные при изучении кинетики взаимодействия реагентов в целых брикетах и в их обломках (размером от 2 до 4 мм). Не останавливаясь подробно на обсуждении полученного материала, отметим лишь, что скорости и степени восстановления окислов на разных стадиях взаимодействия в целых и измельченных брикетах мало отличались друг от друга (табл. 1).

Таблица 1

Влияние дробления брикетов на полноту восстановления V_2O_5 и V_2O_4 углеродом

Исходные реагенты	Температура нагрева, $^\circ\text{C}$	Время взаимодействия, мин.	Колич. отнятого кислорода, %	Примечание
Пятиокись ванадия и кокс	600	240	9,85	брикет
То же	600	240	10,3	кусочки
Пятиокись ванадия и древесный уголь	600	210	12,1	брикет
То же	600	210	11,95	кусочки
То же	650	180	21,2	кусочки
То же	650	180	21,9	брикет
Четырехокись ванадия и графит	900	210	21,5	брикет
То же	900	210	20,7	кусочки
Четырехокись ванадия и древесный уголь	1000	210	25,2	брикет
То же	1000	210	25,2	кусочки

Это говорит о том, что исследованные брикеты были достаточно газопроницаемыми и удаление окислов углерода заметно не обременяло всего процесса в целом. К такому же заключению приводят результаты аналитических и рентгенографических исследований, не обнаруживших различия в составе проб, отобранных из различных мест брикетов.

При изучении влияния температуры и сорта восстановителя на процесс восстановления выяснилось, что пятиокись ванадия восстанавливается углеродом в вакууме с заметными скоростями, начиная примерно с 550° . Однако при этой температуре степень восстановления остается весьма небольшой. Даже и при 600° (рис. 2) взаимодействие развивается относительно медленно и затормаживается после 10—12% отнятия кислорода. В результате, как показали рентгенографические исследования, в шихте обнаруживается небольшое содержание непрореагировавших V_2O_5 и графита, а также большие количества V_6O_{13} (переход V_2O_5 в V_6O_{13} связан с удалением около 13,3% O). При 650° восстановление развивается значительно интенсивнее и, например, при использовании древесного угля через два часа ведет к отнятию примерно 20% кислорода. В соответствии с этим рентгенографические исследования обнаруживают в продуктах реакции лишь четырехокись ванадия.

Скорость восстановления V_2O_5 существенно зависит не только от температуры, но и от сорта восстановителя (рис. 2). По своей активности восстановители располагаются в следующем порядке: графит, кокс,

сажа, древесный уголь. При этом различие в их реакционной способности при 650° проявляется в заметно большей мере, чем при 600° .

Четырехокись ванадия восстанавливается углеродом медленнее, чем V_2O_5 . Здесь (рис. 3, 4) заметное развитие взаимодействия обнаруживается примерно при 700° . С ростом температуры скорость процесса быстро увеличивается и в продуктах реакции обнаруживаются низшие окислы (и оксикарбиды).

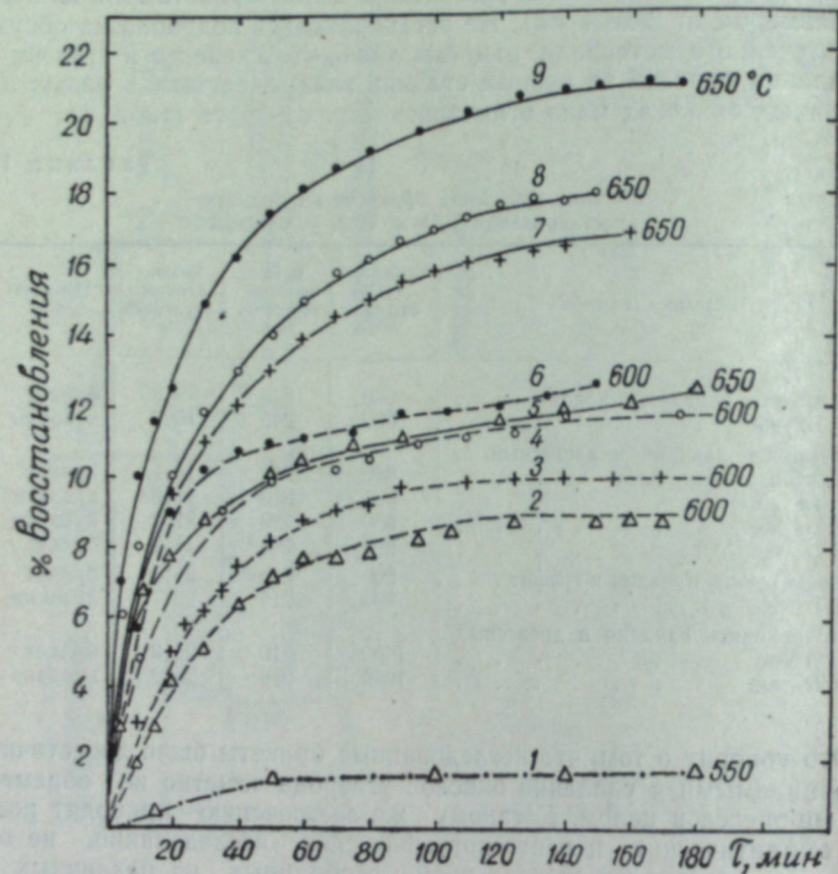


Рис. 2. Изотермы восстановления V_2O_5 углеродом.
1, 2 и 5 — графит, 3, 7 — кокс, 4, 8 — сажа, 6, 9 — древесный уголь.

Рентгенографические исследования препаратов, полученных в различных опытах, привели к данным, собранным в табл. 2.

Ни в одном случае, даже при глубокой степени восстановления, не обнаруживалось образования фазы, по составу соответствующей окислу V_2O_{2+x} [12, 13, 18—20]. Всегда вслед за образованием трехокиси ванадия наблюдалось формирование оксикарбидных фаз (ϵ и δ) [12, 13, 21].

При 800 и 900° (см. рис. 3) относительная активность различных сортов восстановителей сохраняется такой же, как и в случае низкотемпературного восстановления V_2O_5 : наиболее реакционноспособным является древесный уголь, затем сажа, кокс и графит. Следует отметить, что активности различных восстановителей и при высоких температурах существенно отличаются друг от друга.

Как известно, реакционная способность углеродистых материалов может существенно регулироваться добавками ряда веществ и, в частности, солей щелочных металлов. Для проверки эффективности этого

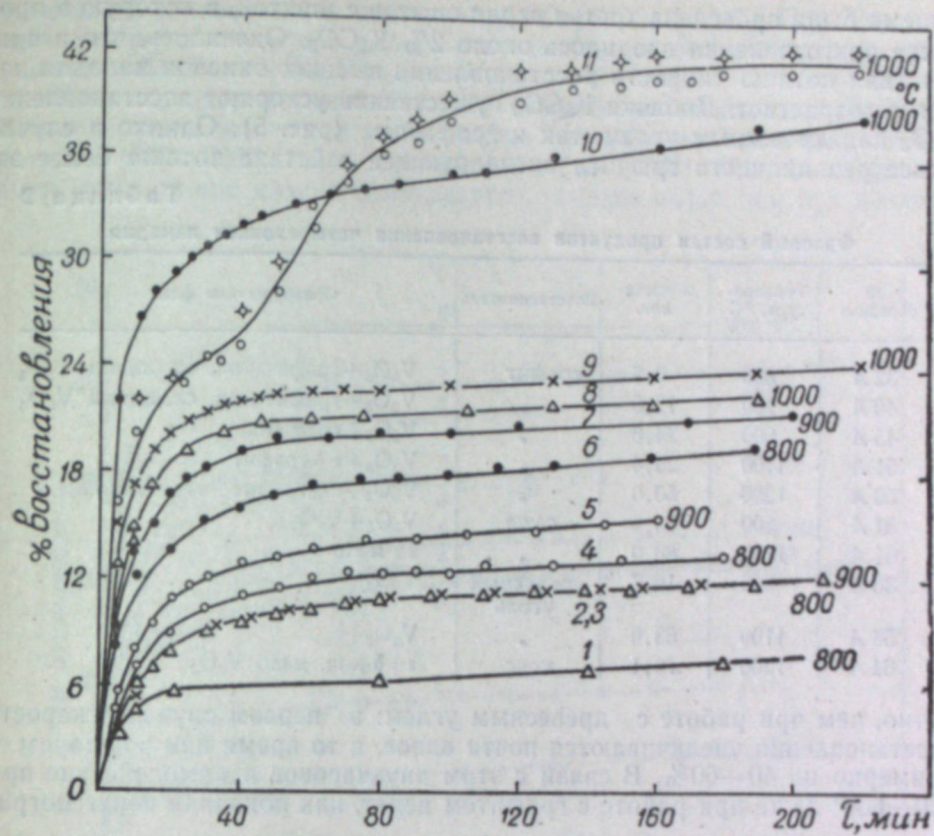


Рис. 3. Изотермы восстановления V_2O_4 углеродом.
1, 2, 8 — графит, 3, 9 — кокс, 4, 5, 11 — сажа, 6, 7, 10 — древесный уголь.

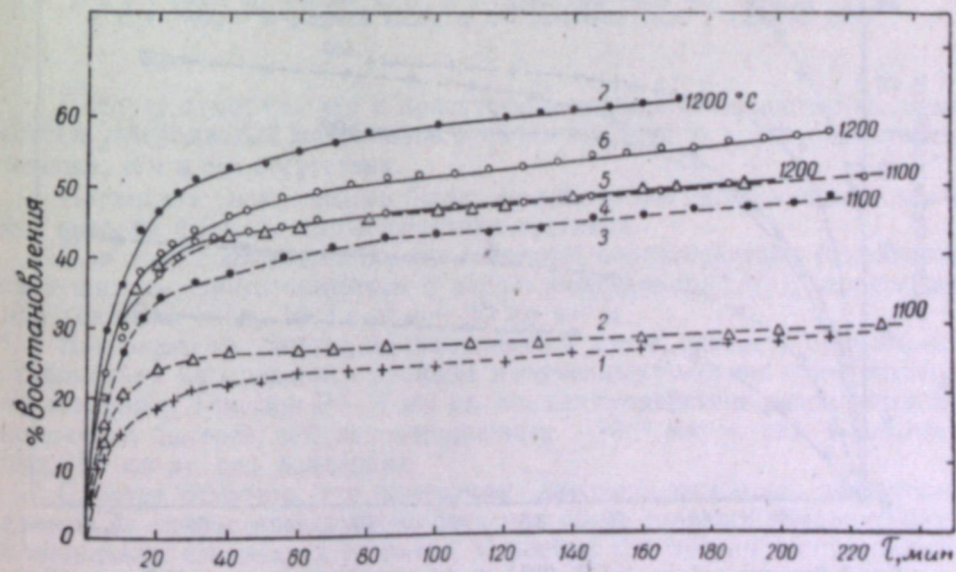


Рис. 4. Изотермы восстановления V_2O_4 углеродом.
1 — кокс, 2, 4 — графит, 5, 6 — сажа, 3, 7 — древесный уголь.

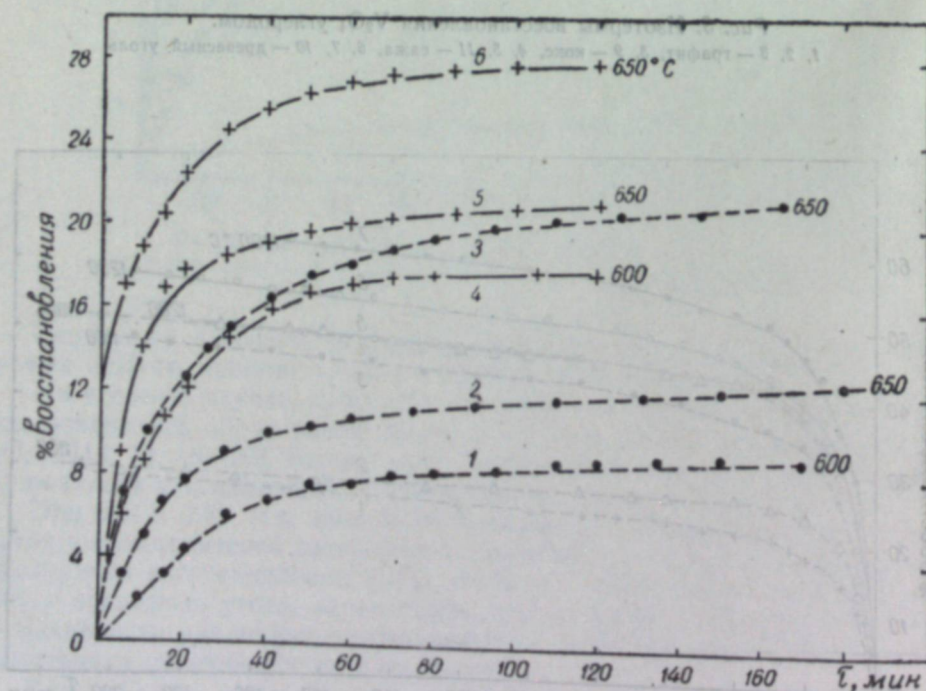
приема была проведена третья серия опытов с шихтой, в которую в процессе приготовления вводилось около 2% K_2CO_3 . Оказалось, что в присутствии поташа скорость восстановления высших окислов ванадия заметно возрастает. Добавки K_2CO_3 существенно ускоряют восстановление V_2O_5 как древесным углем, так и графитом (рис. 5). Однако в случае менее реакционного графита активирующее действие поташа более за-

Таблица 2

Фазовый состав продуктов восстановления четырехоксида ванадия

№ образцов	Температура, °C	% восстанов.	Восстановитель	Обнаруженные фазы
32 А	800	6,6	графит	V_3O_5 + графит + оч. сл. линии V_2O_4
40 А	900	12,5	"	V_3O_5 + графит + оч. сл. линии V_2O_3
45 А	900	24,6	"	V_2O_3 + графит
51 А	1100	29,4	"	V_2O_3 + ϵ + графит
59 А	1200	50,0	"	V_2O_3 + ϵ + графит + оч. сл. линии δ
31 А	800	13,4	сажа	V_3O_5 + V_2O_3
61 А	1200	80,0	"	ϵ + мало δ
36 А	900	19,7	древесный уголь	V_2O_3
56 А	1100	33,0	"	V_2O_3 + ϵ
64 А	1200	70,1	кокс	ϵ + δ + оч. мало V_2O_3

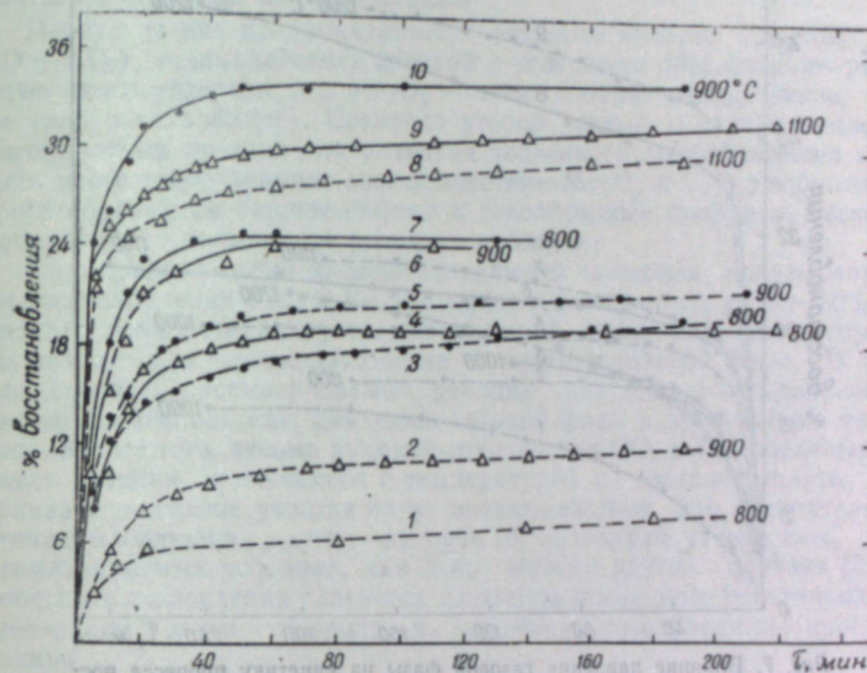
метно, чем при работе с древесным углем: в первом случае скорости восстановления увеличиваются почти вдвое, в то время как во втором — примерно на 40—60%. В связи с этим двухчасовое взаимодействие при 600—650° даже при работе с графитом ведет, как показали рентгеногра-

Рис. 5. Влияние добавки K_2CO_3 (2%) на кинетику восстановления V_2O_5 углеродом.

1, 2 — графит без добавки K_2CO_3 , 3 — древесный уголь без добавки K_2CO_3 , 4, 5 — графит с добавкой K_2CO_3 , 6 — древесный уголь с добавкой K_2CO_3 .

фические исследования, к полному переходу V_2O_5 в V_2O_4 . При более высоких температурах и при работе с древесным углем наблюдается образование и более низших окислов (V_3O_5).

Ускоряющее действие поташа на реакцию восстановления V_2O_4 графитом и древесным углем наблюдается (рис. 6) как при низких температурах (800—900°), так и при высоких (до 1100°). Однако эффективность добавок при низких температурах заметно выше, чем при высоких.

Рис. 6. Влияние добавки K_2CO_3 (2%) на восстановление V_2O_4 углеродом.

1, 2 — графит без добавки K_2CO_3 , 3, 4 — древесный уголь без добавки K_2CO_3 , 5, 6 — графит с добавкой K_2CO_3 , 7, 8 — древесный уголь с добавкой K_2CO_3 .

Следует отметить, что в присутствии поташа активности различных сортов углеродистых материалов отличаются друг от друга существенно меньше, чем в его отсутствии.

Последняя серия опытов была посвящена изучению влияния давления газовой фазы на характеристики процесса.

При этом сопоставлялись кинетические характеристики (относящиеся к шихтам, приготовленным с использованием графита), полученные при давлении около 10^{-2} , ~4 и ~20 мм рт. ст.

Как видно из данных, приведенных на рис. 7, скорость прямого восстановления четырехоксида ванадия в изученных условиях имеет оптимум по давлению. Так, при $P \sim 4$ мм рт. ст., взаимодействие развивается существенно быстрее, чем при пониженных (10^{-2} мм рт. ст.) и повышенных (20 мм рт. ст.) давлениях.

Следует отметить, что изменение давления наиболее эффективно влияло на скорости взаимодействия при более высоких температурах и в начальных стадиях их развития. С ростом же степени восстановления различия сглаживались. Судя по тангентам изотерм рис. 7, при переходе от V_2O_4 к V_2O_3 и более низшим кислородным соединениям ванадия намечается изменение соотношения скоростей, хотя полнота восстанов-

ления за заданный отрезок времени остается большей при работе с давлением газовой фазы около 4 мм рт. ст.

Отметим, что состав газовой фазы ($\text{CO} + \text{CO}_2$), образующейся в процессе восстановления, существенно менялся с изменением температуры и состава шихты. При работе как с V_2O_5 , так и с V_2O_4 содержание

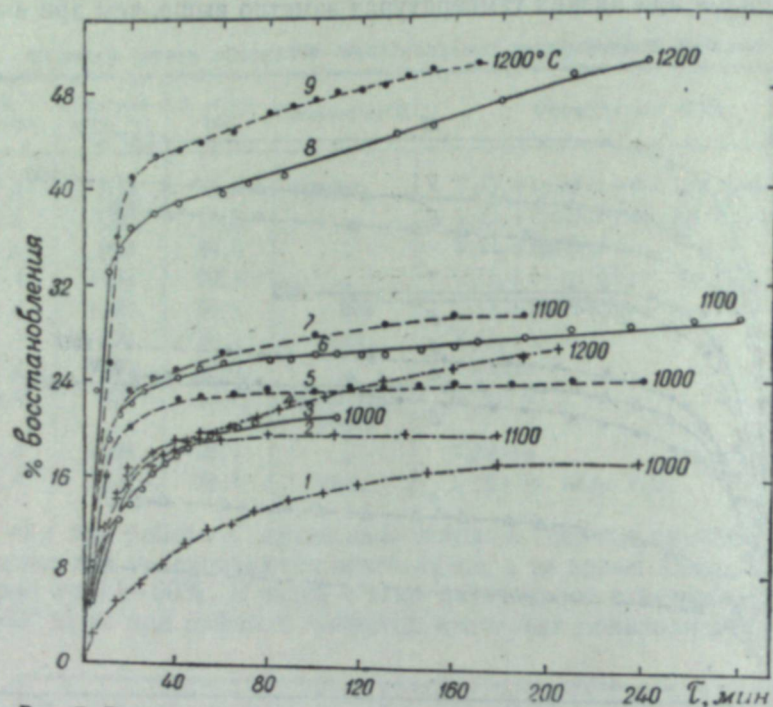


Рис. 7. Влияние давления газовой фазы на кинетику процесса восстановления V_2O_4 графитом.
3, 6, 8 — $P \approx 10^{-2}$ мм рт. ст., 5, 7, 9 — $P \approx 4$ мм рт. ст., 1, 2, 4 — $P \approx 20$ мм рт. ст.

двуоксида углерода в газовой фазе закономерно убывало (при одинаковой степени восстановления) с ростом температуры и активностью восстановителя. Иллюстрацией этого могут служить данные, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Среднее содержание CO_2 в газовой фазе, образующейся при прямом восстановлении V_2O_5 и V_2O_4 (при степени восстановления около 10%)

температура, °C	V_2O_5		V_2O_4		
	восстановитель	% CO_2	температура, °C	восстановитель	% CO_2
600	Графит	61,0	800	Графит	38,4
	Кокс	59,6		Графит + 2% K_2CO_3	30,5
	Древесный уголь	44,0		Графит	37,0
	Графит + 2% K_2CO_3	40,0		Графит + 2% K_2CO_3	29,0
650	Графит	59,0	1200	Кокс	18,3
	Кокс	62,0		Сажа	8,5
	Древесный уголь	45,0		Древесный уголь	7,5
	Графит + 2% K_2CO_3	45,0			

Эти данные указывают также на то, что удаляемая из шихты газовая смесь во всех случаях является существенно окислительной по отношению к углероду.

Обсуждение результатов

Процесс прямого восстановления окислов, по-видимому, может развиваться в основном по двум схемам*.

Первая из них предусматривает активное участие газовой фазы ($\text{CO} + \text{CO}_2$), взаимодействие которой с углеродом обеспечивает регенерацию окиси углерода, а с Me_xO_y — ведет к образованию низших окислов (или оксикаридов). Согласно второй схеме, в случае весьма неблагоприятных условий для развития косвенного восстановления может иметь место диффузионное взаимодействие Me_xO_y и C, в результате которого образуются низшие окислы и газообразные продукты, несколько обременяющие дальнейшее развитие процесса.

Приведенный выше экспериментальный материал показывает, что при восстановлении V_2O_5 и V_2O_4 углеродом (с отнятием до 50—70% кислорода) процесс лимитируется не взаимной диффузией конденсированных реагентов, а взаимодействиями с участием газовой фазы. В самом деле, скорость рассматриваемых реакций достаточно чувствительна к природе восстановителя, давлению газовой фазы и присутствию активаторов. Кроме того, весьма высокие содержания CO_2 в газообразных продуктах реакции, меняющиеся с температурой и составом шихты, подчеркивают активное участие ее во взаимодействии. Это обстоятельство, а также наблюдения других авторов [9] позволяют утверждать, что в рассматриваемых условиях, как и во многих других случаях [22, 23] процесс восстановления складывается из этапов косвенного восстановления, регенерации окиси углерода и удаления газообразных продуктов реакции.

Последняя стадия не оказывает заметного влияния на суммарную скорость процесса, так как его кинетические характеристики не зависят от степени измельчения брикетов и условий их приготовления [9]. Все это, а также высокая чувствительность показателей процесса к сорту восстановителя, добавкам поташа, давлению и температуре позволяют говорить о большой скорости этапа внешней диффузии, облегчающейся с развитием взаимодействия.

Как было показано ранее [17], внутрикристаллическая подвижность ионов кислорода и ванадия также достаточно велика, начиная уже с 400° . С ростом же температуры она быстро увеличивается и не обременяет процесса в целом. Таким образом, выясняется, что медленными этапами процесса восстановления являются адсорбционно-химические взаимодействия с участием газовой фазы. При этом резко окислительный состав газовой фазы по отношению к углероду, а также высокая чувствительность процесса к сорту восстановителя говорят о существенных осложнениях с регенерацией окиси углерода. Именно в связи с этим добавки поташа заметно интенсифицируют взаимодействие (особенно при низких температурах и при работе с мало активными восстановителями).

Правда, как отмечалось ранее [22—27], соли щелочных металлов ускоряют не только газификацию углерода, но и этап косвенного восстановления. Однако в связи с тем, что эффект добавки K_2CO_3 существенно

* Особенности процессов с участием жидких фаз, а также летучих окислов восстанавливаемого элемента здесь не обсуждаются.

зависит от природы восстановителя (см. рис. 5, 6), можно с уверенностью говорить, что в рассматриваемых условиях имеет место ускорение обоих этапов. Об этом же говорит и то, что в присутствии K_2CO_3 намечается сближение активностей различных восстановителей.

Особо следует остановиться на причинах быстрого замедления процесса, наблюдаемого при относительно небольших степенях восстановления (см. рис. 2—4). Поскольку описываемые эксперименты осуществлялись в условиях, далеких от равновесия, обсуждаемые эффекты носили чисто кинетический характер. Здесь, по-видимому, следует считать с двумя обстоятельствами.

Прежде всего топочимический характер превращения обуславливал его развитие с поверхности кристаллов окислов. В результате несколько затормаживалась диффузия ионов в решетке окислов и замедлялось взаимодействие последних с газовой фазой.

