

п-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

7

НОВОСИБИРСК

1959

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

7

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
1959

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В. К. Щербаков. Дальние электропередачи через линии, настроенные на полуволну	3
К. Б. Караидеев, Л. Я. Мизюк. О разработке аппаратуры для аэроразведки	16
Ю. П. Сыров. Оптимальные режимы работы каскада ГЭС с водохранилищами длительного регулирования в энергетической системе	26
А. А. Ильин. Расчет затухания высокочастотных каналов по контактной сети шахт	35
Ю. Т. Борщевский. О построении профиля круговой решетки по заданному распределению давлений	45

ХИМИЯ

А. В. Николаев, Н. М. Силицын. Изучение изотопного обмена в некоторых соединениях кобальта	59
Л. В. Попова. Значение энергий термов электронных конфигураций f^2s , f^2d и f^2d^2	65
А. А. Фотиев, В. М. Андреев. Укрупненные опыты по получению двуокиси титана сульфатно-натриевой плавкой	71

БИОЛОГИЯ

С. А. Коляго. Опыт палеогеографической реконструкции фауны Минусинской впадины	76
Т. П. Славина. Содержание и подвижность Бараньих лесов	89
Л. В. И. Типы лесов	96
И. Типы сортов фасоли	105
А. С. Минимический состав клеточного сока	117
Г. В. Легированных сталей	120
Вещества в некоторых	122
В. О. Отделения АН СССР	126
О р. Отделения АН СССР	127
В Да. В. М. Май	129
Новос.	130

П-167/2 П-23482
1959
№ 7
Известия Сибирск. отделения АН СССР

П-23482

В. К. ЩЕРБАКОВ

ДАЛЬНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ЛИНИИ, НАСТРОЕННЫЕ НА ПОЛУВОЛНУ

В технике передачи электроэнергии на далекие расстояния в последнее время достигнут большой прогресс. Электроэнергия передается на расстоянии около 1000 км при мощности свыше 0,5 млн. кВт. на цепь линии. В практику электропередач переменного тока внедрено номинальное напряжение 400 кВ и обоснована возможность перехода к номинальному напряжению в 500 кВ при том же уровне изоляции.

Электропередачи при номинальном напряжении в линии 500 кВ позволяют еще больше увеличить дальность и мощность передач. Тем самым почти полностью будут удовлетворяться практические нужды в области передачи электроэнергии на расстояния. К тому же строительство атомных электростанций в районах, бедных энергетическими ресурсами и удаленных от источников электроэнергии на расстояния свыше 1000 км, в огромном большинстве случаев исключит необходимость в сооружении электропередач на расстояния, заметно превышающие 1000 км.

В каких случаях все же целесообразно передавать электроэнергию больших мощностей на расстояния в 1500—2000—2500 км? Очевидно, только тогда, когда переданная на такое большое расстояние электроэнергия будет стоить дешевле, чем произведенная на местных, в том числе и атомных, электростанциях. Может ли быть такой случай в практике? Да, может. Исключительно дешевая электроэнергия восточносибирских гидро- и тепловых электростанций, переданная на Урал на расстояние свыше 2000 км, будет стоить меньше, чем выработанная на уральских электростанциях [1]. Себестоимость сибирской электроэнергии, переданной на Урал, составит всего лишь 2,0—2,5 коп. за 1 кВт·ч [1—3]. Вероятно, и в некоторых других районах СССР и за границей имеются аналогичные, исключительно благоприятные условия для передачи электроэнергии на расстояния в 2000 км и более.

Если, таким образом, в отдельных случаях выгодно передавать электроэнергию на расстоянии в 2000 и, может быть, 3000 км, то возникает вопрос, как лучше осуществить такую электропередачу. И, прежде всего, какой следует выбрать род тока: постоянный или переменный?

Сравнивая в технико-экономическом отношении электропередачи постоянного и переменного тока, обычно записывают в пользу первых следующие преимущества: 1) КПД выше, 2) капитальные затраты меньше, 3) электропередача статически устойчива.