Более важным, по-видимому, является торможение регенерации окиси углерода, обусловленное, с одной стороны, расходом наиболее активных атомов кристаллов графита и их блокированием комплексами, а с другой — уменьшением концентрации CO_2 и активирующего действия ионов металлов (особо сильного в условиях контакта окисла с графитом). Это, в частности, видно из того, что кинетические показатели процесса во всех случаях оказываются весьма чувствительными к сорту восстановителя, давлению, условиям контакта реагентов, температуре, а состав газовой фазы остается резко окислительным по отношению к углероду.

Как было показано ранее [26, 28, 29], в общем случае зависимость скорости процесса от давления газовой фазы носит экстремальный характер. При этом максимум скорости достигается при давлениях, в известной мере пропорциональных упругостям диссоциации окислов (от 2 атм для NiO [28] до долей мм рт. ст. для Cr_2O_3 [22]).

В связи с этим в рассматриваемом случае высших окислов ванадия были найдены, как и следовало ожидать, промежуточные значения, близкие к 4 мм рт. ст.

Важность этапа косвенного восстановления может быть аргументирована и структурой изотерм. Они по своему виду напоминают ранее описанные [17] для восстановления высших окислов ванадия водородом и характеризуются почти равномерным спадом скорости взаимодействия со временем. Отсутствие достаточно четкого периода нарастания скорости процесса со временем в данном случае обусловлено высокой дисперсностью и развитостью дефектов и поверхностных искажений, обеспечивающих весьма быстрое формирование сплошной реакционной зоны. Этому же способствует высокая подвижность ионов ванадия и кислорода в высших окислах [17], которая ведет к относительно легкой (например, по сравнению с Cr_2O_3 [22]) перестройке решеток исходных окислов в продуктах их восстановления.

В заключение отметим, что восстановление высших окислов ванадия углеродом развивается с промежуточным образованием низших окислов и оксикарбидов. Вероятно, первый этап восстановления V_2O_5 до V_2O_4 не отличается от ранее рассмотренного ($V_2O_5 \rightarrow V_5O_{13} \rightarrow V_2O_4$) [17]. Дальнейшее восстановление V_2O_4 , по-видимому, также происходит с образованием некоторых промежуточных окислов. Правда из большого их количества [18] обнаруживаются лишь фазы $VO_{1.87}$, V_3O_5 и V_2O_3 . Не останавливаясь на причинах этого обстоятельства — оно было обсуждено нами ранее [30], отметим, что все образующиеся промежуточные (между V_2O_4 и V_2O_3) фазы являются чисто оксидными.

Восстановление V_2O_3 углеродом сопровождается существенным усложнением фазового состава продуктов реакции, обусловленного известной склонностью к образованию оксикарбидов [12, 13, 21]. Ни разу, ни при проведении описанных выше опытов, ни при постановке специальных исследований с шихтами разного состава, нам не удавалось обнаружить в продуктах восстановления V_2O_3 ни V_2O_{2+x} , ни V_4O .

В этом отношении наши результаты существенно отличаются от приведенных в работе [15] и лучше согласуются с наблюдениями [13].

Надо полагать, что восстановление V_2O_3 углеродом сводится не только к удалению из кристаллической решетки окисла кислорода, но и к вхождению в нее углерода. Естественно, что эти процессы хотя в известной мере и взаимосвязаны, однако обуславливают возможность формирования оксикарбидных фаз $V_xO_yC_z$ весьма разного состава. Обычно при температурах, близких к 1100° , и степенях восстановления около 70% рентгенографически наблюдалось сначала образование ϵ -фазы (т. е. богатого углеродом оксикарбида), а затем уже δ -фазы (с меньшим содержанием углерода). Эта последовательность в образовании оксикарбидов не согласуется с установленной в работах [12, 13].

Причины этого обстоятельства, как нам кажется, имеют весьма существенное значение, в связи с чем их обсуждению будет посвящена специальная публикация.

Уральский филиал АН СССР

Поступила в редакцию
26/XII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Спенсер, I. L. Justice, J. Amer. Chem. Soc., 56, 2306 (1934).
2. Г. Брауэр, Руководство по препаративной неорганической химии. ИЛ, 1956.
3. А. Ю. Поляков, А. М. Самарин. Успехи химии, 19, 564 (1950).
4. М. Фох, J. Rech. C. N. R. S., 4, 238 (1952).
5. У. Ростокер, Металлургия ванадия, ИЛ, 1959.
6. Г. В. Самсонов, Я. С. Уманский, Твердые соединения тугоплавких металлов. Металлургиздат, 1957.
7. Р. Киффер, П. Шварцкопф. Твердые сплавы. Металлургиздат, 1957.
8. W. A. Kroll, A. W. Schlechten, Trans. Electrochem. Soc., 93, 274 (1948).
9. Р. А. Карасев, В. И. Кашин, М. С. Макуни, А. Ю. Поляков, А. М. Самарин, Изв. АН СССР, ОТН, № 4, 94 (1956).
10. М. С. Макуни, А. Ю. Поляков, А. М. Самарин, Изв. АН СССР, ОТН, металлург. и топл., № 2, 35 (1959).
11. А. Ю. Поляков, В сб. Применение вакуума в металлургии, Изд. АН СССР, 1957, стр. 17.
12. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт, ДАН СССР, 96, 1165 (1954).
13. М. А. Гуревич, Б. Ф. Ормонт, ЖНХ, 2, 1566, 2581 (1957); 3, 403 (1958).
14. В. И. Желанкин, В. С. Куцев, Б. Ф. Ормонт, ЖНХ, 3, 1237 (1958).
15. Г. В. Самсонов, Укр. хим. журн., 23, 287 (1957).
16. В. П. Елютин, Р. Ф. Меркулова, Ю. А. Павлов. Научн. докл. высш. школы, Металлургия, № 3, 10 (1958).
17. И. И. Матвеев, П. В. Гельд, С. И. Алямовский. Изв. высш. уч. завед., раздел «Черная металлургия», № 4, 13 (1959).
18. G. Anderson, Acta Chem. Scand. 8, 1599 (1954).
19. N. Schönberg, Acta Chem. Scand. 8, 221 (1954).
20. Э. Вольф, С. С. Толкачев, И. И. Кожина. Вестник Ленингр. ун-та, № 10, 87 (1959).
21. H. Krainer, K. Koporsky, Berg. und Hüttenmann Mh., 92, 166 (1947).
22. Ю. О. Есин, П. В. Гельд, ЖПХ, 31, 1285 (1958).
23. П. В. Гельд, Г. П. Швейкин. Изв. АН СССР, ОТН, металлург. и топл., № 1, 44 (1959).
24. П. В. Гельд, О. А. Есин, ДАН СССР, 73, 541 (1950).

25. П. В. Гельд, О. А. Есин, Н. Н. Серебренников. Тр. Уральск. политехн. ин-та, сб. 49, 163 (1954).
 26. П. В. Гельд. Успехи химии, 26, 1070 (1957).
 27. С. С. Лисняк, Г. И. Чуфаров. ДАН СССР, 126, 831 (1959).
 28. E. Iwaniewicz, Archiwum górnictwa i hutnictwa, 1, 131 (1953); 3, 131 (1955).
 29. П. В. Гельд. Тр. Уральск. политехн. ин-та, сб. 72, 173 (1957).
 30. П. В. Гельд, С. И. Алямовский, И. И. Матвеевко. Уточнение области применимости принципа последовательности превращений академика А. А. Байкова. Доклад на V конф. по физ-хим. основам производства стали, Ин-т металлургии им. А. А. Байкова АН СССР, М., 1959

Н. И. ПОПОВА, Е. Е. ВЕРМЕЛЬ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА
КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ПРОПИЛЕНА

Сообщение 4.

Исследование влияния реакционной системы на фазовый состав
и активность медного катализатора*

В последние годы многие исследователи [1—5] обращают внимание на значительные изменения свойств катализаторов, происходящие под воздействием самой каталитической реакции. По мнению Г. К. Борескова [1], изменение свойств катализатора под воздействием реакционной системы носит общий характер, т. е. процесс катализа всегда включает в себя две стороны: воздействие катализатора на реакцию, направляемую им определенным образом, и, с другой стороны, воздействие реакционной системы, т. е. реагирующих газов, температуры, давления и т. д., на катализатор, приводящее к изменению его каталитических свойств. Под воздействием реакционной системы с течением каталитического процесса устанавливается некоторое стационарное состояние катализатора, зависящее от состава реакционной смеси. При изучении каталитического процесса окисления пропилена в акролеин, мы, как и другие исследователи [1, 2], столкнулись с явлением резкого изменения химического состава катализатора в процессе реакции. Важным свойством медного катализатора является большая легкость аналитического исследования системы $\text{CuO} + \text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}$, что очень важно при изучении катализаторов на носителях, так как рентгенографический и электронографический анализы в таких случаях очень неточны и могут дать лишь качественную картину химических превращений на катализаторе.

Целью данной работы было детальное изучение изменения химического состава медного катализатора в зависимости от различных параметров каталитического процесса окисления пропилена в акролеин и влияния этого изменения на активность катализатора.

Методика эксперимента

Опыты окисления пропилена проводились в проточной установке. Стекланный U-образный реактор помещался в расплавленную селитрянную баню, при этом температура в зоне катализатора регулировалась обогревом бани. Исследовались окисномедные, закисномедные и медные катализаторы, нанесенные на карбид кремния (силит) в концентрации 0,5—5%. Удельная поверхность их колебалась около $1 \text{ м}^2/\text{г}$. Катализаторы анализировались на содержание одновалентной, двухвалентной и металлической меди по Тананаеву [6]. Карбонильные со-

* Доложено на Ученом совете по химическим наукам СО АН СССР 7/IV 1960.

единения определялись в виде 2, 4-динитрофенилгидразонов акролеида полярнографическим методом. Ректификация продуктов окисления пропилена на медных катализаторах показала, что процесс идет очень селективно. Другие карбонильные соединения, помимо акролеина, образуются в лабораторных опытах в виде ничтожных примесей [7]. Кроме акролеина, в значительных количествах, особенно при проведении процесса в диффузионной области, получены лишь продукты дальнейшего превращения акролеина, главным образом полимеры. Вследствие этого активность катализатора характеризовалась съемом карбонильных соединений с литра катализатора в час.

Во всех опытах дается анализ всего катализатора, загружаемого в реактор. Предварительными анализами катализатора, проведенными по слоям, было показано, что при условии проведения окисления в кинетической области, при отсутствии перепада температуры вдоль слоя катализатора, фазовый состав его по слоям не изменяется. Эти данные были подтверждены опытом окисления, проведенным с узким слоем катализатора (5 мм) и сравнительно высокой линейной скоростью исходных газов (0,1 м/сек).

Влияние фазового состава исходного катализатора

Чтобы рассмотреть изменение фазового состава медного катализатора в процессе реакции, были приготовлены катализаторы с одинаковым содержанием (1,2%) меди на карбиде кремния, но нанесенные в виде окиси, закиси или металлической меди. Опыты окисления проводились при 370°С, объемной скорости 2000, соотношении пропилена и кислорода 7,5 : 1. Контактное время велось в течение часа, после чего катализатор анализировался.

Таблица 1

Изменение химического состава медных катализаторов в процессе окисления пропилена

№ опыта	Состав катализатора (в пересчете на вес. % Cu)						Код-во молей пропилена, превратившегося за 1 час на 1 л катализатора в		
	до опыта			после опыта			карбонильные соединения	акролеин	CO ₂
	Cu'	Cu*	Cu	Cu'	Cu*	Cu			
1	4,6	4,6	90,8	74,3	22,9	2,8	1,7	—	—
2	0,0	100	0,0	69,5	30,5	0,0	1,8	1,0	1,6
3	93,7	6,3	0,0	69,8	30,2	0,0	—	—	—
4*	0,0	100	0,0	78,0	21,5	0,5	2,6	2,0	0,5

* Контактное время велось в течение 8 часов.

Как видно из табл. 1, катализатор уже после часа работы независимо от исходного состава приходит в некоторое стационарное состояние, при этом содержание окислов колеблется в следующем соотношении: около 70% закисной меди и 30% окисной меди.

При более длительном контактировании (табл. 1, опыт 4) степень восстановления катализатора несколько увеличивается, соответственно растет и выход карбонильных соединений.

Влияние температуры процесса на фазовый состав катализатора и его активность

Температура процесса, как видно из табл. 2, сильно сказывается на изменении фазового состава катализатора. Однако во всем исследованном диапазоне температур, хотя и с разной скоростью, устанавливается стационарный фазовый состав катализатора.

Таблица 2

Влияние температуры на фазовый состав медного катализатора и его активность

№ опыта	Средняя температура из катализатора, °С	Исходный состав катализатора (в % от носителя)	Состав катализатора после опыта, %			Съем карбонильных соединений	% превращения пропилена	Селективность, %
			Cu*	Cu'	Cu			
1*	300	1,5% CuO	50,0	50,0	0,0	0,0	—	—
2	300	1,5% CuO	93,0	7,0	0,0	5,8	0,27	47,0
3	300	0,45% CuO	26,5	73,5	0,0	39,5	—	—
4**	300	1,05% Cu ₂ O	27,7	72,3	0,0	48,4	1,13	86,2
5	300	0,65% Cu ₂ O	31,0	69,0	0,0	51,0	—	—
6	325	0,39% CuO	33,3	66,7	0,0	39,6	1,79	49,0
7	370	1,5% CuO	30,0	70,0	0,0	167,3	3,90	79,1
8	425	1,5% CuO	18,3	61,9	19,8	31,6	3,82	19,2
9	435	1,5% CuO	24,7	43,8	31,5	—	—	—
10	430	0,5% CuO	35,7	63,4	0,0	67,5	3,23	46,7

* В опыте над катализатором пропусклся в течение 30 мин. один пропилен.

** Опыт продолжался 8,5 часов.

Сравнение фазового состава в опытах 2—7 показывает, что для изучаемой каталитической реакции имеют место два параллельно текущих процесса: процесс восстановления окислов меди, протекающий в условиях большого избытка пропилена в газовой смеси, и каталитический процесс окисления пропилена. В начале реакции окись меди восстанавливается; пока не достигнут стационарный состав, скорость каталитического процесса меньше скорости восстановления; но как только стационарный состав достигается, скорость каталитического процесса резко возрастает, превышая скорость параллельно текущего процесса восстановления. С этого момента фазовый состав катализатора определяется только скоростью каталитического процесса, которая также становится стационарной. При температуре выше 400° наблюдается обратное соотношение скоростей процессов, в составе катализатора появляется металлическая медь, и поэтому наблюдается качественное вырождение реакции окисления пропилена в акролеин в реакцию полного окисления пропилена.

С другой стороны, несмотря на то, что стационарный состав катализатора в пределах от 300 до 370° почти не меняется, скорость процесса окисления пропилена до акролеина резко растет с температурой. Вероятно, это связано с повышением скорости хемосорбции пропилена с температурой или с возникновением, как это показала Л. Я. Марголис, более реакционной формы связи кислорода и окислов меди при более высоких температурах [8, 9].

Влияние состава исходной газовой смеси

Изменение фазового состава медного катализатора (исходный состав — 1,2% Cu на карбиде кремния) и его активность в зависимости от концентрации кислорода в исходной газовой смеси показаны на рис. 1. Как видно из рисунка, обе зависимости носят линейный характер. При этом активность катализатора находится в прямой зависимости от его относительного фазового состава (рис. 2).

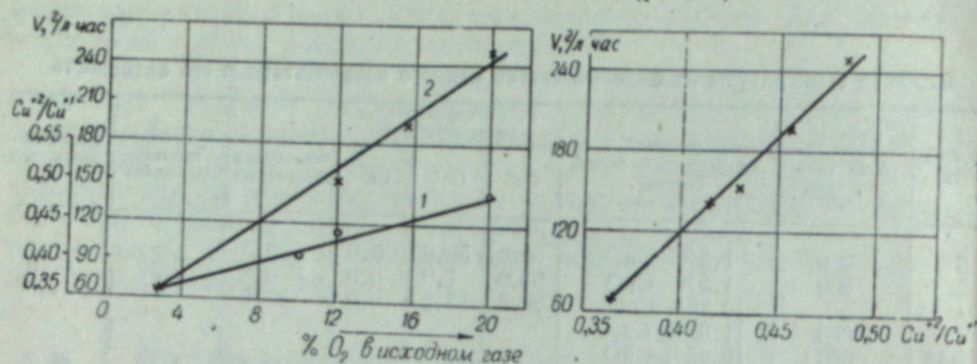


Рис. 1. Изменение фазового состава (1) и активности (2) медного катализатора (1,5% CuO на силите) в зависимости от содержания кислорода в исходной газовой смеси.

Рис. 2. Зависимость активности медного катализатора (1,5% CuO на силите) от относительного фазового состава.

Влияние объемной скорости

При изучении влияния объемной скорости на изменение фазового состава наблюдается резкое различие для кинетической и диффузионной областей. Как видно из рис. 3, 4, в кинетической области равновесный состав катализатора вполне стационарен, в диффузионной области наблюдается резкое изменение состава катализатора с изменением объемной скорости.

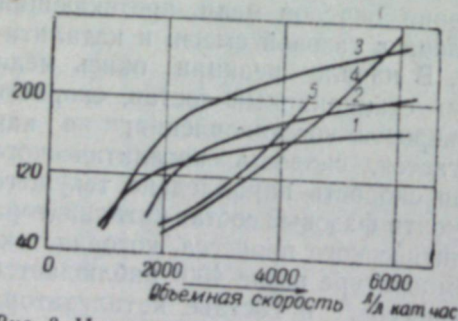


Рис. 3. Изменение сѐма карбонильных соединений в граммах с литра катализатора в час в зависимости от объемной скорости. Концентрация окиси меди на силите: 1 — 0,5%, 2 — 1%, 3 — 1,5%, 4 — 2,5%, 5 — 5%.

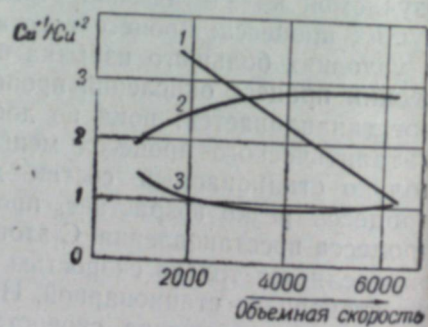


Рис. 4. Изменение фазового состава медного катализатора в зависимости от объемной скорости. 1 — 1,5% CuO на силите, 2 — 0,5% CuO на силите, 3 — 3% CuO на силите.

Влияние концентрации окиси меди на носителе

Наблюдается значительное изменение равновесного фазового состава катализатора в зависимости от концентрации окиси меди на носителе (рис. 5), при этом неожиданно оказалось, что для менее концен-

трированных по меди катализаторов степень восстановления меньше, для более концентрированных — больше. По-видимому, в данном случае стационарный состав катализатора связан с взаимодействием между носителем (карбид кремния) и окислами меди, приводящим к изменению электронной структуры поверхности катализатора.

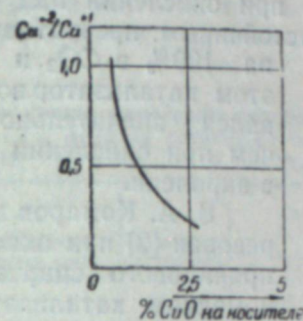


Рис. 5. Изменение фазового состава медного катализатора в зависимости от концентрации меди на носителе (силите). Объемная скорость во всех опытах — 6000, температура — 370°.

Изменение фазового состава окисномедного катализатора под влиянием окисления других органических веществ

Окислению подвергались акролеин, пропионовый альдегид и смесь пропана и пропилена. Опыты проводились на катализаторе, содержащем 1,5% окиси меди на карбиде кремния, при температуре 370° и объемной скорости 2000. Альдегиды окислялись в газообразном состоянии, для чего через барботер с альдегидами пропускался поток азота, который затем смешивался с кислородом и подавался в реактор. Количество пропущенного через катализатор альдегида измерялось по убыли в весе барботера. Анализ продуктов окисления производился описанными выше методами.

Таблица 3

Влияние природы окисляемого вещества на химический состав и активность медного катализатора

№ опыта	Окисляемое вещество	Содержание O ₂ в исходном газе, объемн. %	Состав катализатора после опыта, %			Степень превращения, %
			Cu ⁺	Cu ²⁺	Cu	
1	Акролеин	0	5,7	45,7	49,6	4,8
2	»	5	66,7	33,7	0,0	38,5
3*	»	5	32,6	67,4	0,0	2,2
4	Пропионовый альдегид	5	19,2	69,9	10,2	96,0
5*	»	5	—	—	—	97,2
6	Смесь: пропилен 81%, пропан 4%	15	26,2	73,8	0,0	—
7	Смесь: пропилен 75%, пропан 10%	15	22,4	77,6	0,0	—
8	Пропилен	15	30,5	69,5	0,0	4,0

* Опыты проводились при объемной скорости 6000.

Как видно из табл. 3, при окислении различных веществ в одинаковых условиях фазовый состав медного катализатора изменяется по-разному.

Уже небольшая добавка пропана к пропилену приводит к более сильному восстановлению катализатора, чем при окислении чистого пропилена.

Акролеин в условиях наших опытов оказался достаточно устойчивым, а с уменьшением времени контакта до 0,6 сек. превращения акролеина на катализаторе почти не наблюдалось. При этом стационарный состав катализатора для реакции окисления акролеина близок к такому при окислении пропилена.

Напротив, пропионовый альдегид при окислении над окисномедным катализатором оказался очень неустойчивым, превратившись почти на 100% в CO_2 и H_2O . При этом катализатор восстанавливался значительно сильнее, чем при окислении пропилена в акролеин.

В. А. Комаров и Н. С. Буревая [2] при окислении изопропилового спирта на окисномедном катализаторе установили, что в условиях этого процесса окись меди восстанавливается почти полностью до меди, т. е. стационарный фазовый состав для этого процесса колеблется около 5% Cu_2O и 95% Cu .

Сравнение кривых поглощения в ультрафиолетовом спектре продуктов окисления пропилена и акролеина (рис. 6) показывает, что характер кривых идентичен.

При этом максимум поглощения при $\lambda = 315 \text{ м}\mu$ соответствует акролеину, а наличие второго максимума на

кривых, по-видимому, соответствует продуктам окисления акролеина. Идентичный характер кривых поглощения дает основание предполагать, что образование побочных продуктов окисления пропилена обусловлено главным образом частичным окислением акролеина.

Обсуждение результатов

Результаты приведенных выше исследований показывают, что в процессе окисления пропилена в акролеин на окисномедном катализаторе идут две основные сопряженные реакции: реакция восстановления окислов меди пропиленом и реакция окисления пропилена в акролеин. Химическое изменение медного катализатора обуславливает его активность при образовании акролеина. Как видно из табл. 4, прокаленные при высокой температуре окислы меди потеряли свойство восстанавливаться (опыт 1) или окисляться (опыт 2), и их активность в реакции окисления пропилена в акролеин резко упала. Эти данные, а также зависимость активности катализатора от соотношения окиси и закиси меди на носителе говорят о том, что и закись и окись меди являются катализаторами окисления пропилена в акролеин. Активный катализатор должен содержать оба окисла в определенном соотношении.

Механизм реакции восстановления окислов металлов изучен И. Г. Чуфаровым с сотрудниками [10]. Ими выдвинута адсорбционно-

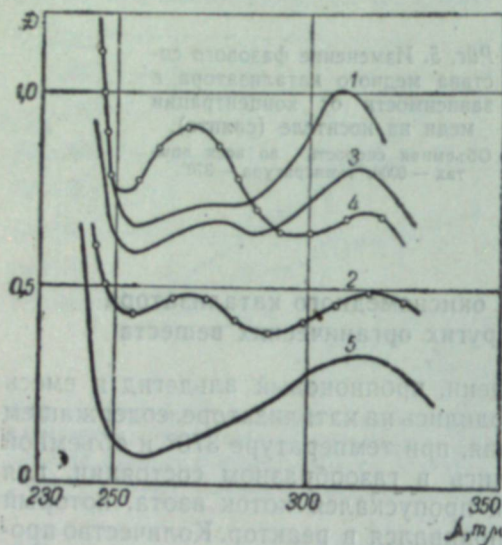


Рис. 6. Кривые поглощения в ультрафиолетовом спектре продуктов окисления акролеина и пропилена:

1, 2 — кривые поглощения продуктов окисления акролеина; 3, 4 — кривые поглощения продуктов окисления пропилена; 5 — кривая поглощения акролеина.

автокаталитическая теория восстановления, а также показано, что скорость восстановления окислов определяется величинами и скоростью адсорбции газов-восстановителей и продуктов реакции, и в тех случаях, где скорость адсорбции продуктов реакции (например, углекислого газа при восстановлении окисью углерода окислов меди) соизмерима со скоростью адсорбции газов-восстановителей, процесс восстановления затормаживается и практически не доходит до конца.

Таблица 4
Зависимость изменения фазового состава и активности катализатора (1,2% меди на силите) от температуры прокалики (соотношение $\text{C}_3\text{H}_6 : \text{O}_2 = 5,6 : 1$, $V = 2000$, температура контактирования 370°).

№ опыта	Исходный состав катализатора	Температура прокалики, $^\circ\text{C}$	Состав катализатора после опыта, %			Перепад температуры по зонам катализатора, $^\circ\text{C}$	Съем карбоновых соединений, г/л час
			Cu	Cu*	Cu'		
1	10% CuO 20% Cu_2O 70% Cu	1100	10	19	71	0	27
2	100% CuO	1000	0	100	0	0	6
3	100% CuO	250	0	30	70	7	160

По-видимому, аналогичные явления имеют место при проведении процесса окисления пропилена в акролеин над окисью меди. В этом случае, кроме пропилена, в исходной газовой смеси находится кислород, и в начальный период степень восстановления окиси меди определяется конкуренцией в адсорбции этих газов. Восстановление поэтому идет не до конца, а главным образом до закиси меди. Образующаяся закись меди катализирует процесс окисления пропилена в акролеин, а кроме того, образуются CO_2 и H_2O . При протекании процесса в кинетической области появление акролеина не сказывается сильно на процессе восстановления окислов меди, а в случае диффузионных затруднений акролеин вытесняет с поверхности катализатора кислород и восстановление окислов меди идет уже до металлической меди. Медь не катализирует процесс окисления пропилена в акролеин, и поэтому выходы акролеина резко падают как за счет доокисления акролеина, так и за счет снижения скорости образования акролеина. Интересно отметить, что введение в газовую смесь других органических веществ, сильно адсорбирующихся на окислах меди, также приводит к восстановлению окислов меди до меди и к снижению выходов акролеина. Однако это отравление обратимо, и при восстановлении нормальных условий для адсорбции пропилена и кислорода активность медного катализатора восстанавливается.

Выводы

1. Исследованы фазовые превращения медного катализатора в процессе окисления пропилена в акролеин.
2. Установлено, что для процесса окисления пропилена и некоторых других органических веществ на медных катализаторах наблюдается взаимодействие реакционной системы и катализатора, приводящее к установлению стационарного состава катализатора и стационарной скорости каталитического процесса.

3. Показано, что стационарный состав медных катализаторов в процессе окисления пропилена в акролеин в пределах от 300 и до 400° не зависит от температуры, выше 400° этот состав перестает быть стационарным, а каталитический процесс мягкого окисления пропилена выродается в процесс полного окисления пропилена.

4. Предполагается, что стационарное состояние медного катализатора обусловлено одновременным протеканием двух сопряженных химических процессов: реакции восстановления катализатора до закиси меди пропиленом и каталитического процесса окисления пропилена на частично восстановленном катализаторе до акролеина.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
20/VI 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. К. Боресков, Взаимодействие катализатора и реакционной системы. ЖФХ, 32, 2739 (1958).
2. В. А. Комаров, Н. С. Буревая, Взаимодействие окислов меди со спиртами. 1. Окислы меди — изопропиловый спирт. 2. Окислы железа — изопропиловый спирт. Уч. зап. ЛГУ, 211, 188 (1957).
3. В. П. Ушакова, Г. П. Корнейчук, В. А. Ройтер, Н. В. Жигайло, Кинетика и механизм окисления нафталина на окислованадиевом катализаторе. 1. Исследование влияния состава газовой фазы на химический состав катализатора и его каталитическую активность. Украинск. хим. журн., 23, 191 (1953).
4. О. В. Исаев, Л. Я. Кушнерев, Л. Я. Марголис, О медном катализаторе окисления пропилена в акролеин. Докл. АН СССР, 119, 104 (1958).
5. Н. И. Попова, Е. Е. Вермель, Об изменении химического состава и активности медных катализаторов в процессе окисления пропилена в акролеин. Докл. АН СССР, 124, 842 (1959).
6. Н. А. Тананаев, Фазовый анализ меди и ее важнейших производных. ЖАХ, 2, 253 (1947).
7. Н. И. Попова, Р. Н. Стукова, Е. Е. Вермель, О влиянии состава газовой смеси на выход карбонильных соединений в реакции окисления пропилена над медным катализатором. Докл. АН ССР, 117, 1000 (1957).
8. Л. Я. Марголис, Основные закономерности каталитического окисления углеводородов. Сообщение 1. Адсорбция углеводородов на окислительных катализаторах. Изв. АН СССР, ОХН, 1175 (1958).
9. Л. Я. Марголис, Основные закономерности каталитического окисления углеводородов. Сообщение 2. Адсорбция кислорода на окислительных катализаторах. Изв. АН СССР, ОХН, 225 (1959).
10. Г. И. Чуфаров, Е. Б. Татиевская, Адсорбционно-каталитическая теория восстановления окислов металлов. Сб. Проблемы металлургии. Изд. АН СССР, М., 1953, стр. 15.

А. И. КУРЕНЦОВ, Л. А. ИВЛИЕВ

О ВРЕДИТЕЛЯХ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА НА КАМЧАТКЕ

Кедровый стланик — наиболее широко распространенная на Камчатке хвойная порода. Заросли кедрового стланика занимают 7327 тыс. га, или 38,5% от общей лосопокрытой площади полуострова*.

В пределах обширной территории Камчатки кедровый стланик произрастает в качестве подлеска среди парковых каменноберезняков и лиственнично-еловых древостоев, но чаще образует на больших открытых пространствах своеобразные кустарниковые леса. В южных и центральных районах полуострова стланик одевает широким поясом склоны гор, поднимаясь до 1000—1200 м над уровнем моря, а в северных и прибрежных районах его заросли начинаются от самого берега моря.

Трудно переоценить климаторегулирующую, почвозащитную, гидрологическую и рыбоохранную роль стланиковых лесов Камчатки. Велико и орехопромысловое значение этой породы. В урожайные годы выход чистого ореха, по данным Г. Ф. Старикова и П. Н. Дьяконова [1], составляет от 1 до 4 ц с 1 га. Заросли кедрового стланика являются излюбленным местообитанием очень ценного в промысловом отношении камчатского соболя, а также бурого медведя и многих других животных. В северных районах полуострова древесина этой породы служит для местных жителей единственным видом топлива. Наконец, кедровый стланик в условиях Камчатки часто является «пионером» среди древесных пород, поселяющихся в руслах «сухих речек», на отложениях вулканического пепла, каменистых россыпях и на склонах большой крутизны. Эти ценные качества стланика делают его перспективной породой для искусственного разведения в почвозащитных целях (рис. 1).

Значение в жизни кедрового стланика последнего времени невыясненной в условиях Камчатки оставалось до последнего времени невыясненным. В 1958 и 1959 гг. при изучении дендрофильной энтомофауны Камчатки нами был собран материал по главнейшим вредителям кедрового стланика и некоторым грибам. Обследованием были охвачены южные, центральные, а также, выборочно, западные, восточные и северные районы полуострова**. Первое знакомство с зарослями кедрового стланика на Камчатке убедительно показало, насколько серьезное влияние

* Площадь зарослей кедрового стланика приводится по данным учета лесного фонда Камчатской области на 1958 г.

** В экспедиционных работах, наряду с авторами, принимал участие Д. Г. Кононов. Определение грибных болезней произведено Л. В. Любарским, которому авторы выражают благодарность.

р. Камчатки среди высокоствольных лиственничных и еловых лесов. В других районах полуострова, где развивается исключительно за счет кедрового стланика, встречается рассеянно. В 1958 г. в окрестностях п. Козыревска на усыхающих деревьях кедрового стланика в старом русле «сухой речки» плотность поселения вредителя нередко достигала 4—5 летних отверстий на 1 дм² поверхности стволика. Судя по общим сборам, лет вредителя сильно растянут: начинается со середины июня и продолжается до сентября. Массовому размножению и широкому распространению златки пожарищ способствуют антисанитарное состояние лесов и внутренняя перевозка неокоренной древесины хвойных пород в пределах полуострова. Так, она наблюдалась на улицах с. Тилички. Жуки откладывали тогда яйца на лиственничные неошкуренные столбы изгородей.

Хвойная смолевка — *Pissodes gyllenhalii* Gyll. (?). Распространена в северных районах лесной зоны СССР. На Дальнем Востоке ранее отмечалась в Приморье [5]. На Камчатке является вредителем ели аянской, лиственницы даурской и стланика. Повреждение кедрового стланика этим видом наблюдалось в Елизовском, Мильковском, Усть-Камчатском и Олюторском районах. Являясь гигрофилом, чаще заселяет корневые лапы или поверхность стволика, соприкасающуюся с землей. Плотность поселения хвойной смолевки в отдельных случаях составляла 5—7 колыбелек на 1 дм². Массовое окукливание личинок слоника в 1958 г. наблюдалось в середине июня. Лёт жуков происходит в июле. Хвойная смолевка активно заселяет нижние секторы хранящейся на земле без прокладок древесины ели и лиственницы. Стоящие на корню деревья этих пород повреждаются смолевкой реже. Очаговому распространению вредителя в хвойных лесах долины р. Камчатки способствует антисанитарное состояние лесосек и складов древесины.

Усач — *Acmaeops pratensis* Laich. Широко распространенный вид, отмечен нами во всех обследованных районах. Излюбленными станциями вредителя служат лиственнично-еловые леса, произрастающие в долине р. Камчатки. Нападает на явно усыхающие деревья и неокоренную древесину лиственницы и ели, реже — кедрового стланика. Лёт усача сильно растянут: начинаясь в июне, он продолжается до второй половины августа. Хозяйственное значение этого вредителя невелико.

Короедов на кедровом стланике до настоящего времени известно 4 вида: *Pityogenes foveolatus* Egg., *Polygraphus polygraphus* L., *P. subopacus* Thoms. и *P. jezoensis* Niis. Первые три вида — характерные вредители кедрового стланика и в других частях Дальнего Востока. Последний вид является массовым вредителем аянской ели в елово-пихтовых лесах Сихотэ-Алиня и о. Сахалина. В условиях же Камчатки он пока отмечен на кедровом стланике. Все приведенные здесь виды короедов ранее для Камчатки не указывались.

Стланиковый, или гольцовый, короед — *Pityogenes foveolatus* Egg. Один из самых обыкновенных короедов на Камчатке. Распространен по всему полуострову и проникает в северные районы Каряцкой земли. Нами этот короед наблюдался в следующих районах: Елизовском (Паратунка, сопка Начикинское зеркальце, Елизово, сопка Вачкажеч), Мильковском (сопка Николка), Усть-Камчатском (среднее течение р. Еловки, подножие сопки Шевелюч), Карагинском (окр. с. Оссоры) и Олюторском (окр. с. Тилички).

Являясь монафагом и биологически связанным с кедровым стлаником, *P. foveolatus*, хотя и следует за своим кормовым растением, но в основном экологически приурочен к стланиковым лесам, образующим или чистые заросли из *Pinus pumila*, или заросли в смеси с кустарниками — ольхой каменной и рябиной бузинолистной. В данных условиях,

особенно у гребней гор с подветренной стороны, можно находить постоянно действующие очажки размножения стланикового короеда. Вероятно, действие сильных ветров вызывает здесь физиологическое ослабление роста прижатых к земле растений, на которые и нападают короеды. Еще более активная деятельность *P. foveolatus* наблюдается в том случае, когда забравшийся в горы пожар оставляет много опаленных и больных кустарников, заселяемых обыкновенно стланиковым короедом. В ряде случаев нами наблюдались совместные поселения на кедровом стланике *P. foveolatus* и пузырчатой ржавчины. Лёт *P. foveolatus* в основном происходит во второй половине июля, когда жуки грызут ходы и откладывают яйца. Вообще же в течение лета можно наблюдать его почти во всех стадиях развития, что связано с различием в горах климатических условий, в которых происходит размножение этого короеда.

Полиграф пушистый — *Polygraphus polygraphus* L. Этот короед нами отмечен на кедровом стланике только в двух пунктах: в Елизовском районе в горных каменноберезовых лесах, в нижнем ярусе которых развивались островки кедрового стланика, и в Усть-Камчатском районе (среднее течение р. Еловки) в лиственнично-березовом лесу с подлеском из стланика. В том и другом случаях (12/VI и 14/VIII 1958) встречались только одиночно жуки на усыхающих стволиках.

Полиграф матовый — *Polygraphus subopacus* Thoms. В ельниках среднего течения р. Камчатки (п. Козыревск) найден 20/VII 1958 г. в большом количестве в стадиях имаго и куколок на тонких стволиках кедрового стланика. 3/VIII 1958 г. жуки собраны в каменноберезняках в Елизовском районе (с. Паратунка).

Полиграф еловый — *Polygraphus jezoensis* Niis. Найден нами только однажды 3/VIII 1958 г. в Елизовском районе (с. Паратунка) на стволах кедрового стланика. Жуки и куколки наблюдались в большом количестве. Интересно отметить, что этот характерный для аянской ели на материке и на о. Сахалине полиграф не наблюдался нами в долине р. Камчатки, где, как известно, сохранился массив еловых лесов на полуострове.

Из грибных болезней, отмеченных на кедровом стланике, наибольшего внимания заслуживает пузырчатая ржавчина — *Cronartium kamtschaticum* Jörst. Гриб этот двудомный, с полным циклом развития. Эцидиальная стадия его развивается на ветвях и стволиках кедрового стланика; уредо и телеиоспоры на травянистых растениях *Castilleja* и *Pedicularis*. Болезнь характерна



Рис. 3. Стволик кедрового стланика, пораженный пузырчатой ржавчиной — *Cronartium kamtschaticum*.

зубется образованием на поврежденных ветвях стланика незначительных засмоленных утолщений, на растрескавшейся поверхности которых в июне—июле появляются эцидии гриба в виде оранжевых пузырей (рис. 3). Кора в пораженном месте постепенно отмирает, и часть ветви или стволика, лежащая выше повреждения, засыхает. Грибная болезнь широко распространена в Елизовском, Мильковском, Усть-Большерецком, Усть-Камчатском и особенно в Олюторском районах. В южной и центральной частях полуострова она стационально связана с верхней границей парковых камменноберезняков и поясом субгольцовой зоны. На севере типичной стадией пузырчатой ржавчины служит лесотундра. Массовая гибель зарослей кедрового стланика от этой болезни на больших площадях отмечена в окрестностях с. Тилички. Отмирающие стволы стланика нередко становятся добычей короедов, а усохшие заросли этой породы усиливают опасность в пожарном отношении.

Во время исследований на Камчатке в 1958—1959 гг. нам приходилось наблюдать, как в некоторых пунктах приема транспортируемых на полуостров лесоматериалов вместе с последними завозятся и целый ряд вредителей хвойных пород. Из них отмечены и такие виды, которые развиваются в бревнах корейского кедра или являются общими для многих хвойных пород. Из короедов к ним относятся: *Hylurgops interstitialis* Chap., *H. imitator* Reit., *Orthotomicus golovjankoi* Pjat. (?), а из других жуков — *Monochamus urussovi* Fisch., *Pachita bicuneata* Motsch., *Tetropium gracilicorne* Reit., *Buprestis sibirica* Fleisch. и некоторые другие. Есть основание предполагать, что некоторые из завозных вредителей могут акклиматизироваться, избрав для своего развития кедровый стланик, который широко распространен на Камчатке.

Резюмируя все изложенное выше, можно отметить, что в условиях Камчатки кедровый стланик страдает от ряда вредителей, из которых *Eupithecia*, *abietaria*, *Cidaria kamtschatica* и все виды короедов развиваются исключительно за счет стланика, остальные же виды — *Melanophila acuminata*, *Pissodes gyllenhalii*, *Actaeops pratensis* — более свойственны елово-лиственничным древостоям, сохранившимся в долине р. Камчатки. Страшным бичом зарослей кедрового стланика на Камчатке наряду с пожарами является пузырчатая ржавчина — *Cronartium kamtschaticum*, вызывающая массовую гибель этой породы.

На данном этапе освоения лесных богатств полуострова на сокращение вредной деятельности насекомых и грибных болезней кедрового стланика должны быть направлены следующие основные мероприятия:

1. Коренное улучшение в стланиковых лесах Камчатки противопожарной службы.
2. Более упорядоченное ведение лесного хозяйства и, в частности, способов рубки в зоне стланиковых лесов, с учетом их почвозащитной, водорегулирующей и водоохранной роли.
3. Введение строгого карантина против завоза с материка в неокоренной древесине стволовых вредителей, способных перейти на кедровый стланик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Ф. Стариков, П. Н. Дьяков, Леса полуострова Камчатки. Хабаровск, книжн. изд., 1954.
2. Вредители леса. Справочник, Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.
3. А. И. Куренцов, Вредные насекомые хвойных пород Приморского края. Тр. ДВФ СО АН СССР, сер. зоол., т. II, 1950.
4. Д. Н. Флоров, Вредители сибирского кедра. Иркутск, 1951.
5. Т. П. Самойлов, К экологии жуков-листоедов (*Chrysomelidae*) и слоников (*Curculionidae*) в заповеднике Горнотаежной станции Дальневосточного филиала Академии наук СССР. Тр. ГТС, ДВФ АН СССР, I, 1936.

Н. Г. КОЛОМИЦ, И. А. ТЕРСКОВ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ

Наибольший вред лесам Сибири и Дальнего Востока наносит сибирский шелкопряд *Dendrolimus sibiricus Tschetv (Lepidoptera)*.

Несмотря на достигнутые успехи в истреблении гусениц шелкопряда с помощью химического метода, поиски новых эффективных средств борьбы с ним не утратили актуальности и значения. Тем более, что опыливание больших лесных массивов ядохимикатами губительно действует на полезную часть фауны.

Разрабатываемый в настоящее время микробиологический метод, как и химический, рассчитан на использование авиации, во многом зависит от погоды и рельефа и применим для уничтожения вредителя только в стадии гусеницы, но не во всех возрастах.

До сих пор для организаций лесного хозяйства большую трудность представляет своевременное выявление очагов массового размножения шелкопряда и определение численности вредителя в них. Наземный осмотр огромных лесных массивов при существующем штате лесной охраны сильно затруднен и нуждается в совершенствовании. Лесхозы не имеют доступных средств для борьбы с вредными насекомыми. Обнаруженные очаги с нарастающей численностью вредителя своевременно не локализируются и вскоре перерастают в огромные очаги заражения леса, на ликвидацию которых требуются большие затраты.

В борьбе с шелкопрядом должно использоваться не только сочетание средств биологии и химии, но и физические средства. Известно, что многие насекомые хорошо привлекаются на источники видимого и ультрафиолетового излучения [1—6]. Но опубликованных данных о действии источников света на бабочек сибирского шелкопряда не имеется. Мы поставили задачу исследовать реакцию этих бабочек на источники ультрафиолетового и видимого излучения.

Исследования проводились в очагах массового размножения вредителя в Туранском лесхозе Тувинской автономной области. Шелкопряд здесь сильно повредил листовенничные низкобонитетные леса в пределах Турано-Уюкской впадины на границе со степью. Лес растет в этом районе только на северных склонах невысоких сопок и гор, образуя изолированные участки различной величины. В прошлом году шелкопряд заселил отдельные куртины деревьев. Количество гусениц на зимовке в этих куртинах колебалось от 6 до 500 экземпляров на 1 м², чаще 40—50 экземпляров. Поднявшиеся в кроны гусеницы перед окукливанием объели всю хвою и расползлись по всему лесу. В середине июня началось окукливание гусениц. Большинство коконов завито на опушках. На стадии куколки численность шелкопряда резко уменьшилась (на 56%) под воздействием болезней и размножившихся паразитов. В сере-

дине июля начался лет бабочек. Внутри лесных участков насчитывалось до 14 бабочек на крону дерева, а на опушках леса несколько больше. В общем мы оценили лет шелкопряда как несильный.

Изучение воздействия различных источников света на бабочек проводилось в период максимального лета. При исследованиях применялась ловушка, снабженная электромотором с вентилятором для засасывания насекомых в марлевый рукав, на конце которого укрепляется банка (общий вид ловушки показан на рис. 1). Кронштейн для крепления лампы давал возможность постановки различных источников света. Ловушка устанавливалась на раздвижной треноге. Источником электроэнергии была динамомашина переменного тока (3,6 кВт, 220 В) с двигателем Л-6. Для регулирования силы тока на ртутно-кварцевых лампах применялись реостаты. При выездах к очагам 250-метровый кабель позволял устанавливать ловушку в нужной точке. Передвижение осуществлялось на автомобиле ГАЗ-69.

Первым опытом, проведенным 19 июля 1960 г. с лампой ПРК-7, установлено, что ультрафиолетовый свет оказывает очень сильное возбуждающее действие на бабочек шелкопряда. С наступлением темноты, несмотря на дождливую погоду, вокруг ловушки вились сотни бабочек шелкопряда, часть их попадала в ловушку, а большая часть падала на яркоосвещенную площадку возле ловушки. Трава и рядом находящиеся кусты спиреи и караганы (чилиги) были усеяны бабочками, в большинстве резко возбужденными. В течение 10 минут около ловушки было собрано 550 насекомых. За 30 минут в ловушке оказалось 224 бабочки. За 2 часа работы лампы было собрано 4000 бабочек. Ночной сбор их в траве оказался неполным, утром на месте опыта было подобрано еще 728 бабочек.

Наиболее интенсивный прилет насекомых наступал после прекращения естественного лета. В отличие от естественного лета — явления, связанного с поисками пары, — под термином прилет здесь и далее мы понимаем полет бабочек, реагирующих на освещение.

После установления факта реакции шелкопряда на ультрафиолетовый свет была поставлена серия опытов для выявления факторов, влияющих на активность прилета бабочек, и выяснения некоторых биологических особенностей их поведения при освещении в ночное время.

В зависимости от цели проводимых опытов ловушка устанавливалась в различных очагах, на разных высотах над поверхностью почвы и на заданных расстояниях от границы леса. На рис. 2 приводится схема обследованных очагов массового размножения с обозначением мест исследований. Часть исследований проведена в урочище Шевелик, находящемся в 20 км от Турана.



Рис. 1. Ультрафиолетовая ловушка конструкции Б. Г. Коврова.

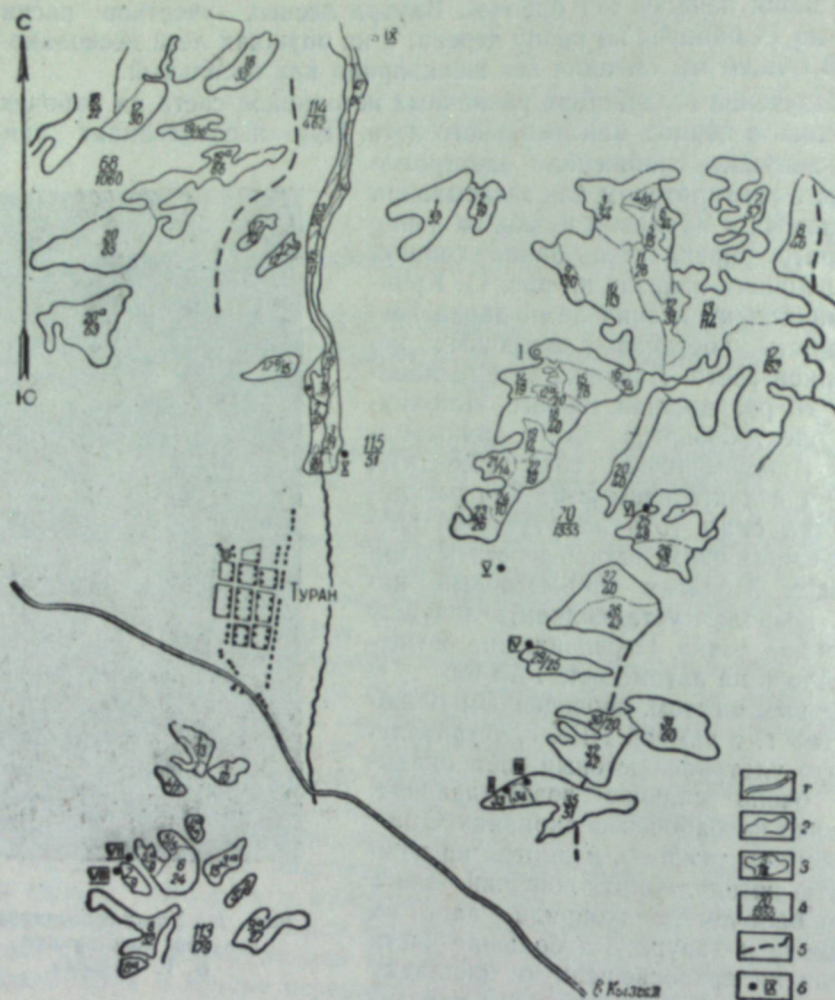


Рис. 2. Схема расположения лесных массивов Туранского лесничества. Условные обозначения: 1 — дорога; 2 — участки леса; 3 — в числителе номер таксационного выдела, в знаменателе — его площадь в га; 4 — в числителе номер квартала леса, в знаменателе — его площадь; 5 — граница кварталов; 6 — места стоянки УФ-излучателей.

I. Основные факторы, определяющие интенсивность прилета бабочек шелкопряда к ловушке

В естественных условиях лет бабочек начинается около 20 часов, усиливается в 21—22 часа и к 23 часам прекращается. До глубоких сумерек летающие бабочки почти безразличны к освещению ртутно-кварцевых ламп. По мере наступления темноты интенсивность прилета к лампе нарастает. Массовый прилет начинается около 23 часов, т. е. с наступлением темноты, и продолжается до 1—2 часов. В дальнейшем прилет спадает, но если лампа горит всю ночь, то длится до рассвета.

Специальными опытами установлено, что прилет на ультрафиолетовый свет можно вызвать в любой час ночи. Количество прилетающих бабочек находится в явной зависимости от плотности популяции в освещаемом очаге. Там, где летающих бабочек было в среднем 4 штуки на крону, к ловушке за 1 час освещения лампой ПРК-7 прилетало до 1500—2000 штук, за то же время в очагах со средним числом бабочек в кроне 8 штук прилетало до 4000—5000.

Из метеорологических условий на интенсивность прилета резкое влияние оказывают температура и ветер. Наибольший прилет бабочек был при температуре 16—19°, в холодные ночи он резко снижался. При понижении температуры воздуха до 6° (опыт 20 июля в Урочище Хайбар, квартал 113) прилет резко снизился, но не прекратился до рассвета. Характерно, что снижение интенсивности прилета во вторую половину ночи идет параллельно с понижением температуры.

В районе наших работ в облачные и тем более дождливые ночи прилет шелкопряда всегда оказывался больше, чем в ясные, звездные, но холодные ночи. Моросящий дождь не препятствовал прилету бабочек, ветер до 3 м/сек также не мешал им. Интересно отметить, что приземление насекомых у ловушки совершается в основном против ветра. В соответствии с этой особенностью участок, на котором вокруг лампы приземляются бабочки, при ветре оказывается не круглым, а вытянутым в сторону направления ветра.