Электропередачи переменного тока в этих сравнениях рассматриваются или компенсированные или с подпорными компенсаторами.

Наиболее выгодно преимущества электропередач постоянного тока подчеркнуты в следующей подборке данных [3]:

п 23482

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Основные показатели	Постоянный ток		Переменный ток	
	Постоянный ток	Переменный ток	Постоянный ток	Переменный ток
Длина линии, км	2200	2200	2200	2200
Мощность, мвт	6000	6000	6000	6000
Энергия в год, млрд. квт-ч	42	42	42	42
Напряжение, кв	±600	600	600	600
Число линий	2	3	3	3
Сечение проводов в фазе, мм ²	4×712	4×712	4×712	4×712
Стоимость, млн. руб.:				
линий	1475	3090	3090	3090
подстанций	1165	870	870	870
компенс. устройств	—	1280	1280	1280
полная	2640	5240	5240	5240
Потери энергии, %:				
в линиях	8,84	12,15	12,15	12,15
на подстанциях	3,20	2,19	2,19	2,19
в компенс. устройствах	—	1,40	1,40	1,40
суммарные	12,04	15,74	15,74	15,74
Стоимость потерь, коп./квт-ч	2,63	2,63	2,63	2,63
Ежегодные экспл. расходы, млн. руб.	266	433	433	433
Стоимость передачи 1 квт-ч, коп.	0,72	1,22	1,22	1,22

Подборка эта составлена явно без учета возможностей удешевления передачи переменным током. А такого удешевления можно достичь и за счет некоторого повышения номинального напряжения линии, при неизменном уровне изоляции, и за счет перехода на двухцепной вариант, и за счет упрощения схемы электропередачи.

Значительные различия в капитальных затратах и кпд электропередач, как это следует из приведенных данных, определяются необходимостью компенсирующих устройств в электропередачах переменного тока для поддержания статической устойчивости. Такие устройства не нужны электропередачам постоянного тока. И чем больше дальность передачи, тем мощнее и дороже компенсирующие устройства, тем значительнее преимущества передач постоянного тока. Отсюда делается общий вывод об экономической нецелесообразности электропередач переменного тока на расстояния 2000—2500 км. Верно ли это? Нет, неверно.

Бесспорно лишь то, что компенсированные электропередачи на расстоянии в 2000—2500 км являются невыгодными. Мощность компенсирующих устройств в этом случае в несколько раз больше передаваемой мощности. Так, при передаче на 2400 км мощности 2370 мвт по одной цепи при $U_n = 800$ кв мощность компенсирующих устройств должна быть в пять раз больше передаваемой.

В некоторых случаях выгоднее статическую устойчивость дальней электропередачи переменного тока обеспечивать путем подпора напряжения в нескольких промежуточных точках линии, особенно если есть необходимость в отборе мощности в этих точках электропередачи. Однако даже при применении всех современных совершенных способов регулирования возбуждения синхронных компенсаторов и использовании в наибольшей степени помощи промежуточных систем все же требуется весьма значительная мощность подпорных синхронных компенсаторов.

Но есть еще один вид электропередач переменного тока, который в рассматриваемых условиях требует относительно небольших вспомогательных реактивных мощностей. Это электропередачи, настроенные на полуволновую длину.

Известно, что параллельная работа синхронных генераторов через воздушную линию в 3000 км столь же устойчива, как и в случае непосредственного включения генераторов на общие шины, если пренебречь влиянием активных потерь в линии. Учет активных потерь в линии принципиально не меняет сути явления, как это будет видно из дальнейших рассуждений.