Бабочки сибирского шелкопряда на излучение разных длин волн реагируют не одинаково. В опыте, проведенном в ночь с 21 на 22 июля, были в одинаковых условиях испытаны различные лампы (ПРК-2, ПРК-7, 1000 W видимого света, СВДШ-1000, рефлекторная лампа 500 W, соединенная последовательно с 500 W обычной лампой).

Лампы устанавливались на расстоянии 100 м друг от друга и были разделены возвышенностью. Прямой свет от одной лампы не попадал к другой. Через 30 минут горения ламп проводились сборы бабочек, упавших около лампы в радиусе 5 м. Сборы длились 15 минут. У ламп ультрафиолетового света собиралась лишь часть упавших бабочек, так как все собрать было невозможно. У ламп видимого света площадь падения бабочек была невелика и сборы были более полными.

Таблица 1

Лампа	Сибирский шелкопряд		Пяденицы	Совки	Бражники	Дуболистный шелкопряд	Водянки	Мелавиды	Температура	Время работы ламп
	самцы	самки								
ПРК-2 (375 W) . . .	214	48	23	51	5	4	2	—	16°	22 ⁰⁰ —22 ⁵⁰
Видимый (1000 W) . . .	83	15	16	49	—	5	2	2	14°	23 ⁴⁵ —0 ¹⁵
СВДШ (1000 W) . . .	326	18	15	171	4	—	3	2	14°	1 ⁰⁰ —1 ³⁰
Видимый (1000 W) . . .	85	4	8	10	—	—	—	—	14°	1 ⁰⁰ —1 ³⁰
СВДШ (1000 W) . . .	377	41	28	194	4	1	13	1	14°	23 ⁴⁵ —0 ¹⁵
Инфр. 500 W + белый 500 W	35	1	6	13	—	—	—	—	14°	23 ⁴⁵ —0 ¹⁵
ПРК-7 (1000 W) . . .	1018	397	33	18	8	9	—	18	14°	23 ⁴⁵ —0 ¹⁵

Из табл. 1 видно, что у лампы видимого света привлечение шелкопряда явно меньше. Учитывая, что эти лампы потребляют значительную мощность и дают ничтожный эффект, практическое применение их для вылова сибирского шелкопряда не рационально. Лучшей из испытанных ламп оказалась ПРК-7. При работе на небольших изолированных очагах вполне возможна работа с лампой ПРК-2.

Для контрольных отловов могут употребляться ртутно-кварцевые лампы меньшей мощности. Если ловушка расположена вне очага, целесообразно использование металлического отражателя, который устанавливается со стороны поля. Применение такого отражателя в наших опытах существенно увеличивало вылет насекомых из очага.

Представляло интерес определить расстояние, с которого начинается прилет бабочек на лампу. Опыты проводились с лампой ПРК-7. Впервые мы обратили внимание на прилет бабочек из соседнего очага при работе в пункте VIII (квартал 113). Бабочки с одинаковой интенсивностью прилетали из выдела 7-го, находящегося рядом, и 8-го, удаленного более чем на 500 м. В пункте V, расположенном по склону сопки, лампа была вынесена на расстояние 1 км от очагов. Прилета из очагов, расположенных севернее места установки лампы, не было, так как они были скрыты за хребтом. При освещении в течение 1 часа на пункт V было привлечено свыше 600 бабочек. Опыт проводился с 22 часов 30 минут до 23 часов 30 минут при температуре в начале опыта 21°, в конце — 19°. Подсчет показал, что $\frac{2}{3}$ прилетевших бабочек были самками. При осмотре рабочей площадки утром следующего дня обнаружено много бабочек, спаривавшихся на кустарниках. Участок, на котором приземлялись бабочки, растянулся до 70 м в сторону очага.

В пункте IX, в 3 км от очага, находящегося в западной части выдела 19^a (квартал 68), была установлена лампа с направленным отражателем. Прилета бабочек к лампе в течение часа не отмечено.

При освещении с того же пункта очага, расположенного в выделе 1 (квартал 70) на расстоянии 2 км, через 20 минут после начала свечения стали прилетать единичные бабочки. Они садились, не долетая до ловушки, и замирали. Учет количество прилетевших насекомых было невозможно. При работе в пункте X бабочки прилетали с расстояния свыше 2 км.

Таким образом, проведенные опыты показали, что при работе с лампой ПРК-7 на расстоянии 1 км наблюдается интенсивный прилет бабочек, на расстоянии 2 км прилет много меньше, на расстоянии в 3 км привлечь бабочек не удалось.

II. Поведение бабочек сибирского шелкопряда при освещении ртутно-кварцевой лампой

Прилет бабочек на ультрафиолетовый свет начинается около 22 часов. Самцы, как более отзывчивые на УФ, прилетают раньше, чем самки. Примерно с 23 часов, когда прекращается естественный лет бабочек, наблюдается массовый прилет самок, после 1 часа ночи лет самок резко ослабевает, но не прекращается до рассвета.

Резкое уменьшение прилета самок под утро, по-видимому, связано с понижением температуры воздуха, при температуре около 11° он прекращается совсем. Самцы продолжали прилетать при охлаждении до 6°.

Возбужденные ртутно-кварцевой лампой бабочки непродолжительное время летают у дерева, на котором они сидели, и затем устремляются к источнику излучения. Полет бабочек в общем направлен в сторону ловушки, но не прямолинейно. Нередко бабочки приближаются на высоте до 40 м и в рассеянном свете видны на подлете за 150—200 м. Иногда они с такой скоростью летят на свет, что, ударяясь о ловушку, разбиваются. Много бабочек летает вокруг лампы на расстоянии 20—30 м. Кружение их у лампы можно сравнить с полетом роящихся пчел. Многие бабочки, особенно привлеченные из удаленных очагов, садятся на землю или растительность в пределах освещенного участка и далее приближаются к ловушке короткими перелетами. В тени, образуемой деталями ловушки, кустами и деревьями, бабочки, как правило, не садятся, но прилему тени не мешают.

Специальными опытами проверена реакция бабочек на фон возле ловушки. В одном из опытов под ловушкой для облегчения сбора был

подстелен полог из неотбеленного холста размером 8 × 10 м. Прилетевшие бабочки на полог не садились, а падали на траву за его пределами, часто забивались под полог. В другом опыте над ловушкой для большего рассеяния света был укреплен зонт из крашеной марли размером 2 × 2 м. Прилет бабочек от этого не изменился, но на зонт они не садились.

Много бабочек шелкопряда и других чешуекрылых постоянно скапливается на марлевом рукаве, подвешиваемом под ловушкой и предназначенном для сбора насекомых. Затемнение рукава создает тень под ловушкой и уменьшает концентрацию насекомых возле нее.

В теплую погоду прилетевшие бабочки обычно усаживаются на кустарниках и высокотравье и так остаются до утра. В холодные ночи насекомые забиваются в траву, стремясь добраться до поверхности почвы, остаются там до утра и легко могут быть собраны. С наступлением жары они разлетаются.

При подвешивании ловушки на дереве на высоте 4,5—5 м от земли почти все прилетевшие бабочки усаживаются на освещенной части кроны. При более низкой подвеске ловушки многие бабочки усаживаются под деревом. Дерево с подвешенной в его кроне лампой для бабочек шелкопряда является наиболее привлекательным.

В одном из опытов, поставленном в пункте VI, ловушка была подвешена на одиноко стоящее дерево. Через полчаса в ловушку попало 413 бабочек. На каждой ветке лиственницы сидело от 10 до 20 бабочек, много их летало вокруг дерева.

На ультрафиолетовый свет летят бабочки как летавшие, так и молодые. Свежеразвившиеся и копулирующие особи на освещение не реагируют.

Шум генератора и электромотора вентилятора ловушки бабочек не отпугивают. При удалении мотора генератора и остановке вентилятора прилет не изменяется.

III. Учет прилетающих насекомых

Привлеченные ультрафиолетовым светом бабочки далеко не все засасываются вентилятором в ловушку, большая их часть садится на площадку вблизи источника света.

Поэтому подсчет не дает полного представления о численности прилетевших насекомых. По нашим данным в ловушку попадало около 20% прилетающих к лампе бабочек.

Количество бабочек на поле подсчитывалось различными способами. В опыте 27 июля, поставленном в пункте VI, рядом с выделом 29 (квартал 70) было подсчитано количество бабочек на 1 м² по двум радиусам. Среднее распределение концентрации упавших насекомых в зависимости от расстояния до ловушки характеризуется графиком на рис. 3, который показывает, что бабочки сосредоточиваются в основном на расстоянии 5 м от ловушки, численность их на всей площади в этом опыте можно оценить в 3100 экземпляров. Опыт проведен с 0²⁵ до 1²⁵ утра при температуре 14°.

В другом опыте, проведенном в пункте I (квартал 70), мы получили аналогичные данные. Из 4100 привлеченных бабочек 920 попало в ловушку, 2970 собрано в радиусе 5 м от ловушки на почве и траве и только 310 — на расстоянии от 5 до 10 м.

Исходя из этих и других наблюдений, можно считать, что при работе в непосредственной близости от очага на расстоянии свыше 5 м от ловушки приземляется не более 10% прилетающих бабочек.

Расчет по площади становится затруднительным в ветреную погоду. В этом случае, как говорилось выше, большинство бабочек приземляется с подветренной стороны и расстояние приземления с увеличением скорости ветра растет.

На величину участка приземления бабочек влияет высота установки лампы над поверхностью почвы. Чем ниже укреплен лампа, тем радиус приземления бабочек меньше.

В большинстве наших опытов лампа укреплялась на высоте 1,3 м. При установке лампы на дереве, лучше крепить ее на деревьях с низко опущенной кроной.

В конкретных условиях, когда в кроне по вечерам летало в среднем по 6 бабочек, отлов 4100 бабочек в течение часа означает очистку около 700 деревьев, что соответствует площади больше чем 2 га леса.

Однако следует отметить, что в связи с растянутым сроком выхода бабочек из куколок, однократное облучение участка не обеспечивает полного очищения леса, хотя и приводит к существенному сокращению численности вредителя.

Ультрафиолетовое излучение не действует избирательно на бабочек сибирского шелкопряда. Наряду с ними на свет прилетают и другие насекомые. В районе наших работ в ловушку постоянно прилетали совки, моли, пяденицы, бражники, дубоволистный шелкопряд и другие.

Результаты учета трех опытов приведены в табл. 2.

Основная масса прилетающих насекомых принадлежит к отряду чешуекрылых. Наиболее интенсивно летят совки, пяденицы и моли. Насекомых энтомофагов в ловушке оказалось мало. Паразиты сибирского

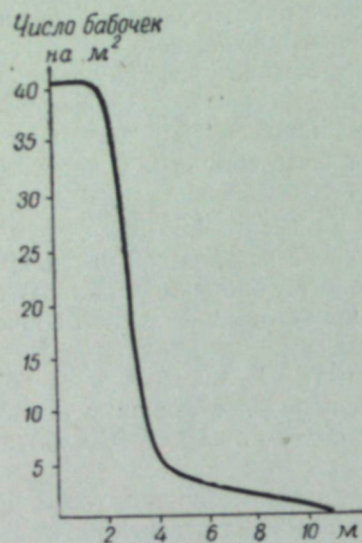


Рис. 3. Численность бабочек шелкопряда на различных расстояниях от ловушки.

Таблица 2

Группа насекомых	Количество экз. в ловушке за час		
	в лесу в кроне лиственницы	в лесу на поляне	в степи в 1 км от леса (венти- лятор отклю- чен)
Сибирский шелкопряд	213	1050	33
Совки	643	18	115
Пяденицы	177	33	62
Моли	245	45	154
Листовертка	11	—	2
Медведицы	9	8	—
Бражники	6	8	1
Наездники-ихневмониды	78	10	19
Золотоглазки	11	—	4
Мухи пестрокрылки	7	—	9
Мухи настоящие	17	8	8
Мухи-тахины	1	—	—
Клопы	1	1	—

шелкопряда, несмотря на значительное распространение их в обследованных очагах, на свет не прилетали. В небольшом количестве прилетели комары, мошки и мокрецы. Следует учесть, что в данном районе концентрация их в дни нашей работы была ничтожной и не бывает высокой вообще.

В ловушке с работающим вентилятором часть насекомых, в особенности крупных, повреждается и не поддается точному определению. При отключении вентилятора количество насекомых в ловушке резко снижается, но насекомые остаются целыми и видовой состав в общем повторяется.

IV. Способы уничтожения прилетевших на ультрафиолет бабочек

К горячей УФ лампе прилетает масса бабочек. Из них лишь $\frac{1}{5}$ часть попадает в ловушку. Остальные сосредотачиваются на весьма ограниченной площади ($r=5$ м). Если принять радиус привлечения равным 2 км, то площадь для сбора сокращается в 40 000 раз. Это создает удобства для их уничтожения даже такими простыми средствами, как сбор с последующим истреблением и раздавливание на месте с помощью ручного катка.

Большая концентрация насекомых на малом участке делает возможным эффективное применение химических средств против шелкопряда во взрослой стадии. Нами испытано действие раствора минерально-масляной эмульсии гексахлорана и аэрозоля ДДТ. Применяя гексахлоран, мы готовили смесь солярового масла и технически чистого гексахлорана. Концентрат гексахлорана в соляровом масле (20%) разбавлялся перед употреблением теплой водой и с помощью ранцевого опрыскивания наносился на растительность в радиусе 10 м от ловушки из расчета 350 г чистого гексахлорана на площадку.

Испытано предварительное затравливание площадки и опрыскивание приземлившихся бабочек. Замечено, что с территории опрыснутой площадки бабочки не улетают, ведут себя беспокойно. На утро на месте опытов обнаружилось много трупов насекомых. Лучшие результаты получены при опрыскивании бабочек, собравшихся на площадку вокруг ловушки. Утром на затравленной площадке наблюдалась массовая гибель насекомых (до 70%). Через сутки 95% бабочек, отобранных с этого поля в садок после опрыскивания, погибло. Отдельные экземпляры жили до двух суток и отложили немного яиц. Бабочки в течение всего этого времени вели себя беспокойно, непрерывно билась о дно садка.

Положительным качеством минерально-масляной эмульсии является то, что она не смывается дождем. Бабочки, двигаясь по площадке, все больше и больше контактируют с ядом. Во время опрыскивания прилет бабочек на площадку прекращается, но как только исчезнет туман от распыленной жидкости, снова возобновляется.

Во время горения аэрозольной шашки ДДТ бабочки не разлетались. Полная гибель одымленных бабочек наступила к исходу вторых суток. Самки за этот срок отложили много яиц. Так как на свет летит много неоплодотворенных самок, опасность от отложенных яиц после затравливания ДДТ невелика.

Весьма удобно для применения сильно действующих химических препаратов привлечение бабочек на одиноко стоящее дерево. В этом случае их можно обрабатывать аэрозольными шашками и ручным аэро-

зольным генератором. При этом, безусловно, приходится считаться с тем, что аэрозоль легко сносится ветром.

Бабочки, отсаженные в садок с окуренного дерева, прожили более суток и отложили много яиц.

При отравливании бабочек на малой площадке или одиночном дереве, воздействие яда на полезную часть фауны во много раз меньше, чем при сплошных обработках.

Уничтожение привлеченных к ловушке бабочек необходимо, так как к середине следующего дня они большей частью разлетаются.

В. Перспективы использования ультрафиолетовых излучений в борьбе с шелкопрядом

Реакция сибирского шелкопряда и других вредителей леса на свет ртутно-кварцевых ламп уже сейчас позволяет поставить ряд задач по использованию этого эффекта в практических и научных целях.

Применение источников ультрафиолетового света позволит углубить исследования фауны насекомых, их фенологии и поведения при ультрафиолетовом освещении. В частности, ультрафиолетовые ловушки могут быть с успехом применены для исследования динамики численности в имагинальной стадии у хозяйственно важных видов. Использование ультрафиолетового света облегчает изучение экологии взрослых насекомых, активных в сумеречное время.

Перспективность применения ультрафиолетовых ламп для надзора за появлением сибирского шелкопряда несомненна. С помощью портативных ультрафиолетовых ловушек может быть улучшен прогноз и организован систематический надзор не только за бабочками сибирского шелкопряда, но и другими вредителями лесных массивов в лесхозах и леспромхозах.

Так как бабочки реагируют и на слабое излучение, изготовление портативных ультрафиолетовых ловушек — дело вполне реальное.

Необходимость совершенствования методов прогнозирования и надзора за появлением и изменениями численности шелкопряда совершенно очевидна. С помощью мощных ультрафиолетовых ламп, например ПРК-7, можно выявлять очаги на значительных расстояниях. В условиях нашей работы направление прилета бабочек всегда совпадало с направлением ламп на очаг.

При этом близко расположенные очаги хорошо обнаруживались через 15 мин. горения лампы (следует учесть, что первые 5—10 мин. лампа входит в режим). Очаги, расположенные за 1,5—2 км, обнаруживались после 20—30-минутного свечения. Имелась возможность обнаруживать очаги сибирского шелкопряда, двигаясь с остановками по проселочным дорогам.

Представляется нетрудным сочетать привлечение шелкопряда на ультрафиолетовые лампы с аэровизуальной разведкой с целью выявления и оконтуривания очагов вредителя. Возможность привлечения больших количеств бабочек на ограниченную площадку у источника излучения позволяет ставить вопрос о разработке мер борьбы с вредителями в имагинальной стадии. Следует подчеркнуть важность борьбы именно в этой стадии, поскольку основное распространение шелкопряда идет за счет разлета бабочек. Кроме того, уничтожение одной самки можно расценивать, как уничтожение 300—400 гусениц.

Примененная в небольших лесных массивах ловушка существенно уменьшает численность популяции, что создает благоприятные условия для повышения регулирующей роли яйцеедов.

Вполне реально очистка небольших изолированных очагов с помощью периодического облучения ультрафиолетовой ловушкой.

Ультрафиолетовый свет может оказаться полезным для вылова уцелевших вредителей после применения химических или микробиологических средств, а также для определения эффективности проведенных истребительных мероприятий.

В вопросе истребления бабочек сибирского шелкопряда с помощью ультрафиолетовых излучателей важное значение имеет изыскание высокоотоксичного инсектицида. В наших исследованиях гексахлоран и ДДТ оказались не идеальными.

В заключение отметим, что в борьбе с важнейшими вредителями лесов Сибири и Дальнего Востока должны быть использованы все возможные средства. Ультрафиолетовое излучение может стать хорошим дополнением к основным методам борьбы с шелкопрядом.

Выводы

1. Установлено, что ультрафиолетовый свет оказывает сильное возбуждающее действие на бабочек сибирского шелкопряда.
2. Бабочки вредителя в период массового лета тысячами прилетают на свет лампы ПРК-7. Около 20% привлеченных насекомых попадает в ловушку, остальные садятся на растительный покров в радиусе 5—10 м от лампы, где легко могут быть уничтожены.
3. Радиус привлечения лампы ПРК-7 около 2 км.
4. Выявлены основные факторы, влияющие на интенсивность прилета бабочек к УФ ловушке, и поведение их при ультрафиолетовом излучении.
5. В ареале шелкопряда ультрафиолетовые ловушки могут быть использованы для надзора, прогноза размножения и распространения вредителя.
6. Перспективное использование ультрафиолета для уничтожения шелкопряда во взрослой стадии.

Биологический институт
Институт физики СО АН СССР

Поступила в редакцию
13/VIII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Богущ, Применение световых самоловов как метод изучения динамики численности насекомых. Энтомолог. обозр. 31 (3—4), 1951.
2. Г. В. Бошко, О возможности ночного лова слепней в светоловушки. Тез. докл. III эколог. конф. 51—55, 1954.
3. Г. А. Мазохин-Поршняков, Массовое привлечение насекомых на ультрафиолетовое излучение. ДАН СССР, 102(4), 1955.
4. Г. А. Мазохин-Поршняков, Применение ультразвуковых лучей в борьбе с майским жуком. Зоологич. журн. 35(4), 1956.
5. Е. А. Погодина, В. М. Сафьянова, Испытание метода отлова кровососущих двукрылых при помощи ртутной лампы ПРК-4. Зоологич. журн. 36(6), 1957.
6. К. А. Бреев, О применении ловушек ультрафиолетового света для определения видового состава и численности популяции комаров. Паразитологический сб. Зоологич. ин-та АН СССР, XVIII, 1958.

Т. Е. КУЗНЕЦОВА

МИКРООРГАНИЗМЫ, РАЗЛАГАЮЩИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗУ
В СОЛОНЦАХ СЕВЕРНОЙ КУЛУНДЫ

Скорость и глубина гидролиза клетчатки в почве зависят от численности, состава и активности содержащихся в ней целлюлозоразрушающих микроорганизмов. В результате их работы в почве образуется большое количество бактериальной слизи, которая в значительной мере способствует улучшению почвенной структуры [1—3], что имеет особенно большое значение для почв с плохими физическими свойствами. К числу таких почв относятся солонцы.

Разные горизонты солонцов, по мнению П. А. Генкеля и Е. М. Данини [4], отличаются друг от друга, как почвы разных типов. Так, горизонт А обычно мало засолен и по свойствам близок к южным черноземам. Горизонт В₁ характеризуется, главным образом, солонцеватостью, а характерной чертой горизонта В₂ является солончаковатость. В связи с этим при изучении микрофлоры таких почв необходимо иметь в виду влияние на микроорганизмы и солонцеватости и засоленности.

Рядом исследователей микрофлоры засоленных почв изучались целлюлозоразрушающие микроорганизмы. Так, исследования П. А. Генкеля и Е. М. Данини [4] показали подавление процесса целлюлозоразрушения в столбчатом горизонте солонцов в связи с его отрицательными физическими свойствами и энергичное развитие этого процесса в гумусовом горизонте.

По данным некоторых исследователей, засоление почвы в определенных пределах может оказывать положительное влияние на развитие целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Работы М. Приходько, М. Беликова [5] показали, что внесение в черноземную почву NaCl и Na₂SO₄ увеличивает интенсивность процесса целлюлозоразрушения. Стимулирование процесса разложения клетчатки при засолении отмечалось и З. Ф. Тепляковой [6], обнаружившей, что галофилы примерно в 2 раза активнее разлагают целлюлозу, чем негаллофилы.

Целью настоящей работы было выявление численности и состава микроорганизмов, разлагающих клетчатку в различных горизонтах солонцов в Северной Кулунде (колхоз «Культура» Купинского района Новосибирской области), в течение вегетационного периода, а также выяснение вопроса о том, какие факторы влияют на интенсивность разложения целлюлозы в разных генетических горизонтах солонцов.

Учет развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов велся тремя методами:

1) на почвенных пластинках определялась интенсивность целлюлозоразрушения (по Христенсену);

2) на агаре Гетчинсона учитывалась численность этих микроорганизмов при посеве почвенных комочков (по С. Н. Виноградскому);

3) на агаре Гетчинсона учитывалась численность микроорганизмов при посеве различных разведений почвенной суспензии (по О. И. Пушкинской [7]).

Для работы использовались обеззоленные фильтры, предварительно освобожденные от амилоидов [8].

Таблица 1
Интенсивность разложения целлюлозы в солонцах в % (по Христенсену)

Схема полевого опыта	Глубина взятия образца, см	1955 г.		1956 г.			1958
		11/VII	15/VIII	9/IX	21/V	3/VIII	4/IX
Целина	0—12—13	100	40	20	90	100	100
	13—25—26	0	0	0	0	30	0
	26—39—40	0	0	0	0	0	0
Отвальная пахота на 16—18 см	0—12—13	100	100	70	100	100	100
	13—25—26	20	0	85	—	—	50
	26—39—40	0	0	0	—	0	0
Безотвальная глубокая пахота на 35—40 см	0—12—13	—	—	—	100	100	100
	13—25—26	—	—	—	70	20	70
	26—39—40	—	—	—	—	15	2
Отвальная глубокая пахота на 35—40 см	0—12—13	—	—	—	60	100	100
	13—25—26	—	—	—	80	70	50
	26—39—40	—	—	—	—	—	2

При учете по методу Христенсена (см. [9]) на почвенную пластинку, увлажненную до 60% от полной влагоемкости, сверху накладывались три полоски фильтровальной бумаги размером 3 × 0,5 см. За 100% принималось полное разложение фильтровальной бумаги (определение было визуальным, весовой способ не использовался).

Таблица 2
Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов в солонцах (в % проросших комочков)

Схема полевого опыта	Глубина взятия образца, см	1956 г.			1957	1958 г.		
		3/VII	27/VII	30/VIII	25/V	21/V	13/VII	4/IX
Целина	0—12—13	28	31	26	100	88	100	50
	13—25—26	4	14	3	28	12	4	16
	26—39—40	0	2	14	6	22	0	12
Отвальная пахота на 16—18 см	0—12—13	17	56	79	100	84	94	90
	13—25—26	1	19	70	65	30	26	56
	26—39—40	0	4	53	12	24	6	18
Безотвальная глубокая пахота на 35—40 см	0—12—13	32	86	79	100	100	92	76
	13—25—26	10	88	35	100	100	78	4
	26—39—40	34	10	32	—	48	50	4
Отвальная глубокая пахота на 35—40 см	0—12—13	100	89	100	95	100	88	96
	13—25—26	44	90	90	53	40	76	50
	26—39—40	—	0	29	42	20	36	68

При посеве почвенных комочков на среду Гетчинсона определялся процент проросших комочков, а при посеве различных разведений почвенной суспензии на агар Гетчинсона проводился подсчет выросших колоний с последующим пересчетом на 1 г абсолютно сухой почвы.

Проведенные исследования показали своеобразный характер развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов в солонцах.

Гумусовый горизонт характеризуется высокой интенсивностью разложения целлюлозы (табл. 1) и большой численностью целлюлозоразрушающих микроорганизмов (табл. 2, 3).

В литературе имеется очень мало сведений о численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов в засоленных почвах. Так, А. К. Паносян [10] в солонцах — солончаках Армении, Н. С. Пономарева [11] в солонцах Омской области обнаружили всего от 4 до 20 тыс. этих микроорганизмов в 1 г почвы (учет проводился на жидких средах), тогда как нами при учете на агаре Гетчинсона было установлено развитие более 300 тыс. целлюлозоразрушающих микробов в горизонте А целины (в 1 г почвы).

Таблица 3

Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов в солонцах
(в тыс. на 1 г почвы) 1958 г.

Сроки анали- зов	Схема полевого опыта	Глубина взятия образца, см	Общее число микроорга- низмов	Из них		
				грибов	бактерий	актино- мицетов
22/X	Целина	0—12—13	22,9	20,9	0	0,2
		13—25—26	1,53	1,53	0	0
		26—39—40	0,69	0,69	0	0
	Отвальная пахота на 16—18 см	0—12—13	166	8,3	11,7	146
		13—25—26	15	15	0	0
		26—39—40	4,33	4,13	0	0,2
	Безотвальная глубокая пахота на 35—40 см	0—12—13	191	0	20	171
		13—25—26	27	27	0	0
		26—30—40	49	32	0	17
	Отвальная глубокая па- хота на 35—40 см .	0—12—13	48	2	18	28
		13—25—26	98	70	0	28
		26—39—40	24	18,7	0	5,3
13/VII	Целина	0—12—13	222	2	0	220
		13—25—26	94	2	65*	27
		26—39—40	53	40	11*	2
	Отвальная пахота на 16—18 см	0—12—13	234	13	6	215
		13—25—26	35	9	11	14,8
		26—39—49	42	0	40*	2
	Безотвальная глубокая пахота на 35—40 см .	0—12—13	230	4,2	4,2	225,2
		13—25—26	231	9	9	213
		26—39—40	87	0	45*	42
	Отвальная глубокая па- хота на 35—40 см .	0—12—13	492	4,4	4,4	483
		13—25—26	161	3	3	155
		26—39—40	11,4	5,6	2	3,8
4/IX	Целина	0—12—13	359	8,5	4,3	346
		13—25—26	15	3,2	7,5	4,3
		26—39—40	8,7	2,2	0	6,5
	Отвальная пахота на 16—18 см	0—12—13	324	8,9	17,7	297
		13—25—26	213	7,9	0	205
		26—39—40	56,5	0	2,5	54
	Безотвальная глубокая пахота на 35—40 см .	0—12—13	649	6,4	8,5	634
		13—25—26	79	0	2,0	77
		26—39—40	158	0	158*	—
	Отвальная глубокая па- хота на 35—40 см .	0—12—13	800	1,1	4,4	794
		13—25—26	181	2	0	179
		26—39—40	128	0	0	128

* Актиномицеты + бактерии (совместный рост).

Проведившийся нами одновременный учет этих микроорганизмов разными методами дал различающиеся результаты: на почвенных пла-стинках с клетчаткой и на агаре Гетчинсона при посеве комочков поч-вы выростала в основном бактериальная флора, тогда как при посеве методом разведений преобладали актиномицеты.

Горизонты B_1 и B_2C оказались малоактивными в отношении разви-тия в них целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

В горизонте B_1 целлюлозоразрушение было отмечено лишь один раз — 3.VII 1958, а в горизонте B_2C во все сроки анализов было уста-новлено полное подавление этого процесса.

Хотя процесс целлюлозоразрушения сильно подавлен в солонцовом горизонте, в нем было обнаружено небольшое количество целлюлозо-разрушающих микроорганизмов (табл. 2, 3).

В составе микроорганизмов, населяющих разные горизонты солон-цов, имеются большие различия. В горизонте А целлюлозоразрушающие микроорганизмы представлены миксобактериями из родов *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Cellfalcicula*. Присутствие в почве таких бактерий, по дан-ным Е. Н. Мишустина [12], говорит о хорошей обеспеченности почвы минеральным азотом.

Наряду с этими микроорганизмами часто отмечалось довольно вы-сокое содержание актиномицетов, способных расти на клетчатке. Так, осенью 1958 г. в горизонте А целины было более 300 тыс. актиномице-тов в 1 г почвы. В горизонтах B_1 и B_2C миксобактерии обычно не встре-чаются, тогда как немногочисленные актиномицеты постоянно присут-ствуют в этих горизонтах солонцов.

В солонцах были обнаружены следующие виды актиномицетов, способных развиваться на клетчатке: *Actinomyces griseoruber*, *Act. fra-biae*, *Act. globisporus griseus*, *Act. griseus*. Учет по методу О. И. Пушкин-ской позволил нам установить значительное содержание в солонцах ак-тиномицетов, способных расти на клетчатке, тогда как З. Ф. Теплякова [13], пользовавшаяся лишь методом посева комочков почвы, пришла к выводу о полном отсутствии в солонцах Северного Казахстана актино-мицетов, способных развиваться на клетчатке.

Для изучавшихся нами солонцов характерно богатство актиноми-цетами, о чем свидетельствуют и результаты учета на крахмалоаммиач-ном агаре (отмечалось до 4 млн. в 1 г почвы). Эти факты можно по-ставить в связь с тем, что данные солонцы находятся в крайне засуш-ливой зоне со среднегодовой суммой осадков 265 мм. Влажность почвы часто бывает ниже влажности завядания. В таких условиях особенно возрастает роль актиномицетов, могущих быть жизнедеятельными при весьма жестких условиях, когда другие микроорганизмы неактивны. В связи с этим А. А. Имшенецкий [3] считает актиномицеты ксерофит-ными микроорганизмами.

Значительные различия в составе целлюлозоразрушающих микро-организмов были обнаружены в течение вегетационного периода: вес-ной преобладали грибы, а летом и особенно осенью — актиномицеты, за счет которых в основном и шел прирост числа целлюлозоразру-шающих микроорганизмов от весны к осени (см. табл. 3 и ри-сунок).

Имея в виду тот факт, что многие целлюлозоразрушающие микро-организмы очень требовательны к содержанию элементов минеральной пищи в почве, мы решили выяснить, не является ли недостаток этих элементов одной из причин резкой подавленности процесса целлюлозо-разрушения в солонцовом горизонте, в связи с чем был проведен сле-дующий лабораторный опыт.

К почвенным образцам, взятым в мае 1958 г. из горизонтов А, В₁ и В₂С₂, были добавлены следующие вещества: NH₄NO₃(N) из расчета 0,15 г N на 1 кг почвы; буферная смесь Na₂HPO₄ и NaH₂PO₄(P) из расчета 0,108 г P₂O₅ на 1 кг почвы; CaCO₃ и CaSO₄ — 1% от веса почвы. Затем было проведено определение интенсивности целлюлозоразрушения по методу Христенсена.

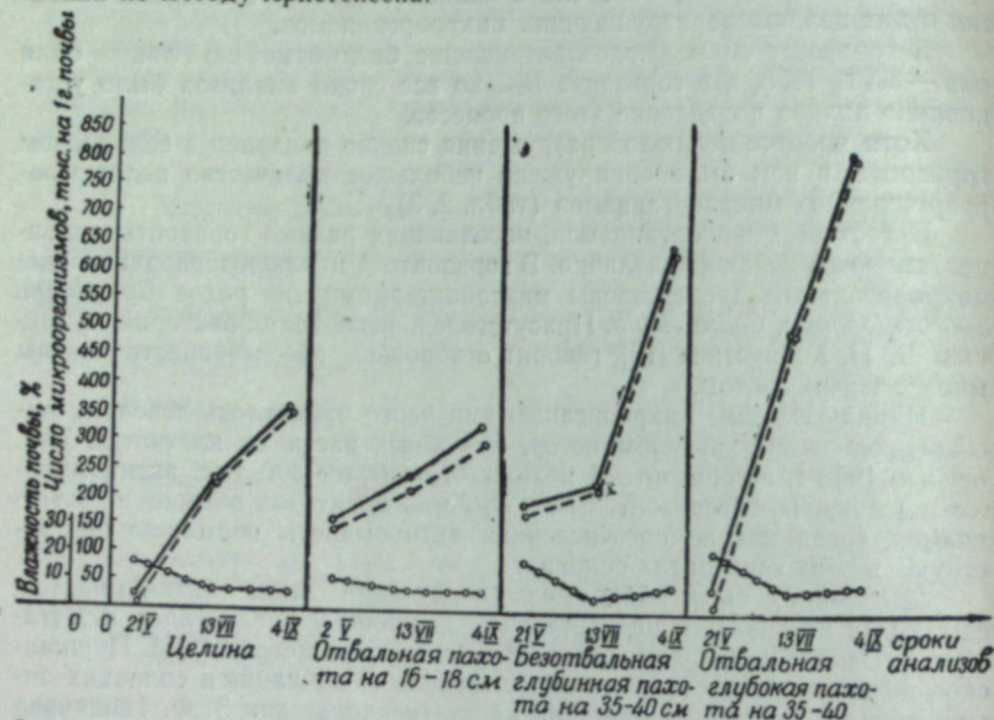


Рис. Динамика развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов в гумусовом горизонте солонцов при различных способах обработки почвы (1958 г.). — общее число микроорганизмов, — число актиномицетов, — влажность почвы.

Из табл. 4 видно, что в контроле разложение целлюлозы шло слабо (30%). NH₄NO₃ и CaCO₃ резко стимулировали целлюлозоразрушение, гипс действовал несколько слабее, а фосфорнокислые соли почти не

Таблица 4
Влияния внесения CaCO₃, CaSO₄ на интенсивность целлюлозоразрушения (по Христенсену) в различных горизонтах целинного солонца (в %)

Горизонт	Глубина, см	Контроль	N	P	N+P	CaCO ₃	CaSO ₄	CaCO ₃ + +N+P	CaSO ₄ + +N+P
A	0—12—13	30	100	50	100	100	80	100	100
B ₁	13—25—26	10	20	30	40	30	3	80	70
B ₂ C	26—39—40	0	0	0	10	5	0	10	10

дали эффекта по сравнению с контролем. Хотя солонцы имеют щелочную реакцию (pH = 7,5—7,8), внесение в них карбоната кальция оказывает благоприятное влияние на микрофлору почвы, что можно объяснить следующим образом.

В почвах, имеющих значительное содержание натрия, растения и микробы могут испытывать кальциевое голодание, поэтому внесение источников кальция способствует улучшению кальциевого питания и

таким образом благоприятствует протеканию физиологических процессов в растениях и микроорганизмах [14, 15]. По нашим данным [16], внесение CaCO₃ в солонцы в условиях лабораторного опыта привело к усилению минерализационных процессов, что также имело большое значение для развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

В горизонте В₁ заметная активизация процесса отмечалась лишь в вариантах с внесением CaCO₃+N+P и CaSO₄+N+P тогда как в горизонте В₂С ни в одном случае целлюлозоразрушение практически не шло. Видимо, для интенсификации целлюлозоразрушения в горизонтах В₁ и В₂С эти слои почвы необходимо обогатить активной микрофлорой и улучшить физические свойства, так как внесение минеральных соединений очень мало активизирует процесс. Обогащение солонцового горизонта активными целлюлозоразрушающими бактериями может быть осуществлено за счет микрофлоры гумусового горизонта, что и происходит при механической обработке солонцов. По данным А. П. Трубецкой [17], при этом благоприятно изменяются и физические свойства солонцов.

Полевой опыт по выяснению влияния обработки солонцов на их химический, физический и биологический режим был заложен в 1955 г. опорным пунктом Новосибирской сельскохозяйственной опытной станции в колхозе «Культура» Купинского района Новосибирской области. Изучение микрофлоры (в том числе целлюлозоразрушающих микроорганизмов) проводилось на следующих вариантах опыта:

1) отвальная пахота на 16—18 см, 2) безотвальная глубокая пахота на 35—40 см и 3) отвальная глубокая пахота на 35—40 см. Более подробно условия проведения полевого опыта и описание солонцов приведены в ранее опубликованной нами работе [16].

Обработка солонцов, способствующая разрыхлению плотного солонцового горизонта, являющегося препятствием для корней растений, и перемешивание почвы из разных генетических горизонтов создают довольно мощный биологически активный пахотный слой, пронизанный корнями растений.

В результате вспашки нормализуется состав микроорганизмов, населяющих различные горизонты солонцов. Кроме актиномицетов, в солонцовом горизонте начинают обнаруживаться ранее отсутствовавшие там миксобактерии. В распаханых солонцах по сравнению с целиной резко увеличивается численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов (см. табл. 2, 3). Примешивание к гумусовому горизонту почвы из солонцового горизонта, обогащенного коллоидами и солями кальция, активизирует развитие целлюлозоразрушающих микроорганизмов в горизонте А, что особенно ярко проявилось в варианте с отвальной глубокой вспашкой.

О положительном действии солей кальция на развитие целлюлозоразрушающих микроорганизмов говорят и данные лабораторного опыта (табл. 4). Таким образом, и при внесении в солонцы солей кальция извне, и при мобилизации внутренних ресурсов почвы отмечалась значительная активизация развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Выводы

Изученные солонцы характеризуются своеобразным характером распределения целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

В горизонте А содержится большое количество этих микроорганизмов, представленных миксобактериями и актиномицетами; в этом слое почвы идет интенсивное разложение клетчатки.

В горизонтах B_1 и B_2C обнаружено небольшое число актиномицетов, способных развиваться на клетчатке.

Подавление процесса разложения клетчатки в солонцовом горизонте обусловлено малочисленностью и недостаточной активностью присутствующих в нем микроорганизмов.

Добавление к почве NH_4NO_3 , $CaCO_3$, $CaSO_4$ приводит к значительной активизации целлюлозоразрушения в гумусовом горизонте; в горизонте B_1 заметный эффект отмечался лишь при совместном внесении в почву $N + P + CaCO_3$ и $N + P + CaSO_4$, тогда как в горизонте B_2C при внесении этих веществ не произошло существенных изменений в интенсивности процесса целлюлозоразрушения.

Глубокая обработка (отвальная и безотвальная) среднестолбчатых солонцов лугово-степного типа, содержащих близко от поверхности гипс и карбонат кальция, оказывает положительное влияние на развитие целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
1/VII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Кононова, Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. Изд. АН СССР, М., 1951.
2. С. Н. Виноградский, Микробиология почвы. Изд. АН СССР, М., 1952.
3. А. А. Имшенецкий, Микробиология целлюлозы. Изд. АН СССР, М., 1953.
4. П. А. Генкель, Е. М. Данини, Микробиологическая характеристика солонцов. Тр. Биол. ин-та при Пермском ун-те, т. VII, вып. 1—2, 1935.
5. М. Приходько, М. Беликова, К биодинамике засоленных почв. Почвоведение, № 3—4, 1929.
6. З. Ф. Теплякова, Новые виды галофильных целлюлозоразрушающих бактерий. Микробиология, т. XXI, вып. 3, 1952.
7. О. И. Пушкинская, К методике количественного учета микроорганизмов, способных разлагать целлюлозу в почве. Микробиология, т. XXIII, вып. 1, 1954.
8. А. А. Имшенецкий, Л. Солицева, Об аэробных целлюлозных бактериях. Изв. АН СССР, сер. биол., № 6, 1936.
9. В. Л. Омелянский, Практическое руководство по микробиологии. Изд. АН СССР, М., 1940.
10. А. К. Паносян, Микробиологическая характеристика солончаков Армянской ССР в связи с вопросом их освоения. Ереван. Изд. АН Арм. ССР, 1948.
11. Н. С. Пономарева, Динамика микрофлоры в черноземных солонцах племсовхоза «Омский». Кан. дисс. Омский с.-х. ин-т, 1954.
12. Е. Н. Мишустин, Микроорганизмы и плодородие почвы. Изд. АН СССР, М., 1956.
13. З. Ф. Теплякова, Т. Г. Максимова, Распространение актиномицетов в почвах Северного Казахстана. Микробиология, т. XXVI, вып. 3, 1957.
14. Е. И. Ратнер, Минеральное питание растений и поглотительная способность почв. Изд. АН СССР, М., 1950.
15. Э. Рассел, Почвенные условия и рост растений. ИЛ, М., 1957.
16. Т. Е. Кузнецова, К характеристике процесса нитрификации в солонцах Новосибирской области. Изв. СО АН СССР, № 9, 1958.
17. А. П. Трубецкая, Научный отчет за 1956 г. (рукопись). Биол. ин-т ЗСФАН СССР, 1957.

П. С. БУГАКОВ, Н. В. КАЗАНЦЕВ

К ХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В течение 1958—1959 гг. в организованной нами почвенной лаборатории по договору с Красноярским управлением землеустройства было проанализировано более двух с половиной тысяч образцов почти из тысячи разрезов почв, преимущественно лесостепной зоны. В результате этих работ накоплен аналитический материал, часть которого объединена и изложена в настоящем сообщении.

Анализы проводились по общепринятой в массовых работах методике: перегной — по Тюрину, подвижный фосфор — по Кирсанову, подвижный калий — по Бровкиной, обменные кальций и магний — по Гедройцу, гидролитическая кислотность — по Каппену, реакция солевой вытяжки — по Алямовскому.

По всем видам анализов подсчитаны среднеарифметические показатели (M) и для большинства, за исключением данных по подвижному фосфору и калию, ошибка средней арифметической ($\pm m$). Элементарная математическая обработка проводилась с целью получить результаты, более приближенные к истинным, и выяснить степень достоверности разницы отдельных показателей в описываемых почвах и тем самым оценить качество полученных данных.

При рассмотрении приводимых данных следует иметь в виду, что анализированные образцы собраны преимущественно с пахотных угодий. Большая часть этих земель имеет длительную историю. На основных площадях современных пашен уже давно возделываются различные сельскохозяйственные культуры, главным образом зерновые. В последние годы к пахотным угдьям присоединились участки освоенных целин и залежей, которые в общем балансе пашни лесостепных районов занимают подчиненное место.

Места под разрезы выбирались так, чтобы охватить все массивы с преобладающими почвами. Для анализа брались образцы из тех разрезов, которые могли характеризовать наибольшую площадь пашни с одной и той же почвой.

Максимум проанализированных образцов из всех почв приходится на разрезы, заложенные в посевах зерновых культур (яровая пшеница, озимая рожь, овес). Кроме того, анализировались образцы чернозема выщелоченного — с паровых полей и целины, чернозема оподзоленного — с парового поля и из-под кукурузы, серой лесной почвы — с паровых полей и из-под леса, дерново-подзолистой почвы — с паровых полей, сенокосных угодий, залежи и из-под леса (10 разрезов), дерново-подзолистой почвы со вторым гумусовым горизонтом — с сенокоса, залежи и из-под леса.

В настоящей работе приводятся данные только по трем районам Канской лесостепи — Абанскому (южная часть), Рыбинскому и Ирбейскому. Эти районы расположены в восточной части Красноярского края. Той площадью, в которой больше всего развито земледелие, они входят в состав Канской островной лесостепи.

В геологическом отношении территория Канской лесостепи представляет юго-западную оконечность Тунгусской синеклизы, граничащей на западе с Енисейским кряжем, а на юге и юго-востоке — с Восточным Саяном. Здесь, между главным антиклинарием Восточного Саяна и южным окончанием Енисейского кряжа, рядом геологов [1, 2] выделяется несколько мелких впадин (Рыбинская, Канско-Тасеевская, Канская и др.).

Горные породы, слагающие большую часть территории Канской лесостепи, относятся к юрской системе и нижнему отделу силурийской системы. С поверхности эти породы перекрыты более поздними отложениями, представляющими собой делювий и элювий различного по минералогическому составу материала. В подавляющем большинстве они содержат карбонаты. По механическому составу среди поверхностных отложений наибольшее распространение имеют тяжелосуглинистые разности.

Рельеф основной части характеризуемых районов слабо расчлененный с мягкими формами. Склоны, как правило, пологие, спускающиеся с увалистых водоразделов в широкие и плоские лога и днища. Разность высот положительных и отрицательных элементов рельефа не превышает 40—50 м.

Основные массивы пашни располагаются по обширным вытянутым возвышенностям, плосковершинным увалам и несколько опущенным равнинам. Повышения по краям рассечены логами и пологими ложбинами, нередко имеют ярко выраженный микрорельеф (западины, мелкие бугры и т. п.).

Разрезы выщелоченного чернозема, которые здесь рассматриваются, относятся к таким элементам рельефа, как склоны разных экспозиций, равнинные участки, платообразные массивы, шлейфы, волнистые равнины и др. Примерно к таким же элементам приурочены проанализированные разрезы серых лесных почв. Для дерново-подзолистых почв список форм рельефа дополняется пологими ложбинами, небольшими понижениями, логами, западинами.

Климат рассматриваемой зоны умеренно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха около -1° и годовым количеством осадков от 300 до 400 мм. Безморозный период — 80—110 дней, число дней со среднесуточной температурой более 5° — 140—150. Снежный покров неравномерный и колеблется от 20 до 60 см.

Для растительности Канской лесостепи (в пределах упомянутых районов) характерно чередование ассоциаций луговой степи и остепненных лугов, с одной стороны, и травяно-кустарничковых, лиственнично-сосновых и сосновых лесов в сочетании с лишайниково-кустарничковыми сосняками, с другой стороны [3]. Среди разреженного древостоя хвойных встречается примесь березы. Под пологом леса развиваются травяно-кустарничковые ассоциации, а местами — степные травы (ковыль). Для травяного покрова присуща остепненность. В подтайге облесенность увеличивается.

К настоящему времени все остепненные и частично луговостепные участки распаханы. В процессе более чем пятидесятилетней земледельческой практики площади под лесами уменьшались и увеличивались под пашней. Такая тенденция в последние годы продолжается. Участ-

ки из-под редколесья, гарей и лесных вырубков подвергаются раскорчевке и очистке и затем распахиваются.

В почвенном покрове земледельческой части Абанского, Рыбинского и Ирбейского районов преобладают черноземы выщелоченные и оподзоленные, серые лесные оподзоленные почвы, дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом (вторично-подзолистые), дерново-подзолистые и менее распространенные, бурые почвы [4—7].

Морфологическая характеристика, некоторые сведения об условиях залегания перечисленных почв представляются в следующем виде.

Черноземы оподзоленные и выщелоченные встречаются главным образом среди пахотных угодий и частично под изреженными березняками (с лесным или лугсовым злаково-разнотравным покровом). Выщелоченные черноземы располагаются по всем основным элементам рельефа, причем более выщелоченные разности приурочены к невысоким увалам, к нижним и средним частям их склонов. Оподзоленные черноземы обычно расположены по низким увалам, по днищам логов, а также по нижним частям склонов.

Тучные и мощные разновидности черноземов располагаются по более затененным, низким и более увлажняемым участкам. Перегнойный горизонт черноземов от серой или буровато-серой до черной окраски, структура зернистая или комковато-пылеватая. Признаки оподзоленности выражаются в уплотнении горизонта ВС, присутствии кремнеземистой присыпки на границе В и ВС, в более четкой структуре с заметным глянцем на поверхности агрегатов.

Степень выщелоченности черноземов различается по выраженности иллювиального горизонта и по глубине залегания карбонатов. Мощность слоя между нижней границей перегнойного горизонта и верхним уровнем вскипания равна у слабовыщелоченных черноземов 5—20, выщелоченных — 20—30, сильновыщелоченных — 30—40, а у оподзоленных — более 40 см. По гумусности черноземы подразделяют на малогумусные (с содержанием перегноя 4—6%), среднегумусные (7—10%) и тучные (более 10%).

Серые и бурые оподзоленные лесные почвы распространены как среди пахотных угодий, так и под сенокосами, пастбищами, под березовыми лесами с примесью осины, сосны и лиственницы. По всем основным элементам рельефа можно встретить серые лесные почвы. При этом менее оподзоленные разности находятся на менее увлажняемых элементах рельефа — южных и западных склонах, а средне и сильнооподзоленные приурочены к местам повышенного увлажнения. Разности с большим содержанием перегноя и с увеличенной мощностью располагаются обычно ниже по рельефу, а маломощные и менее гумусированные — по вершинам водоразделов и более крупным выпуклым склонам.

Интенсивность окраски перегнойного горизонта у серых почв постепенно уменьшается с глубиной. Структура зернистая или комковатая, переходящая с глубиной в комковато-ореховатую. Оподзоленный горизонт выражен с неодинаковой интенсивностью у разных подтипов. Иллювиальный процесс у слабооподзоленных разностей проявляется плохо, а карбонаты залегают обычно с 80—130 см. У средне- и сильнооподзоленных разностей горизонт В сформирован хорошо, а карбонаты опущены еще ниже (150—180 см).

Бурые почвы имеют коричневатый оттенок по всему профилю, связанный с окраской материнской породы; профиль слабо дифференцирован, оподзоленность неясно выражена.

Дерново-подзолистые почвы встречаются под смешанным и лиственным лесом с большим участием березы и осины и хорошо развитым

травянистым покровом. Отдельные участки почв освоены под пашни. В лесостепной зоне названные почвы формируются по сильнее увлажняемым северным и восточным склонам. Более низким частям рельефа с разреженным древостоем присущи почвы с большей мощностью и гумусированностью, а сильное оподзоливание наблюдается по повышенным элементам рельефа и под более густой древесной растительностью.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются четким разделением генетических горизонтов. Дерновый горизонт серой окраски с зернистой или комковатой структурой. Оподзоленный горизонт серый, белесоватый с плитчатой или листоватой структурой, легко разрушающейся до мучнистой массы; мощность его различна в зависимости от степени оподзоленности. Иллювиальный горизонт хорошо выражен, ореховато-острореберной структуры. Глубина залегания карбонатов 150—200 см и ниже. Дерново-подзолистые почвы нередко оглеены и характеризуются наличием сизоватых и ржавых пятен и налетов в верхних горизонтах, а при слабой оглеенности — в нижних.

Дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом чаще всего сочетаются с обычными дерново-подзолистыми почвами, располагаясь по микропонижениям. Под перегнойным горизонтом у данных почв залегает оподзоленный, который подстилается вторым гумусовым горизонтом. Последний имеет ореховато-комковатую структуру с обильной кремнеземистой присыпкой. Он менее обогащен перегноем, чем верхний гумусовый горизонт, и поэтому — более светлый и менее однородный по окраске. Степень выраженности второго гумусового горизонта убывает по мере нарастания оподзоленности.

На черноземах выщелоченных, серых лесных и дерново-подзолистых почвах из всех проанализированных разрезов более двух третей являются тяжелосуглинистыми по механическому составу. Остальные представлены на выщелоченных черноземах и серых лесных почвах глинистыми и среднесуглинистыми, на дерново-подзолистых — средне и легкосуглинистыми и супесчаными, а на дерново-подзолистых почвах со вторым гумусовым горизонтом — глинистыми и среднесуглинистыми.

Из образцов, подвергавшихся анализу, не все проанализированы на механический состав. В преобладающей части анализированных разрезов в верхнем горизонте содержится физической глины в %: в черноземах выщелоченных — более 45 (в 90% всех образцов); в серых лесных почвах более 45 (в 80% всех образцов); в дерново-подзолистой почве со вторым гумусовым горизонтом — более 30 (в 85% образцов) и в дерново-подзолистых — более 40 (во всех образцах).

В табл. 1 приведены в качестве примера результаты механического анализа почв по нескольким разрезам. Для суждения о генетических особенностях различных почв приведенных данных недостаточно. По ряду разрезов анализами охвачены не все горизонты. Но и без этого можно отметить некоторые штрихи, характерные для отдельных почвенных разностей.

Выщелоченные и оподзоленные черноземы по данным механического анализа показывают заметно выраженную дифференциацию горизонтов. Утяжеление механического состава наблюдается в горизонте В, что видно как по физической глине, так и отдельно по фракциям, ее составляющим.

У серых лесных почв генетические горизонты слабо различаются по механическому составу. В оподзоленном горизонте прослеживается небольшая обедненность илистыми частицами, а в иллювиальном горизонте их содержится значительно больше. Бурые лесные почвы характеризуются небольшим перераспределением илистой фракции по про-

Механический состав почв, %

Таблица 1

Наименование почвы и место взятия образца	Горизонт, глубина, см	Потери от обработки HCl, %	Размеры фракций, мм						
			1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
Чернозем выщелоченный (колхоз «Большевик» Рыбинского района)	A 10—20	5,37	0,35	29,33	25,40	8,48	16,96	20,48	45,92
	B 30—40	4,80	0,61	21,16	31,20	6,00	13,76	27,28	47,04
	BC 45—55	4,49	0,87	4,65	31,68	5,92	15,20	41,68	62,80
	C 70—80	13,50	0,78	10,83	26,40	9,12	15,28	37,60	62,00
Чернозем оподзоленный (колхоз «Большевик» Рыбинского района)	A 0—10	4,99	0,23	24,54	27,60	4,10	6,04	36,99	47,63
	B 35—45	4,57	0,31	13,69	30,64	8,00	14,80	32,56	55,35
	BC 55—65	3,71	0,34	6,38	24,64	6,24	18,24	44,16	68,64
	C 80—90	6,86	0,21	13,31	20,64	13,84	11,04	40,96	65,84
Темно-серая лесная слабооподзоленная (колхоз «Коммунар» Рыбинского района)	A 0—20	7,07	0,29	17,35	32,55	13,64	7,86	28,31	49,81
	A ₂ 20—30	5,58	0,18	11,50	36,62	12,24	18,60	20,86	51,70
	B 60—70	4,01	0,16	14,56	20,00	9,70	12,28	43,30	65,28
	C 120—130	6,96	0,03	4,89	30,40	7,14	13,30	44,24	64,68
Бурая слабооподзоленная (колхоз «Красное знамя» Рыбинского района)	A 3—12	1,63	0,08	22,29	34,88	7,15	7,8	27,90	41,86
	B 17—24	3,11	0,41	22,78	30,21	6,96	8,39	31,25	46,60
	C 80—90	3,87	0,0	20,70	29,21	8,99	11,77	31,85	52,89
Дерново-среднеподзолистая со вторым гумусовым горизонтом (колхоз им. Жданова Ирбейского района)	A 0—10	2,10	1,83	31,45	32,88	6,68	12,52	14,64	33,84
	A ₂ h 25—30	3,04	1,59	29,21	32,80	10,48	10,24	15,68	36,40
	B ₂ 100—110	3,37	17,71	19,41	9,92	14,08	16,96	21,92	52,96
Дерново-подзолистая (колхоз им. Куйбышева Ирбейского района)	A 0—20	1,54	1,27	25,63	27,49	8,04	12,14	25,43	41,61
	A ₂ 25—30	1,47	1,11	23,38	26,62	8,81	11,75	28,33	48,89
	C 170—174	2,04	8,96	27,47	12,53	9,07	12,56	29,41	51,04

филю, с глубиной же намечается утяжеление механического состава за счет увеличения фракции пыли.

Обратимся к данным химического состава почв (табл. 2)*.

Из приведенных результатов анализов можно заметить, что наиболее удовлетворительные данные получены по содержанию перегноя, где преобладающая часть значений средней ошибки ($\pm m$) показывает меньшие отклонения отдельных повторностей от среднего результата.

Небезынтересна оценка достоверности** разницы содержания перегноя в отдельных типах почв.

Сопоставляя содержание перегноя в верхнем горизонте почв различных типов, обнаруживаем следующее. Разница между черноземами и серыми лесными почвами доказана; близка к достоверной разница между черноземом выщелоченным и дерново-подзолистой почвой со вторым гумусовым горизонтом и между серой лесной и дерново-подзо-

* Для получения средних послынных данных для каждой почвы брались генетически однородные горизонты.

** О достоверности мы судим по коэффициенту достоверности, который нетрудно рассчитать из приведенных данных по формуле:
$$t = \frac{M_1^2 - M_2^2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

Разница признается достоверной при коэффициенте достоверности большем или равном 3 [8].

Таблица 2

Места взятия проб и наименование почв	Глубина, см	Перегной, %		Подвижные, мг на 100 г почвы				Обменные катионы в м-экв на 100 г почвы				РН солевой вытяжки						
		n	M	±m	P ₂ O ₅		K ₂ O		Ca		Mg		n	M	±m	n	M	±m
					n	M	n	M	n	M	n	M						
		n	M	±m	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	±m	сумма		
Абанский район																		
Чернозем выщелоченный	0-20	29	8,64	0,44	27	29,3	27	27,0	6	38,1	5,25	6	5,3	0,30	43,4	29	6,6	0,07
	20-40	25	5,14	0,42	25	16,3	25	25,3	6	28,8	3,97	6	3,8	0,49	32,6	29	6,5	0,09
Серая лесная оподзоленная	0-20	49	6,01	0,26	49	19,5	49	13,1	18	30,4	1,38	18	4,2	0,53	37,5	49	6,2	0,06
	20-40	47	3,18	0,25	46	17,3	46	10,3	18	23,4	1,57	18	3,5	0,46	28,9	49	6,2	0,07
Дерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом	0-15	31	7,16	0,35	30	18,8	27	17,1	14	27,6	2,82	14	5,7	0,53	36,2	31	6,1	0,05
	15-30	29	3,64	0,34	29	18,2	26	12,61	14	22,5	2,13	14	4,5	0,42	30,1	30	5,9	0,13
	30-50	12	2,98	0,56					10	27,2	3,86	10	5,25	0,42	34,7	13	5,8	0,14
Дерново-подзолистая	0-15	32	6,40	0,43	32	23,6	31	13,9	10	33,2	3,35	10	4,5	0,50	40,1	28	6,1	0,065
	15-35	31	3,66	0,39	29	14,6	29	12,5	10	22,7	1,57	10	3,7	0,45	28,7	28	6,1	0,082
Рыбинский район																		
Чернозем оподзоленный	0-20	9	10,38	0,71	9	14,44	9	16,0	1	42,64		1	6,56		49,2	9	6,51	0,10
	20-40	8	6,84	0,13	7	14,47	7	16,71	1	32,35		1	6,16		38,5	8	6,27	0,22
Чернозем выщелоченный	0-20	39	8,61	0,53	39	20,39	38	17,74	14	37,12	1,50	13	6,00	0,64	43,1	38	6,63	0,05
	20-40	35	6,45	0,43	37	16,19	36	15,16	15	29,85	1,68	13	5,40	0,57	35,2	35	6,59	0,05
Серая лесная оподзоленная	0-20	35	6,03	0,23	34	18,92	33	17,19	13	28,46	1,38	13	4,62	0,68	35,0	35	6,22	0,06
	20-40	25	3,95	0,12	27	14,67	26	14,69	12	23,36	1,00	13	4,17	0,53	29,4	29	6,09	0,07
Дерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом	0-15	3	7,64		3	31,66	3	16,23	1	43,3		1	2,1		52,1	3	6,20	
	15-30	3	5,51		3	28,33	3	15,13	1	34,4		1	1,6		39,0	3	6,03	
	30-50	3	5,59						1	42,9		1	3,4		53,1	3	6,13	
Бурая лесная	0-10	6	3,56	0,20	6	11,30	6	18,26	2	27,1	2,7	2	1,45	0,25	40,2	6	6,2	0,14
	10-20	3	2,87	0,35	4	5,62	4	13,85	2	16,5	6,4	2	3,45	1,75	21,5	5	6,1	0,11
Дерново-подзолистая	0-15	2	6,15		2	25	2	14,3	1	36,5		1	5,2		41,3	2	6,25	
	15-35	2	5,06		2	22,5	2	20,0	1	26,8		1	1,9		30,3	2	6,20	

Продолжение таблицы 2

Места взятия проб и наименование почв	Глубина, см	Перегной, %		Подвижные, мг на 100 г почвы				Обменные катионы в м-экв на 100 г почвы				РН солевой вытяжки						
		n	M	±m	P ₂ O ₅		K ₂ O		Ca		Mg		n	M	±m	n	M	±m
					n	M	n	M	n	M	n	M						
		n	M	±m	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	±m	сумма		
Ирбейский район																		
Чернозем выщелоченный	0-20	2	11,54	2,16	2	20,0	2	23,45		26,10	1,50	14	4,77	0,31	33,2	2	6,6	0,2
	20-40	2	5,60	0,21	2	12,5	2	24,25		20,30	1,32	14	3,81	0,30	26,3	2	6,4	0,1
Серая лесная оподзоленная	0-20	7	6,65	0,25	7	16,34	7	12,70		22,47	1,32	14	3,81	0,30	35,9	7	6,16	0,09
	20-40	7	4,57	0,27	7	13,22	7	16,39		21,13	1,14	11	3,42	0,30	30,5	7	6,19	0,08
Дерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом	0-15	33	5,79	0,41	32	12,28	31	15,31	14	26,93	1,50	14	4,77	0,31	35,9	32	5,89	0,10
	15-30	33	4,52	0,30	32	10,01	31	12,92	14	22,47	1,32	14	3,81	0,30	30,5	32	5,42	0,11
	30-50	26	4,23	0,20					11	21,13	1,14	11	3,42	0,30	27,7	29	5,3	0,11
Темно-бурая лесная	0-10	3	8,04		3	10	3	14,33	2	30,45		2	5,55		37,9	3	5,93	
	10-20	3	5,53		3	14	3	11,03	2	16,00		2	2,80		20,32	3	6,40	
Дерново-подзолистая	0-15	34	5,34	0,36	31	10,72	31	15,19	12	26,22	1,52	13	4,91	0,40	35,8	36	5,51	0,11
	15-35	31	3,25	0,34	31	9,37	31	13,70	12	21,96	1,31	13	3,83	0,80	30	36	5,39	0,13
									8	17,93	1,36	8	3,36	0,49	24,5	29	5,08	0,11

Примечание. n — число повторностей; M — арифметическая средняя; m — ошибка арифметической средней

листой почвой со вторым гумусовым горизонтом. Разница между остальными почвами лежит вне пределов достоверности.

Обращает на себя внимание большее содержание перегной в дерново-подзолистых почвах Абанского района по сравнению с этими же показателями у серых лесных почв. Правда, это превышение незначительно и находится в пределах ошибки. Анализируя имеющиеся материалы, приходится отметить, что причина такой «аномалии» заключена в ошибках полевого определения почв. К этому добавим и то, что отсутствие данных по дерново-сильноподзолистым почвам, при выраженной контрастности содержания перегной в почвах с разной степенью оподзоленности привело к завышению средних показателей.

Послойное содержание перегной в отдельных типах почв характеризует разную степень дифференциации генетических горизонтов. Если в черноземах разница в гумусности горизонтов А и В едва заметна, то в серых лесных почвах подразделение на горизонты более четкое. Еще более выражена дифференциация горизонтов в дерново-подзолистых почвах.

Следует отметить, что второй гу-

мусовый горизонт дерново-подзолистых почв, обычно хорошо наблюдаемый морфологически, в большинстве случаев, по данным анализов, не отделяется от вышележащих горизонтов. Очевидно, как уже отмечалось в литературе, это связано с тем, что в подзолистом горизонте больше светлоокрашенных форм, гумусовых веществ, чем в нижележащем, втором гумусовом горизонте.

Средние данные по содержанию перегноя одних и тех же почв разных районов варьируют с разной степенью. Например, черноземы выщелоченные Абанского и Рыбинского районов почти не различаются. Особенно они близки по данным верхнего горизонта. То же самое можно сказать о серых лесных почвах всех трех районов. Несколько большие колебания в содержании перегноя у дерново-подзолистых почв, хотя в целом они также невелики.

Содержание подвижных форм фосфора и калия характеризуется большой пестротой. По этой причине для данных показателей не подсчитана ошибка средней арифметической. Подобная пестрота естественна. Ведь образцы одной и той же почвы собраны с полей, занятых разными культурами по разным предшественникам. Большие колебания в содержании фосфора и калия вызваны неодинаковой обработкой почв, различием в местоположении по рельефу, внесением удобрений, временем взятия образцов и др.

Почти во всех почвах содержание подвижного фосфора и калия выше среднего. Это как раз согласуется с имеющимися в литературе [5] утверждениями о том, что на почвах Канской лесостепи только за счет правильной обработки почв можно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Наименьшими запасами подвижного фосфора и калия отличаются бурые почвы.

Описываемые почвы, обладая в большинстве случаев значительными запасами перегноя и являясь преимущественно тяжелыми по механическому составу, характеризуются высокой способностью к обмену. Во всех почвах сумма обменных оснований в верхних горизонтах не опускается ниже 30 м-экв., а в подпахотном горизонте колеблется от 26 до 39 м-экв. и лишь у бурых почв бывает меньше 20 м-экв.

Показатели емкости поглощения различных почв в общем согласуются с уровнем гумусированности, хотя иногда наблюдаются отклонения. Последнее связано, по-видимому, с некоторыми различиями механического состава, с индивидуальными особенностями генетических горизонтов разных почв и другими причинами.

На долю обменного кальция приходится почти во всех случаях более 80% от суммы катионов. Степень насыщенности основаниями довольно высокая. Даже в дерново-подзолистых почвах, имеющих повышенную гидролитическую кислотность, степень насыщенности достигает почти 90%. Соотношение обменных кальция и магния в различных горизонтах непостоянно, и изменение его не имеет четкой определенности (например, в связи с глубиной или содержанием перегноя).

Выводы

1. Приводятся средние данные анализов почв по содержанию перегноя, подвижных форм фосфора и калия, обменных кальция и магния, гидролитической кислотности, pH солевой вытяжки.

2. Наибольшей достоверностью характеризуется разница отдельных почв по содержанию перегноя. По остальным показателям разница между типами в большинстве случаев не доказана.

3. Разница гумусности верхних горизонтов чернозема выщелоченного и серой лесной почвы достоверна. Близка к достоверной разница между черноземом выщелоченным и дерново-подзолистой почвой со вторым гумусовым горизонтом и между серой лесной и дерново-подзолистой почвой со вторым гумусовым горизонтом. Разница между остальными сочетаниями находится в пределах, ниже достоверных.

4. Почвы Канской лесостепи характеризуются высоким содержанием перегноя. В связи с этим в однородных условиях механического состава они отличаются высокой способностью к обмену поглощению.

5. Описываемые почвы богаты подвижными формами фосфора и калия, и поэтому на них только за счет правильной обработки можно добиться значительного повышения урожаев сельскохозяйственных культур.

6. Большая часть почв имеет слабокислую или почти нейтральную реакцию почвенного раствора, и поэтому в известковании как средстве борьбы с кислотностью они не нуждаются. Для дерново-подзолистых почв характерна повышенная гидролитическая кислотность при pH , близком к нейтральному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Кузнецов, Геологический очерк Красноярского края. Сб. Полезные ископаемые Красноярского края, 1938.
2. М. А. Цахновский, Основные черты геологического строения Тунгусского бассейна и перспективы его нефтеносности. Иркутск, 1953.
3. Растительный покров СССР. Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР», т. I и II, изд. АН СССР, 1956.
4. К. П. Горшенин, Почвы южной части Сибири. Изд. АН СССР, 1955.
5. Н. В. Казанцев, Классификация почв Красноярского края. Докл. на I делегатском съезде почвоведов СССР, 1958.
6. М. В. Кириллов, К познанию географии почв Красноярского края. Тр. Томск. Гос. ун-та, т. 140, 1957.
7. М. В. Кириллов и др., Природные условия Красноярского края (климат и почвы). В кн.: «Система мероприятий по увеличению производства сельскохозяйственной продукции в Красноярском крае». Красноярск, 1957.
8. П. Н. Константинов, Основы сельскохозяйственного опытного дела. Сельхозгиз, 1952.

Г. С. КОМОЛОВА, М. С. ЛЕВИНСОН

ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ДРОЖЖЕВЫЕ КЛЕТКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА ПРИСУТСТВУЮЩЕГО ГАЗА

Согласно современным представлениям, действие ультразвука подразделяется в основном на механическое, химическое и термическое. Какой из приведенных факторов окажется преобладающим в том или ином эффекте, во многом определяется, по-видимому, специфическими особенностями озвучиваемых объектов: размерами, геометрической формой, структурой, функциональным состоянием и т. д. Имеется ряд работ, в которых делаются попытки выделить главные действующие факторы при озвучивании различных клеток во взвешях [1—7].

Большинство авторов, занимающихся вопросами механизма ультразвукового воздействия на различные микроорганизмы, бактерии, вирусы, фаги, основную роль приписывает механическим разрушениям. Грюн и Штельтер [1] озвучивали в различных газах бактериальные клетки в суспензии. Согласно их исследованиям эффект разрушения бактерий не зависел от того, в атмосфере углекислого газа, азота, кислорода или воздуха происходило озвучивание. Это позволило им сделать вывод, что гибель бактерий не связана со специфически химическим действием ультразвука. Другие исследователи — Вельтман и Вебер [4], Кюстер и Тейсман [3], Амбр [8] — также придерживаются мнения, что в ультразвуковом поле происходит преимущественно механическое разрушение бактерий. В недавно появившейся работе Н. П. Фадеевой, Я. И. Раутенштейн, И. Е. Эльпинера [7] сообщается о действии ультразвука на различные актинофаги и бактериофаги. Насыщение озвучиваемой суспензии различными газами не влияло на инактивацию фагов, на основании чего авторы делают вывод о независимости эффекта от химических изменений, вызываемых ультразвуком в водной среде.

В нашей работе изучалось действие ультразвука на дрожжевые клетки в присутствии различных газов. Известно, что уже непродолжительное озвучивание дрожжевой суспензии при наличии растворенного в ней воздуха приводит к инактивации дрожжей. Изучение влияния различных газов, насыщающих озвучиваемую суспензию, безусловно, представляет интерес для исследования механизма ультразвукового действия на дрожжевые клетки. Дрожжи озвучивались в атмосфере углекислого газа, водорода, аргона, кислорода, а также при добавлении к суспензии жидкостей с высоким давлением паров: эфира и ацетона.

Методика

В качестве объекта исследования использовались диплоидные дрожжи *Saccharomyces vini*. Дрожжевая культура выращивалась при 30° С на косом агаризированном сусле крепостью 5 бал. в течение 48 час. В результате такого выращивания получались покоящиеся клетки, равно-

мерные по размерам — $8,5 \pm 0,33 \mu$. Перед опытом культура смывалась и суспензировалась в физиологическом растворе. Полученная суспензия разбавлялась затем до концентрации 300000 кл. в 1 мл. Ориентировочная концентрация суспензии определялась нефелометрически. Приготовленная суспензия выливалась в стерильный опытный сосуд, предназначенный специально для пропускания газа (рис. 1), в нем же производилось озвучивание. Непосредственно перед облучением суспензия насыщалась газом (воздух, Ar, O₂, CO₂, H₂).

В опытах с этиловым эфиром и ацетоном к 10 мл суспензии прибавлялось 0,4 мл эфира или ацетона, после чего она тщательно взбалтывалась и подвергалась озвучиванию.

Источником ультразвуковых колебаний служил пьезокварцевый генератор. Частота применялась 800 кгц, интенсивность — приблизительно 7 вт/см². Опытный сосуд для озвучивания помещался в так называемый ультразвуковой фонтан, возбуждаемый в воде колебаниями пьезокварцевой пластинки. Сосуд с опытной суспензией непрерывно охлаждался с помощью особого проточного устройства, так что температура воды в чашке резонатора не превышала 16°. Экспозиция озвучивания составляла 30 сек., 2 мин. и 10 мин. Облученная суспензия разбавлялась до концентрации 300 кл/мл и высевалась на сусло-агар в чашки Петри. Через 48 час. инкубации при 30° производился подсчет числа макроколоний, видимых невооруженным глазом. Контролем служили пробы, бравшиеся из опытного сосуда до озвучивания. Кроме того, на чашки Петри высевалась суспензия до и после пропускания через нее газов или прибавления жидкостей с высоким давлением пара. По числу колоний, выросших на контрольных и опытных чашках, можно было судить о влиянии на клетки суспензии только пропускания газов или добавления ацетона и эфира без последующего озвучивания. Для исследования форм инактивации дрожжевых клеток при озвучивании в различных газовых атмосферах применялся метод микроколоний, разработанный В. И. Корогодиным [9]. Капля дрожжевой суспензии с концентрацией 300000 кл/мл равномерно размазывалась шпателем по поверхности предметного стекла, покрытого тонким слоем питательного агара. Препараты инкубировались при 30° в течение 24 час., после чего изучались под микроскопом МБИ-6 (увеличение 20×15).

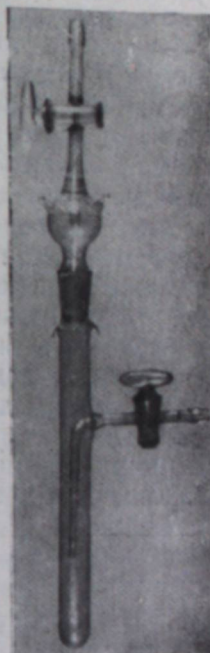


Рис. 1. Сосуд для озвучивания дрожжевой суспензии в различных газовых атмосферах.

Результаты и обсуждения

Озвученные 30 сек. и 2 мин. дрожжевые клетки в суспензии, насыщенной воздухом, при микроскопическом исследовании не обнаруживали разрывов клеточных оболочек, хотя отмечалось значительное уменьшение их объема.

При 10-минутном озвучивании появляются клетки с разрывами оболочек (их число не превышает обычно 10—15%). Внутреннее содержимое многих клеток с неповрежденной оболочкой обнаруживает целый ряд патологических изменений; протоплазма отделяется от внутренних

стенок оболочек клетки и сжимается в комочек; имеются клетки, в которых совсем не просматривается содержимое, хотя заметных разрывов в оболочке не видно.

Озвученные при небольших экспозициях (30 сек., 2 мин.), а также в течение 10 минут дрожжевые клетки при высеве на микроколонию либо образовывали нормальные колонии-диски, либо оказывались неспособными к размножению. При этом инактивация наступала без всякого предварительного почкования, как это наблюдается, например, при облучении клеток дрожжей радиоактивными излучениями [9]. Форма гибели с предшествующим делением не имела места и в случае озвучивания суспензии ультразвуком слабых ($0,5-1,5 \text{ вт/см}^2$) и средних ($1,5-3 \text{ вт/см}^2$) интенсивностей.

В насыщенной воздухом суспензии при 30-секундном озвучивании наблюдалась уже значительная гибель клеток (выживаемость 45%), при 2-минутном выживало около 23% и при 10-минутном — только около 10%.

При озвучивании суспензии, насыщенной различными газами, было обнаружено, что выживаемость клеток в значительной степени зависела от того, в атмосфере какого газа производилось озвучивание. Значительный эффект гибели в присутствии воздуха и кислорода снижался при насыщении суспензии аргоном. Еще более значительно ослаблялся эффект в присутствии водорода и углекислого газа и, наконец, практически не имел места при добавлении к суспензии небольших количеств эфира и ацетона.

Из диаграммы (рис. 2) видно, что при 2-минутном ультразвуковом облучении насыщенной воздухом дрожжевой суспензии количество спо-

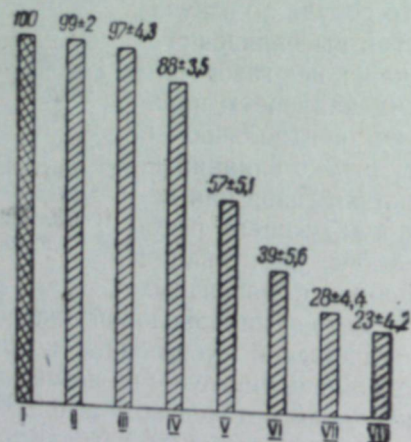
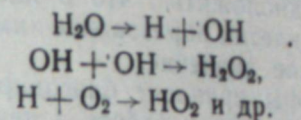


Рис. 2. Средний процент макроколоний, вырастающих на сусло-агаре из озвученной в различных газовых атмосферах суспензии, а также при добавлении эфира и ацетона.

I — контроль, II — эфир, III — углекислый газ, IV — ацетон, V — водород, VI — аргон, VII — кислород, VIII — воздух.

собных к размножению клеток составляло всего около 23%. Насыщение кислородом (рис. 2, VII) практически не изменяло эффекта. В присутствии аргона гибель дрожжевых клеток несколько слабее, чем в воздухе (рис. 2, VI). Однако в атмосфере водорода наблюдается значительное, по сравнению с воздухом, снижение эффекта (рис. 2, V). Это обстоятельство позволяет предполагать наличие химического фактора в действии ультразвука на дрожжевые клетки.

Согласно современным представлениям [10—12] химическое действие ультразвука связано с вторичными эффектами кавитации. При озвучивании в кавитационных полостях возникают электрические заряды, в результате чего молекулы воды подвергаются сильной ионизации. В озвучиваемой водной среде возникают химические продукты, являющиеся сильными окислителями:



Ими и обуславливаются многие химические реакции, вызываемые ультразвуковым полем.

При насыщении озвучиваемой воды инертными газами образование химически активных продуктов также имеет место, хотя и в более слабой степени, из-за отсутствия окисления содержащихся в воде ионов Н освобождающимся под действием кавитации кислородом [10]. Этим, по-видимому, и следует объяснить некоторое снижение степени инактивации дрожжевых клеток, наблюдаемое в случае пропуска через суспензию аргона. Значительное повышение выживаемости клеток в атмосфере водорода может происходить благодаря связыванию им возникающих в озвучиваемой воде окислительных продуктов. Так как в этом случае отсутствует окислительное действие, то наблюдаемая инактивация, по-видимому, происходит в основном за счет кавитационных механических процессов.

Интересный результат дали опыты по озвучиванию дрожжей в атмосфере углекислого газа (рис. 2, III). В этом случае практически не наблюдалось инактивации дрожжей. В кавитационных полостях не возникало электрического разряда и связанной с ним ионизации молекул воды. Не протекают химические реакции в поле ультразвука и при добавлении ацетона и эфира. Как и в случае CO_2 , здесь не возникает электрического разряда. В наших опытах с прибавлением к суспензии небольших количеств ацетона и эфира мы также наблюдали почти полное подавление эффекта гибели. Выживаемость дрожжевых клеток в поле ультразвука как в случае углекислого газа, так и при добавлении ацетона и эфира, объясняется, по-видимому, отсутствием химических процессов, приводящих к образованию окислителей. Наряду с этим заполняющие кавитационные полости CO_2 и пары ацетона и эфира, обладающие большим давлением, препятствуют смыканию кавитационных пустот, что тоже может ослабить поражающее действие ультразвука на дрожжевые клетки.

Следует заметить, что насыщение суспензии газами, а также добавление эфира и ацетона без последующего озвучивания не оказывали значительного влияния за время от насыщения суспензии газами до высева на чашки Петри (около 10 мин.) на выживаемость клеток. В морфологии смерти дрожжей, озвученных как в различных газовых атмосферах, так и при добавлении жидкостей с высоким давлением пара, не было замечено каких-либо различий.

Расхождение наших данных с данными указанных выше авторов, проводивших опыты по озвучиванию бактериальных клеток при насыщении суспензии различными газами [1, 7], объясняется, по-видимому, несколько отличным механизмом действия ультразвука на бактерии и дрожжевые клетки.

Дрожжевая клетка с вполне оформленным ядром и высоко развитым вакуолярным аппаратом по своему строению резко отличается от бактериальной. Более прочная оболочка дрожжей, вероятно, также играет роль в механизме ультразвукового действия.

На основании данного исследования еще трудно сказать, с какими особенностями в морфологии и физиологии клеток связано действие тех или иных факторов ультразвукового поля.

Опыты по озвучиванию дрожжей в присутствии различных газов дают возможность предположить, что в инактивирующем действии ультразвука на данные клетки образование химически активных продуктов имеет немаловажное значение.

В заключение авторы приносят благодарность И. А. Терскову и И. И. Гительзону за внимание к работе и ценные указания.

Институт физики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
28/III 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Grün, J. Stelter, Zur Keimabtötung durch Ultraschall. Funk und Ton, № 6, 333—337 (1954).
2. M. Rouyer, P. Grabar, R. O. Prudhomme, Action des Ultrasons sur les antigenes. Compt. Rend. Congres Intern. de Microbiologie de Copenhague, (1947).
3. E. Küster, H. Theismann, Über den Einfluss von Ultraschall auf Aspergillus niger. Naturwiss. 36, 380 (1949).
4. G. Veltmann, Kh. Woeber, Beitrag zur bakteriziden Wirkung des Ultraschalls. Strahlentherapie, 79, 587 (1949).
5. P. K. Strumpf, D. E. Green, F. W. Smith, Ultrasonic Disintegration as a Method of Extrating Bacterial Enzymes J. Bacteriol., 51, 487 (1946).
6. E. Biancani, H. Biancani, A. Dognon, Action des Ultrasonores sur les cellules isolées en suspension. Compt. Rend., 194, 2168 (1932).
7. Н. П. Фадеева, Я. И. Раутенштейн, И. Е. Эльпинер. О влиянии ультразвука на некоторые актинофаги и бактериофаги. Микробиология, т. 28, вып. 3, 1959.
8. D. Hambré, The Effect of Ultrasonic Waves upon Klebsiella Pneumoniae Soccharomycetes Cerevisal Miyagavanella Felis and Influenca Virus A. J. Bacteriol., 57, 279, (1949).
9. В. И. Корогодин, Формы инаktivации дрожжевых клеток ионизирующей радиацией. Биофизика, т. 3, вып. 2, 1958.
10. P. Grabar, R. O. Prudhomme, The mechanism of certain chemical actions of supersonis waves on substances in aqueous solutions. Compt. Rend., 226, 1821 (1947).
11. R. O. Prudhomme, P. Grabar, De l'action chimiques des ultrasons sur certaines solutions aqueses. J. Chim phys., 46, 149, 323 (1949).
12. И. Е. Эльпинер, М. Ф. Колесникова. О процессах окисления и восстановления йода в поле ультразвуковых волн. ДАН СССР, 75, 837 (1950).

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г. В. Кривошеков

О КАЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЯХ ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ВАКУУМНЫХ ДИФFUЗИОННЫХ НАСОСАХ

Исследованию способов понижения предельного разрежения, достигаемого вакуумными диффузионными насосами, посвящен ряд работ [1, 2, 3], в которых установлено, что предельное разрежение определяется наибольшим парциальным давлением какой-либо группы молекул (для многокомпонентной насосной жидкости) при рабочей температуре, соответствующей постоянному числу фракций смеси. Такое условие ограничивает выбор насосной жидкости и вызывает необходимость введения низкотемпературных «ловушек» для конденсации групп молекул с большой теплотой адсорбции. В настоящей работе проводится качественное сравнение видов насосной жидкости для получения плотного молекулярного потока в высоковакуумном зазоре диффузионного насоса. Схематичное устройство диффузионного зазора вакуумного насоса приведено на рисунке, где av — кольцевой диффузионный зазор n_A, n_B — объемная концентрация молекул, $a' a'$ — нижняя граница потока молекул.

Элементарный газокинетический анализ показывает, что предельное давление в вакуум-проводе определяется проницаемостью зазора для молекул n_B потока

$$\Gamma = n_B v_A = -D_{BA} \frac{dn_B}{dx} + K, \quad (1)$$

где v_B — средняя скорость (без учета влияния коллимированного потока в области), D_{BA} — коэффициент диффузии молекул n_B в n_A и K — так называемая обратная проводимость зазора для молекулярного режима течения газа. Для дальнейшего анализа перепишем (1) в следующем виде:

$$n_B v_B \approx -D_{BA} \frac{dn_B}{dx} + f(x) + f(v) \quad (2)$$

здесь $f(x)$ — член, учитывающий влияние степени коллимированности потока (вид «опушки» [1]) на взаимное проникновение молекул n_B в n_A , $f(v)$ определяет роль взаимных и парных соударений молекул n_A и n_B в потоке на проницаемость.

Точный расчет $f(x)$ и $f(v)$ практически невозможен, и эти величины определяются только опытным путем.

Из (2) следует:

$$n_B(x_0) \approx \frac{f(x) + f(v)}{v_B} + \left\{ n_B(0) - \frac{f(x) + f(v)}{v_B} \right\} \left(1 - \frac{v_B x_0}{D_{BA}} \right).$$

При увеличении $f(x)$ возможно появление отраженного потока молекул n в области I. Выбирая условия конденсации, можно изменить вид соударения молекул паровой струи со стенками диффузионного сопла и насоса.

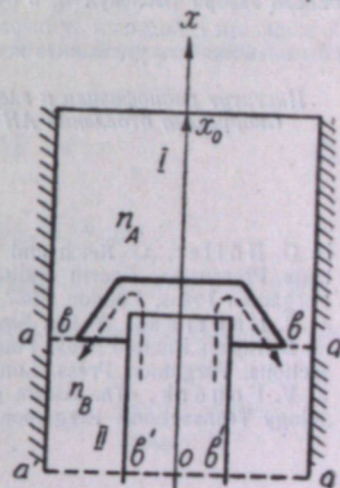


Рис.

В используемых многокомпонентных насосных жидкостях (типа органиополисилоксанов) среднее значение теплоты адсорбции для молекул потока высокотемпературной фракции достигает 20 к. кал/моль [2] и для обычных интервалов температур водяного охлаждения стенок насоса трудно получить малое $f(\alpha)$. Только тщательный подбор профиля высоковакуумного сопла насоса дает возможность уменьшить проникновение молекул n_B в область 1.

Применение однокомпонентных насосных жидкостей с высокой температурой конденсации дало бы возможность уменьшить долю «отраженных» молекул n_B от сопла и стенок насоса. Предельное разрежение зависит также и от $f(\nu)$, причем увеличение числа столкновений ν приводит к уменьшению $f(\nu)$. В паровой «опушке» высоковакуумного сопла скорость молекул $v_B \gg v_A$ и для этого случая

$$v \approx 2 \sqrt{2\pi} n_B n_A^{\text{II}} \left(\frac{d_A + d_B}{2} \right) \sqrt{\frac{m_A + m_B}{m_A \cdot m_B} \cdot kT_B},$$

где n_A^{II} — объемная плотность молекул n_A в области II, d, m диаметр и масса молекул, k — постоянная Больцмана и T_B — температура паровой струи. Максимальная рабочая температура применяемых насосных жидкостей не более 400°C и дальнейшее ее повышение приводит к термическому разложению и появлению в паровой струе групп молекул с большой теплотой адсорбции.

Из сопоставления условий влияния $f(\alpha)$ и $f(\nu)$ на обратную проницаемость диффузионного зазора (молекул n_B в область 1), следует, что использование однокомпонентной жидкости с большим температурным интервалом существования жидкой фазы дало бы возможность уменьшить величину предельного разрежения.

Институт радиофизики и электроники
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
12/VII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. H. G. Nöller, G. Reich and W. Bächler, «Oil Diffusion Pumps for Very Low Ultimate Pressures». Fourth National Symposium on Vacuum Technology Transactions. Pergamon Press, London, 1957.
2. A. R. Huntress, A. Lee Smith, B. D. Power and N. T. M. Dennis, «A New Silicone Diffusion Pump Fluid». Fourth National Symposium on Vacuum Technology Transactions. Pergamon Press, London, 1957.
3. V. V. Fondrk, «The Steam jet Ejector: A Versatile Pump for High Vacuum Technology Transactions. Pergamon Press, London, 1957.

И. А. КУНИН, В. Ф. ХОН

К ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИБРАТОРА С ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЖИДКОЙ СРЕДОЙ

В работе [1] решена задача о генерировании планетарным вибратором звуковых волн в неограниченной жидкой среде. Взаимодействие вибратора с ограниченной жидкой средой было рассмотрено в работе [2]. В настоящей статье получены выражения для мощности вибратора, работающего в ограниченной жидкой среде с объемным поглощением энергии колебаний.

1. Исходная схема та же, что и в работе [2]. Вибратор с наружным радиусом R находится в центре цилиндрической ванны радиуса R_0 , заполненной вязкой сжимаемой жидкостью. Корпус вибратора совершает круговые колебания с частотой ω в плоскости, перпендикулярной оси ванны. Предполагаются выполненными условия:

$$a_0 \ll R, \quad a_0 \omega \ll c_0, \quad \nu \ll R^2 \omega \quad (1.1)$$

Здесь c_0 — скорость звука в жидкости, ν — кинематическая вязкость, a_0 — амплитуда колебаний корпуса вибратора.

Для того, чтобы учесть объемное поглощение энергии колебаний жидкости, мы введем в рассмотрение комплексную скорость звука.

$$c = \frac{c_0}{1 + i\varepsilon}, \quad (1.2)$$

где ε — параметр, определяющий интенсивность затухания звуковых волн в жидкости. Учет затухания в форме (1.2) справедлив в предположении $\varepsilon \ll 1$, что мы и будем считать в дальнейшем выполненным.

Мы будем также считать заданными условия отражения на стенках ванны, характеризующиеся коэффициентом отражения.

$$V = \exp[-2(\beta + i\psi)], \quad \beta > 0, \quad -\frac{\pi}{2} < \psi < \frac{\pi}{2}. \quad (1.3)$$

2. Ранее в [1, 2] было показано, что при условиях (1.1) задача о взаимодействии вибратора с жидкой средой сводится в конечном счете к нахождению потенциала скорости. Последний в условиях данной схемы определяется волновым уравнением

$$\nabla^2 \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0, \quad (2.1)$$

при граничных условиях (с точностью до членов порядка a_0/R)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = a_0 \omega \exp[i(\Theta - \omega t)], \quad \text{при } r = R, \quad (2.2)$$

$$\varphi_2 = V \varphi_1, \quad \text{при } r = R_0.$$

Здесь r, Θ — цилиндрические координаты, φ_1 и φ_2 — соответственно падающая и отраженная волны.

Искомый потенциал можно представить в виде

$$\varphi = R f(kr) a_0 \omega \exp[i(\Theta - \omega t)] \quad \left(k = \frac{\omega}{c}\right), \quad (2.3)$$

где

$$f = \frac{H_1^{(2)}(\kappa R_0) H_1^{(1)}(kr) + V H_1^{(1)}(\kappa R_0) H_1^{(2)}(kr)}{H_1^{(2)}(\kappa R_0) [k R H_0^{(1)}(kR) - H_1^{(1)}(kR)] + V H_1^{(1)}(\kappa R_0) [k R H_0^{(2)}(kR) - H_1^{(2)}(kR)]}$$

Разлагая в ряд по малому параметру ε , получим для f при $r = R$ следующее выражение:

$$f = \frac{q_{11}}{x q_{01} - q_{11}} + i\varepsilon \left[1 - (1 - x^2) \frac{q_{11}^2}{(x q_{01} - q_{11})^2} - x y \frac{q_{00} q_{11} - q_{10} q_{01}}{(x q_{01} - q_{11})^2} \right].$$

Здесь

$$q_{mn} = H_m^{(1)}(x) H_n^{(2)}(y) + V H_m^{(2)}(x) H_n^{(1)}(y), \\ x = k_0 R, \quad y = k_0 R_0, \quad k_0 = \frac{\omega}{c_0}.$$

В дальнейшем удобно воспользоваться представлением функций Бесселя через фазу и амплитуду

$$I_m(z) \pm i N_m(z) = \mp i C_m(z) \exp[\pm i \delta_m(z)]$$

(таблицы для C_m, δ_m и их производных даны в [3]). Обозначив

$$\xi = \delta_1(y) - \delta_1(x), \quad \eta = \delta_1(y) - \delta_1(x), \quad \xi' = \delta_1'(y) - \delta_1'(x), \\ \nu = \beta + i(\psi - \xi), \quad \mu = \beta + i(\psi - \eta).$$

$$G(z) = \frac{C_1(z)}{2z C_1'(z)},$$

перепишем выражение для f в виде

$$f = -2G(x) \frac{\text{ch } \nu}{\text{ch } \mu} + i \varepsilon \left[1 - 4(1-x^2)G^2(x) \frac{\text{ch}^2 \nu}{\text{ch}^2 \mu} - \frac{G(x)}{G(y)} \frac{\sin(\eta - \xi) \sin(\eta - \xi')}{\text{ch}^2 \mu} \right].$$

Получаем в явном виде выражения для вещественной и мнимой частей f при $r = R$:

$$A = \text{Re} f = A_0 + \varepsilon [2(1-x^2) A_0 B_0 + A_1],$$

$$B = \text{Im} f = B_0 + \varepsilon [1 - (1-x^2)(A_0^2 - B_0^2) - B_1]. \quad (2.4)$$

Здесь

$$A_0 = -G(x) \frac{\text{ch } 2\beta \cos(\eta - \xi) + \cos(2\psi - \eta - \xi)}{\text{sh}^2 \beta + \cos^2(\psi - \eta)},$$

$$B_0 = -G(x) \frac{\text{sh } 2\beta \sin(\eta - \xi)}{\text{sh}^2 \beta + \cos^2(\psi - \eta)},$$

$$A_1 = -\frac{G(x)}{2G(y)} \frac{\text{sh } 2\beta \sin 2(\psi - \eta)}{[\text{sh}^2 \beta + \cos^2(\psi - \eta)]^2} \sin(\eta - \xi) \sin(\eta - \xi'), \quad (2.5)$$

$$B_1 = \frac{G(x)}{2G(y)} \frac{1 + \text{ch } 2\beta \cos 2(\psi - \eta)}{[\text{sh}^2 \beta + \cos^2(\psi - \eta)]^2} \sin(\eta - \xi) \sin(\eta - \xi').$$

В предельном случае $\varepsilon \rightarrow 0$ выражения для A и B совпадают с соответствующими выражениями в [2], полученными без учета объемного поглощения звуковых волн в жидкости. Нетрудно показать, что в другом предельном случае $\beta \rightarrow \infty$, т. е. при полностью поглощающих стенках ванны, выражения для A и B принимают вид:

$$A = A_{01} + 2\varepsilon(1-x^2) A_{01} B_{01},$$

$$B = B_{01} + \varepsilon [1 - (1-x^2)(A_{01}^2 - B_{01}^2)], \quad (2.6)$$

где A_{01} и B_{01} совпадают с соответствующими выражениями в [1]. Выражения (2.5) упрощаются в практически важном предельном случае $x \ll 1$. При этом имеем:

$$A_0 = -1 + \frac{\pi}{2} x^2 \frac{\sin 2\zeta}{\text{ch } 2\beta + \cos 2\zeta},$$

$$B_0 = -\frac{\pi}{2} x^2 \frac{\text{sh } 2\beta}{\text{ch } 2\beta + \cos 2\zeta}, \quad (2.7)$$

$$A_1 = \frac{\pi x^2}{4G(y)} \frac{\text{sh } 2\beta \sin 2\zeta}{(\text{ch } 2\beta + \cos 2\zeta)^2} \sin[\delta_1(y) - \delta_1'(y)],$$

$$B_1 = \frac{\pi x^2}{4G(y)} \frac{1 + \text{ch } 2\beta \cos 2\zeta}{(\text{ch } 2\beta + \cos 2\zeta)^2} \sin[\delta_1(y) - \delta_1'(y)].$$

В другом предельном случае $x \gg 1$,

$$A_0 = -\frac{1}{2x^2} \frac{\text{ch } 2\beta - x \sin 2\zeta}{\text{sh}^2 \beta + \cos^2 \zeta},$$

$$B_0 = -\frac{1}{2x} \frac{\text{sh } 2\beta}{\text{sh}^2 \beta + \cos^2 \zeta}, \quad (2.8)$$

$$A_1 = \frac{y}{2x} \frac{\text{sh } 2\beta \sin 2\zeta}{(\text{sh}^2 \beta + \cos^2 \zeta)^2},$$

$$B_1 = \frac{y}{2x} \frac{1 + \text{ch } 2\beta \cos 2\zeta}{(\text{sh}^2 \beta + \cos^2 \zeta)^2}.$$

Здесь $\zeta = \delta_1(y) - \psi$ при $x \ll 1$ и $\zeta = y - x - \psi$ при $x \gg 1$.

3. В обозначениях, принятых в [1, 2], активная мощность N на единицу высоты вибратора определяется выражением

$$N = \frac{\pi \rho c_0^3 x^2 R}{z^2} \frac{x(\Pi_u + \gamma \Phi_u)}{M_u^2 + (1 + M_c)^2}. \quad (3.1)$$

Там же дана зависимость характеристических функций Π_u , Φ_u , M_u и M_c от A и B . Если воспользоваться выражениями (2.4) для A и B и пренебречь потерями в пограничном слое, т. е. положить $\gamma = 0$, то мощность вибратора N можно представить в виде

$$N = N_\beta + N_\varepsilon. \quad (3.2)$$

Здесь первое слагаемое N_β соответствует мощности, поглощаемой стенками ванны, причем $N_\beta \rightarrow 0$ при $\beta \rightarrow 0$. Второе слагаемое N_ε — мощность, расходуемая на объемное поглощение в среде. При $\varepsilon \rightarrow 0$ $N_\varepsilon \rightarrow 0$. Выражение для N_β было получено в [2], поэтому мы приведем выражение только для N_ε , причем для простоты ограничимся наиболее интересным для приложения случаем $x \ll 1$.

$$N_\varepsilon = \varepsilon \frac{\pi \rho c_0^3 x^2 R \delta_0^2}{z^2} x^3 [B_1 - 2(A_0 + 1)]. \quad (3.3)$$

В этой формуле B_1 и A_0 определяются (2.7), а δ_0 — относительная амплитуда колебаний вибратора, выражение для которой приведено в [1].

Институт горного дела
Сибирского отделения АН СССР
Новосибирский электротехнический институт

Поступила в редакцию
7/VII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. И. А. Куниин, К теории планетарного вибратора в неограниченной жидкой среде. Изв. АН СССР, ОТН, сер. Механика, № 5, 1959.
2. И. А. Куниин, В. Ф. Хон, О взаимодействии вибратора с ограниченной жидкой средой. Прикладная механика и техническая физика, № 2, 1960.
3. Ф. М. Морс, Г. Фешбах, Методы теоретической физики, т. II, ИЛ, 1960.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Широкие перспективы развития Восточной Сибири должны, по нашему мнению, привлечь внимание географов, экономистов и инженеров-проектировщиков к выпущенному в 1960 г. Восточно-Сибирским филиалом Сибирского отделения АН СССР сборнику статей по экономической географии Восточной Сибири*.

Сборник интересен прежде всего содержащимся в нем фактическим экономико-географическим материалом. Вместе с тем, известное методическое значение может иметь накопленный иркутскими экономгеографами опыт картографического изображения экономических явлений, который обобщается в ряде статей сборника.

Всего в сборнике 14 статей. Открывается он работой В. А. Кротова «Развитие и размещение народного хозяйства Восточной Сибири в 1959—1965 гг.», в которой рассматриваются важнейшие проблемы комплексного развития и размещения производительных сил Восточной Сибири в текущей семилетке. Автор известен как один из ведущих исследователей экономико-географических проблем Восточной Сибири и как один из организаторов этих исследований. Отличительная черта его работ — сочетание широкого народнохозяйственного подхода, исходящего из общесоюзных задач, с хорошим знанием местных проблем. Эта же особенность характеризует и рецензируемую статью.

В. А. Кротов справедливо указывает на большие недостатки господствовавшего в прошлые годы отраслевого метода планирования народного хозяйства Восточной Сибири, затруднявшего развитие на ее территории производственно-территориального комплекса общесоюзного масштаба. Он пишет, что «отдельные отрасли промышленности развивались здесь независимо друг от друга, так как большая часть промышленных предприятий Восточной Сибири была ориентирована на вывоз сырья в другие экономические районы страны... Отрасли обрабатывающей промышленности, особенно такие, которые бы давали возможность соединить воедино различные «сырьевые» отрасли и создать единый народнохозяйственный комплекс, были развиты недостаточно. Возникающие теперь новые отрасли (химия, металлургия, деревообрабатывающая промышленность и пр.) позволяют создавать в Восточной Сибири наиболее выгодный комплекс производств, при котором сырьевые и энергетические ресурсы будут использованы с наибольшим народнохозяйственным эффектом» (стр. 8).

К сожалению, в заключительной части статьи, где автор кратко перечисляет стоящие перед учеными задачи по экономико-географическому изучению Восточной Сибири, мысль о необходимости изучения производительных сил района как составных частей восточно-сибирского производственно-территориального комплекса сформулирована недостаточно четко.

Отметим и другие частные недостатки интересной в целом статьи В. А. Кротова. На стр. 17 автор неправильно сводит проблему дорожного строительства в Восточной Сибири только к сооружению «северных автодорог». Между тем известно, что в южных частях района в период семилетки также предполагается автодорожное строительство. Достаточно указать, в частности, на предстоящую реконструкцию Московского тракта, проходящего через наиболее густо заселенные местности юга Восточной Сибири. Ошибочно также представление, что в Восточной Сибири будет развиваться «главным образом тяжелая авиация» (стр. 17). Семилетним планом предусматривается широкое развитие перевозок пассажиров на местных линиях, которые будут обслуживаться легкими самолетами и вертолетами. Уже в 1959 г. — первом году семилетки — объем перевозок пассажиров в Восточной Сибири на легких самолетах вырос на 30%, мало уступая по темпам роста перевозкам пассажиров на тяжелых самолетах (42,9%).

* Вопросы экономической географии Восточной Сибири. Тр. Вост.-Сиб. фил. Сиб.-Иркутск. 1960, 144 стр. Цена 5 р. 75 к. Тираж 1000 экз.

Статьи В. А. Кротова и А. А. Григорьевой «Иркутский экономический административный район», А. А. Недешева «Основные проблемы Читинского экономического административного района» и К. П. Космачева «Якутский экономический административный район (отраслевая структура и перспективы развития)» являются «районными» дополнениями вводной статьи В. А. Кротова и удачно сочетаются с ней, придавая основной части сборника известную стройность и законченность. Для полноты картины следовало бы, по нашему мнению, поместить в сборнике также статью об экономико-географических проблемах Бурятской АССР, являющейся важным производственно-территориальным звеном Восточно-Сибирского экономического района.

Две последние статьи — А. А. Недешева и К. П. Космачева — носят проблемный характер. В целом необходимо отметить, что обоими авторами весьма удачно схвачено существо основных проблем дальнейшего развития народного хозяйства Читинской области и Якутской АССР.

К числу важнейших задач перспективного развития производительных сил Читинской области А. А. Недешев относит энергетическое строительство (Читинская и Харанорская ГРЭС, Амазарская ГЭС и др.), сооружение Шерловогорского горнометаллургического комбината и других предприятий цветной металлургии, разработку железных руд Березовского месторождения, создание в районе г. Нерчинска металлургического комбината с полным циклом производства, развитие химической промышленности и машиностроения. Специализацию последнего намечает автор, исходя в основном из перспектив получения в области собственного черного металла. Между тем важным направлением в развитии металлопромышленности Восточного Забайкалья должно быть также создание круга отраслей, связанных с обработкой цветных металлов, получением их сплавов и развитием на этой базе кабельного производства, электропромышленности и пр. Укажем также, что из поля зрения А. А. Недешева выпали проблемы развития сельского хозяйства Читинской области. Пути дальнейшего развития земледелия и животноводства в Восточном Забайкалье в настоящее время во многом неясны, поэтому формулировка задач научного изучения проблем рационального размещения и специализации сельского хозяйства области была бы крайне важна.

Сравнительно полно освещает перспективы развития отраслей народного хозяйства Якутской АССР К. П. Космачев. Республика в ближайшие годы будет развиваться как район с ведущим значением горнодобывающей промышленности. Здесь расширится добыча золота, алмазов, слюды, олова, возникнут новые отрасли промышленности — добыча соли и природного газа, производство жидкого горючего и строительных материалов. Изменится специализация земледелия и животноводства (рост производства овощей, картофеля, молока, конского мяса, развитие звероводства), предполагается развернуть автодорожное строительство. К сожалению, в статье почти не затронуты вопросы, связанные с перспективами использования богатейших запасов железной руды и каменного угля Южной Якутии.

По сравнению с Читинской областью и Якутской АССР Иркутская область характеризуется более высокой степенью изученности перспективных проблем размещения отраслей народного хозяйства области. Однако В. А. Кротов и А. А. Григорьева, довольно полно осветившие современную географию хозяйства Прибайкалья, сравнительно мало места отвели в своей статье проблемам перспективного размещения производительных сил Иркутской области.

В региональной части статьи В. А. Кротов и А. А. Григорьева приводят интересные материалы о формировании на территории Прибайкалья ряда промышленных комплексов — внутриобластных экономических подрайонов I и II порядков. Но авторы крайне осторожно касаются вопросов производственно-экономических связей комплексов, а между тем предложения об упорядочении и рационализации связей промышленных комплексов разного масштаба являются обычно одним из важных результатов экономико-географического исследования. На наш взгляд, вряд ли целесообразны с народнохозяйственной точки зрения упоминаемые В. А. Кротовым и А. А. Григорьевой перевозки продукции машиностроительных предприятий Иркутска (доменное оборудование, металлообрабатывающие станки и др.) в западные районы страны (стр. 30). И совсем непонятно, чем гордятся авторы, когда пишут о широких межобластных связях по сбыту готовой продукции таких предприятий внутриобластного значения, как мясокомбинат, комбикормовый завод, швейная и трикотажная фабрики (стр. 30—31).

Вызывает возражения также нечеткая терминология при обозначении понятий внутриобластного экономического районирования. Один и тот же термин «узел» В. А. Кротов и А. А. Григорьева употребляют для обозначения таких разных по масштабу географических группировок производительных сил, как Братско-Тайшетская группа промышленных комплексов, Иркутско-Черемховский промышленный комплекс и Железногорский горнопромышленный узел (стр. 29—33). Представляется, что в таксономической системе внутриобластного экономического районирования термин «узел» должен обозначать не самую высшую ступень этой системы, а промежуточную или даже низшую, во всяком случае территориально более ограниченную группировку производительных сил, чем Братско-Тайшетская группа промышленных комплексов.

Три статьи сборника (В. В. Воробьев «Некоторые вопросы экономико-географиче-

ского положения города Иркутска», В. В. Воробьев, А. А. Недешев «Влияние особенностей развития Читы на современное положение и функции города», А. А. Григорьева «Особенности формирования Тайшетского промышленного центра») посвящены географии отдельных городов Восточной Сибири. В особый раздел сборника эти три статьи объединяет то, что их авторы на примере разных по своему значению городов (Иркутск, Чита, Тайшет) пытаются проследить влияние изменений экономико-географического положения на различные стороны жизни города.

В. В. Воробьев весьма успешно пользуется уже однажды им примененным для анализа особенностей формирования сети городских поселений юга Восточной Сибири в зависимости от изменения экономико-географического положения и направления связей * историко-географическим методом исследования, суть которого заключается в изучении/развития городов, каждого в своем именно месте, как звеньев общественно-географического разделения труда и в зависимости от исторически сменяющихся способов производства**

Ряд практически важных для планирования сельскохозяйственного производства вопросов поднимается в статье В. П. Шоцкого «Географические и экономические условия освоения новых сельскохозяйственных земель в Иркутской области». Сделанный автором анализ изменений в составе сельскохозяйственных угодий области за 1953—1958 гг. показал, что в Прибайкалье, в отличие от Западной Сибири и Казахстана, рост посевных площадей в прошлые годы шел в основном за счет распахки естественных кормовых угодий. Однако переход на полевое кормодобывание не во всех районах области оказался экономически оправданным. Предлагая дифференцировать мероприятия по освоению новых земель (за семилетку в Иркутской области предполагается освоить около 400 тыс. га неиспользованных земель), автор выделяет на территории области три типа районов, различающихся направлением и приемами работ по вовлечению неиспользуемых земель в сельскохозяйственное производство (при этом речь идет не только о создании новых пашен, но и о расширении площади сенокосов и пастбищ). Всяческой поддержки заслуживает призыв В. П. Шоцкого к экономистам сельского хозяйства и экономгеографам найти для основных географических типов сельского хозяйства области оптимальные соотношения между пашней и естественными кормовыми угодьями. Эта задача представляется чрезвычайно актуальной и для других областей, краев и республик Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Статья Ф. В. Дьяконова «Проблемы географии магистрального транспорта Северо-Востока СССР», рассматривающая территорию***, несколько выходящую за границы характеризуемого в сборнике основного экономического района, но в процессе исторического развития тесно с ним связанную, интересна прежде всего как попытка комплексного рассмотрения транспортно-географических вопросов. Дело в том, что преобладающая часть ведущихся различными проектными и научно-исследовательскими учреждениями и организациями работ имеет узко отраслевую направленность и охватывает, как правило, проблемы развития какого-нибудь одного вида транспорта. Ф. В. Дьяконов убедительно показывает, что подойти к правильному решению проблемы транспортного освоения Северо-Востока СССР можно только при комплексном рассмотрении вопроса, т. е. путем сравнительного анализа технико-экономических преимуществ каждого вида транспорта в конкретных географических условиях работы и с учетом выполняемых (или планируемых к выполнению) районов задач в общесоюзном территориальном разделении труда.

Следует подчеркнуть, что использованный Ф. В. Дьяконовым метод географического сравнения вариантов в прошлом широко применялся акад. И. Г. Александровым, проф. Н. Н. Колосовским и др. при решении регионально-транспортных проблем, но в период господства «ведомственности» и отраслевых транспортных исследований он был фактически забыт. Весьма отраднo, что экономгеографы вновь стали обращаться к этому весьма эффективному методу решения транспортно-географических проблем.

В качестве частного недостатка статьи необходимо указать на недооценку ее автором влияния на формирование сети транспортных путей Северо-Востока СССР такого важного фактора ее развития, как пассажирские перевозки.

Заключительный раздел сборника посвящен различным вопросам картографического изображения экономических явлений****. Открывается этот раздел статьей

* В. В. Воробьев. Города южной части Восточной Сибири (историко-географические очерки). Иркутск, 1959.

** Р. М. Кабо, Города Западной Сибири. М., 1949, стр. 5.

*** В состав Северо-Востока СССР Ф. В. Дьяконов вслед за С. В. Славным включает территорию Якутской АССР и Магаданской области.

**** В настоящей рецензии нами не рассматривается интересная сама по себе статья В. В. Покшишевского «О географических типах хозяйственного освоения (из опыта социалистического строительства промышленности в новых районах СССР)» как относящаяся к территории ряда экономических районов страны (Восточная Сибирь в статье — один из примеров) и поэтому выпадающая из общего плана сборника.

В. П. Шоцкого «Опыт составления комплексных специальных атласов экономических административных районов Восточной Сибири». В итоге анализа прошлых опытов составления атласов областей и автономных республик Восточной Сибири автор пришел к выводу, что работы по созданию региональных атласов следует проводить независимо от степени изученности территории. Он справедливо считает, что само составление комплексных атласов является важнейшим фактом мобилизации географических материалов и стимулирует ускорение географических исследований.

Кроме статьи В. П. Шоцкого, в сборнике помещены статьи В. В. Воробьева и Л. Ю. Кручинной «К вопросу о методике составления карты размещения населения Иркутской области», А. А. Федоровой «Опыт составления карты специализации сельского хозяйства Иркутской, Читинской областей и Бурятской АССР» и К. П. Космачева «О способах картографирования оленеводства». Отличительная особенность всех этих статей — стремление их авторов уйти от статистических методов картографирования (картограмма и др.) и найти такие приемы картографического изображения явлений, которые могли бы дать точную географическую локализацию изображаемых на карте объектов (население, районы сельскохозяйственной специализации, отрасль животноводства).

В заключение необходимо подчеркнуть, что новый сборник статей восточносibirских экономгеографов — значительный вклад в сравнительно немногочисленную литературу о географии хозяйства Восточной Сибири.

О. А. Кибальчич

ХРОНИКА

СИМПОЗИУМ ПО ТОНКИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ПЛЕНКАМ

В соответствии с решением Научного Совета Отделения физико-математических наук АН СССР по проблеме «Физика магнитных явлений» в Красноярске с 4 по 9 июля 1960 г. проходил симпозиум по тонким ферромагнитным пленкам, организованный Институтом физики Сибирского отделения АН СССР.

В симпозиуме приняли участие ученые и инженеры Москвы, Свердловска, Киева, Красноярска, Харькова, Новосибирска, Еревана, Перми, Пензы, Махач-Калы и других городов, всего 75 человек, представлявших 28 исследовательских и учебных учреждений и предприятий страны.

На симпозиуме обсуждено 30 докладов, в которых были освещены методы получения и исследования тонких ферромагнитных пленок, их кристаллическая и магнитная структура, процессы перемангничивания и магнитные свойства.

Оригинальным сообщениям предшествовали 2 обзорных доклада. Первый доклад, прочитанный проф. Р. В. Телесниным (Московский государственный университет), содержал данные об электрических, магнитных и оптических свойствах магнитных пленок, методах их получения и исследования. В докладе указывалось на трудности измерения толщин пленок, на физические процессы, происходящие в пленке при ее напылении, на особенности изменения электросопротивления пленок в зависимости от температуры подложки, скорости напыления, последующего отжига пленки и т. д.

Второй обзорный доклад, сделанный проф. К. М. Поливановым (Московский энергетический институт), был посвящен особенностям применения тонких пленок в математических машинах и быстродействующей автоматике. В докладе сообщалось, что время перемангничивания пленок на 2 порядка меньше, чем у ферритовых колец, употребляемых в современных информационно-логических машинах. По литературным данным перемангничивание дисков диаметром 2,5 мм происходит за 20 наносекунд. Подчеркнуты преимущества применения ферромагнитных пленок в счетно-решающих устройствах (малые размеры, большие скорости перемангничивания, стабильность) и параметрических системах при высоких частотах.

В теоретическом докладе А. М. Родичева (Институт физики СО АН СССР, Красноярск) рассмотрено перемангничивание путем однородного вращения тонких магнитных слоев, обладающих одноосной анизотропией в плоскости пленки. Получена зависимость времени перемангничивания пленки от величины внешнего поля, поля анизотропии и исходного состояния пленки (угла между начальным направлением магнитного момента и направлением перемангничивающего поля). Результаты сравниваются с имеющимися в литературе экспериментальными данными.

Большой интерес вызвали результаты исследования петель гистерезиса пермаллоидных пленок, доложенные В. В. Кобелевым (Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР, Москва). Установлено, что форма петли гистерезиса пленки зависит от метода подачи перемангничивающего поля и расположения считывающей обмотки. Снимая петли гистерезиса пленки, при вращении ее вместе с обмоткой относительно направления действия магнитного поля, можно судить о том, насколько выражена анизотропия образца (пленки). Наложение на образец двух перпендикулярных катушек дает возможность, кроме обычных петель гистерезиса, наблюдать на экране осциллографа годограф магнитного момента пленки. При действии поля под углом к оси легкого намагничивания наблюдаются сначала чистые вращающиеся намагниченности, а после поворота намагниченности до некоторого критического угла начинаются процессы интенсивного доменобразования.

В докладе А. С. Мильнера и Л. И. Татариневой (Харьковский государственный университет) были сообщены результаты исследований влияния зернистости тонких пленок на точку Кюри. Авторы объясняют наличие второй низкотемпературной точки Кюри и аномальный ход омического сопротивления в зависимости от температуры (на никелевых образцах) тем, что пленка состоит из очень мелких зерен. Температура Кюри зависит не только от толщины пленок, но и от размеров ее зерен.

Большой интерес вызвали сообщения об исследованиях доменной структуры тонких ферромагнитных слоев.

Л. В. Киренский (Институт физики СО АН СССР), И. Ф. Дегтярев и С. В. Кая (Красноярский педагогический институт) провели изучение динамики магнитной

структуры пленок с помощью магнитооптического эффекта Керра и показали изменение структуры пермаллоидно-молибденовых пленок в зависимости от температуры и внешнего магнитного поля.

А. А. Корсунский и В. В. Кобелев (Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР, Москва) сообщили данные о доменной структуре анизотропных пермаллоидных пленок. В однородном магнитном поле, направленном под углом к оси легкого намагничивания, пленки перемангничиваются путем смещения границ. При приложении поля в направлении, близком к тяжелой оси, наблюдаются чистые вращения вектора намагниченности. После снятия приложенного поля у одних образцов намагниченность продолжает оставаться направленной вдоль тяжелой оси, у других — возвращается к легкой оси с образованием мелких доменов.

Оригинальные результаты исследования динамики магнитной структуры тонких пленок содержались в кинофильме и докладах Л. В. Киренского, В. А. Буравихина и М. К. Савченко (Институт физики СО АН СССР). Наглядно показано изменение доменной структуры с ростом толщин пленки до размеров обычных массивных образцов. Выяснена зависимость магнитной структуры от величины и направления магнитного поля.

В работе М. К. Савченко и В. И. Синегубова (Институт физики СО АН СССР) впервые проведено на пленках из пермаллоя непосредственное экспериментальное измерение граничного слоя между доменами. Ширина границы при этом оказалась равной 0,7 м. Дальнейшее развитие этих исследований может дать ценные сведения, связанные с намагничиванием материалов, их коэрцитивной силой и другими магнитными характеристиками.

О получении монокристаллических полупроводниковых пленок рассказал Н. Г. Нифонтов (Дагестанский государственный университет). Он осветил методы изготовления пленок, привел пример нанесения на подложку из каменной соли последовательно ориентированных пленок серебра и меди и дал способ получения монокристаллических пленок германия на флюорите.

Метод получения ферромагнитных пленок катодным распылением был описан в докладе Г. В. Спивака, И. Г. Сиротенко и Р. Д. Иванова (Московский государственный университет). По сравнению с другими, он обладает рядом преимуществ: обеспечивает распыление материалов с любой температурой плавления, контролирует толщину пленки, равномерность напыления, большую чистоту пленок.

Н. В. Котельниковым и В. И. Гачеговым (Пермский государственный университет) были доложены результаты исследований магнитных свойств осадков никеля, полученных методом химического никелирования. Ферромагнитные свойства осажденного никеля резко отличаются от свойств чистого никеля. Увеличение гипофосфита в ванне ведет к ослаблению магнитных свойств осадков. Обнаружено линейное уменьшение намагниченности насыщения, остаточной намагниченности и коэрцитивной силы с ростом температуры.

Применению тонких пленок для измерения магнитоотрицательных и других деформаций был посвящен доклад В. А. Югова и Г. П. Дьякова (Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Московский государственный университет). Предложен новый тип тензометра (пленочный), с применением которого измерена магнитоотрицательная магнитоотрицательная ферритов.

В сообщении Т. Н. Никитиной и Р. В. Телеснина (Московский государственный университет) была описана установка, созданная ими для изучения импульсного перемангничивания тонких ферромагнитных пленок.

Ряд докладов был посвящен изучению эффекта Баркгаузена в тонких магнитных слоях.

Г. М. Родичев, П. Д. Ким и В. С. Прокопенко (Красноярск) попытались определить длительность скачка Баркгаузена в пленках и обнаружили, что она менее двух микросекунд.

А. М. Родичев, М. К. Савченко и Н. М. Салацкий (Институт физики СО АН СССР) исследовали эффект Баркгаузена на пермаллоидных пленках в зависимости от их толщины и от условий получения анизотропии в пленках.

В. Ф. Ивлев и В. С. Прокопенко (Красноярский педагогический институт) высказали предположение, что эффект Баркгаузена в пленках определяется возникновением и дальнейшим ростом зародышей перемангничивания. Данные эксперимента сопоставлены с моделью Ферда и Пага.

Часть докладов содержала исследования ферромагнитного резонанса в ферромагнитных пленках, импульсного перемангничивания, анизотропии, вращательного гистерезиса и т. п.

Симпозиум принял решение, в котором отмечена своевременность его созыва, необходимость публикации трудов и целесообразность проведения совещания по тонким ферромагнитным пленкам в 1961 году.

В. Е. Кузнецов

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

В. К. Щербаков. Промежуточный отбор мощности в настроенных на полуволну электропередачах последовательно включенными трансформаторами	3
В. К. Щербаков, Е. П. Гусев. О коэффициенте полезного действия настроенных на полуволну линий электропередач	10
К. К. Абрамов, А. А. Ильин. Первичные и вторичные параметры контактной сети шахты	22
М. П. Болштянский. Экспериментальное исследование напряжений в грунтовом основании	29
А. П. Тыртиков. Опыт использования растительности в качестве индикатора состава и свойств сезоноталого, сезонномерзлого слоев и многолетнемерзлой толщи в Игарском районе	34
М. С. Оренбах. Изменение реакционных свойств каменных углей при выветривании	41

ХИМИЯ

В. В. Лодейщиков, И. К. Скобеев, В. Н. Смагунов. Химические превращения благородных металлов при окислительном обжиге и значение их для процесса цианирования	53
Ю. Л. Лельчук, Л. Л. Скрипова, П. В. Кристалев. Фотоколориметрическое определение малых количеств кобальта в рудах цветных металлов β -нитрозо- α -нафтолом	63
А. Н. Киргинцев. О химическом потенциале в растворах ионных солей	71
И. И. Матвеев, П. В. Гельд, С. И. Алямовский. Кинетика восстановления пяти- и четырехокси ванадия углеродом	77
Н. И. Попова, Е. Е. Вермель. Изучение процесса каталитического окисления пропилена. Сообщение 4	89

БИОЛОГИЯ

А. И. Куренцов, Л. А. Ивлиев. О вредителях кедрового стланика на Камчатке	97
Н. Г. Коломиец, И. А. Терсков. Об использовании ультрафиолетового излучения для борьбы с сибирским шелкопрядом	104
Т. Е. Кузнецова. Микроорганизмы, разлагающие целлюлозу в солонцах северной Кулунды	114
П. С. Бугаков, Н. В. Казанцев. К химической характеристике некоторых почв Канской лесостепи	121
Г. С. Комолова, М. С. Левинсон. Действие ультразвука на дрожжевые клетки в зависимости от характера присутствующего газа	130

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г. В. Кривошеков. О качественных критериях выбора рабочей жидкости в вакуумных диффузионных насосах	135
И. А. Кунии, В. Ф. Хон. К теории взаимодействия вибратора с поглощающей жидкой средой	136

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

О. А. Кибальнич. Проблемы экономико-географического изучения Восточной Сибири	140
---	-----

ХРОНИКА

В. Е. Кузнецов. Симпозиум по тонким ферромагнитным пленкам	144
--	-----

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
15	подпись под рис. 7, 4 снизу	аналогичный	аналогичных
		$\Delta P = (1 - 0,5\varphi^2 w) \left(\frac{3 + (\beta D)^2}{3\beta l} \right)$	$\Delta P = (1 - 0,5\varphi^2 w) \left(\frac{3 + (\beta D)^2}{3\beta l} \right)$
21	формула 31	$\cdot \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1 \right) - 2 [P_2 (1 - 0,5\varphi^2 w) + \varphi Q =$	$\cdot \left(\frac{U_1^2}{U_2^2} - 1 \right) - 2 [P_2 (1 - 0,5\varphi^2 w) + \varphi Q =$
46	22 сверху	$+ RT \ln c_1^{n_1} c_a^{n_2}$	$+ RT \ln c_1^{n_1} c_a^{n_2}$
74	в формуле 18	$= Kc_1^{1-\alpha}$	$Kc_1^{1-\alpha}$
74	в формуле 21		
126	табл. 2, столбец 5 слева, строка 2 снизу	0,13	0,14
126	табл. 2, столбец 4 слева, строка 4 снизу	40,2	30,2
138	1 снизу	$S =$	$\zeta =$

Известия № 11.

Художественный редактор А. А. Федиахметов.
Технический редактор О. А. Локшина.
Корректоры: М. А. Башкова, Л. В. Жарикова.

Подписано к печати 16/XII—60 г. МН 07214. Бумага 70×106₁₆—9,25 печ. л., 12,67 усл. печ. л., 11,82 уч.-изд. л. Заказ № 1023. Тираж 1700.

Издательство Сибирского отделения АН СССР. Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1
Полиграфиздата. Новосибирск. Красный проспект, 20.
Цена 7 руб. (С 1/1—1961 г., цена 70 коп.).

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. Статьи, направляемые в журнал, должны кратко освещать еще неопубликованные результаты исследований по актуальным научным проблемам, полученные за последние два-три года.

2. Объем каждой статьи не должен превышать 1 авторского листа, включая библиографию и иллюстративный материал.

3. На публикацию материалов, представляемых в редакцию, требуется письменное разрешение руководства организации, на средства которой проводились работы, и соответствующая документация, удостоверяющая возможность печатания их в журнале.

4. Рукописи статей и иллюстративный материал к ним представляются в двух экземплярах. Рукопись должна быть четко перепечатана на машинке, через два интервала, на одной стороне листа, тщательно вычитана и подписана автором.

5. Корректур дается авторам лишь для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения в корректуре не допускаются. Иногородним авторам корректур не высылаются.

6. Формулы, латинские, греческие и т. п. выражения следует давать только в случаях необходимости, вписывая их на машинке или от руки (темными чернилами или тушью) четко и ровно, чтобы не было никаких сомнений при чтении каждого знака.

Во избежание недоразумений нужно делать ясное различие между заглавными и строчными буквами в формулах, имеющими одинаковое начертание (V и v, O и o, W и w, K и k, P и p, C и c), подчеркивая заглавные буквы двумя черточками снизу

(S), а строчные — сверху (s).

7. Тоновые иллюстрации (фото) должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Штриховые же должны быть выполнены ровно наложенной тушью на кальке, допускается также плотная белая бумага.

Не рекомендуется рисунки и чертежи загромождать надписями, лучше детали рисунка занумеровать и дать расшифровку номеров в подрисуночной подписи.

Все иллюстрации к статье должны иметь сквозную нумерацию. Номера эти проставляются простым карандашом на каждом рисунке или чертеже, а также в рукописи на левом поле страницы, против соответствующего места в тексте (вклеивать иллюстрации в текст рукописи нельзя). Кроме того, на обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. В рукопись должна быть вложена опись иллюстраций (в 2 экземплярах) согласно их порядковой нумерации.

Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статей.

8. Библиографические списки: а) литература в списке дается на тех языках, на которых она издана; б) библиографические данные приводятся по титульному листу издания, все элементы библиографического перечня отделяются друг от друга запятыми; в) цифры, обозначающие том, выпуск, издание, страницы, ставятся после сокращенного слова, например: т. III, вып. 7, изд. 2; г) в тексте ссылка на литературу, перечисленную в библиографическом списке, помещенном в конце статьи, делается по такой форме: «Павлов [10, 11] указывает...».

Числа 10, 11, взятые в квадратные скобки, показывают порядковые номера трудов в библиографическом списке.

Схема перечня библиографических данных:

Для книг: фамилия и инициалы автора, название книги, название издательства (Медгиз, Техиздат), место издания, год издания (слово «год» не ставится, например: 1956).

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала (альманаха, газеты), том или выпуск (т. III, вып. 7), номер, год. Говоря о месте издания, слова «Москва» и «Ленинград» можно заменять начальными буквами.

Статьи направлять по адресу: Новосибирск, ул. Советская, 20, комн. 401 — редакция журнала.

Цена 7 руб.
(с 1/1—1961 г. 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 — 84 руб.

на 6 месяцев — 42 руб.

на 3 месяца — 21 руб.

Цена отдельного номера 7 руб.

Подписка принимается всеми отделениями Союзпечати и агентствами связи, а также магазинами «Академкнига», с любого очередного номера. Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комната 401).