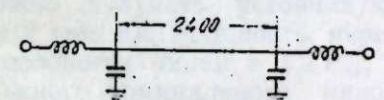
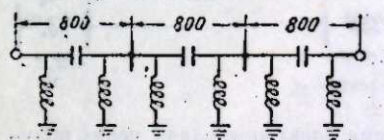
Электропередача переменного тока на расстояния около 3000 км не нуждается в каких-либо дополнительных устройствах для поддержания или повышения устойчивости. Статическая устойчивость такой передачи совершенно достаточна и является ее естественным свойством. В этом случае электропередача переменного тока экономически сравнима с электропередачей постоянного тока и, вместе с тем, имеет явное преимущество перед последней в технической отработанности и надежности всех составляющих ее элементов.

Выявившиеся в последнее время возможности резкого снижения уровня изоляции в высоковольтных линиях переменного тока позволяют надеяться на повышение номинального напряжения в линиях переменного тока до 700 кв и выше без больших дополнительных затрат.

При расстояниях меньше 3000 км можно получить такую же устойчивость электропередачи, как и при длине линии в 3000 км, с помощью некоторых дополнительных устройств — настраивающих устройств. Мощность и стоимость их будет тем больше, чем меньше дальность электропередачи. Для линий порядка 2500 км стоимость настраивающих устройств незначительна.

Ниже (табл. 1) приводятся результаты сравнительных расчетов

Таблица 1

Схема и тип электропередачи	Уд. расход настраив. и компенс. устройств	Максимальная (ном.) передаваемая мощность, $P_d/P_{нат}$	Кпд по энергии, %	
			$T = 6000$ час.	$T = 7000$ час.
Настроенная на полуволну	0,51	1,2	89,8	90,1
				
Компенсированная	4,7	1,05	90,4	89,0
				
С подпорными компенсаторами	2,0	1,0	90,15	89,7
				

электропередачи на расстояние в 2400 км при $U_n = 800$ кв, выполненных в лаборатории электроэнергетических систем Сибирского отделения АН СССР.

Данные табл. 1 с полной очевидностью подчеркивают экономические преимущества дальних магистральных электропередач через настроенные линии.

II

Характерные свойства линии полуволновой длины вытекают из основного уравнения линии без потерь:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \cos \lambda + I_2 \cdot jW \cdot \sin \lambda \\ \dot{I}_1 &= \dot{U}_2 j \frac{1}{W} \cdot \sin \lambda + I_2 \cdot \cos \lambda \end{aligned} \right\}$$

где U_1, I_1 и U_2, I_2 — напряжения и токи по концам линии,

W и λ — волновое сопротивление и волновая длина линии.

Геометрическая длина линии l и волновая длина λ связаны между собою через скорость распространения электромагнитных волн

$$v = \frac{1}{\omega \sqrt{L_0 C_0}}$$

$$l = \frac{\lambda}{\omega \sqrt{L_0 C_0}} \text{ (км.)}$$

При частоте 50 гц и значениях индуктивности (L_0) и емкости (C_0) на 1 км, обычных для воздушных линий, волновая длина λ соответствует геометрической длине в 3000 км.

Волновая длина, равная λ , дает интересные соотношения между напряжениями и токами по концам такой линии:

$$\dot{U}_1 = -\dot{U}_2,$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2,$$

так как $\cos \pi = -1$ и $\sin \pi = 0$. И, что особенно важно, равенство модулей токов и напряжений по концам линии длиной 3000 км сохраняется при любой величине передаваемой мощности. Сдвиг по фазе векторов напряжений и токов на угол 180° также остается постоянным при различных нагрузках линии.

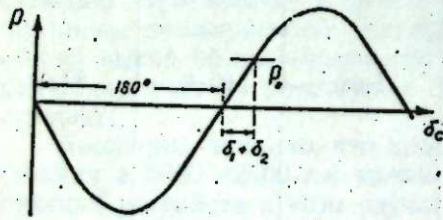


Рис. 1. Характеристика мощности.

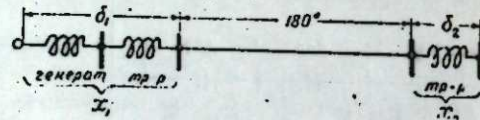


Рис. 2. Схема электропередачи через полуволновую линию.

Легко показать [4], что передаваемая мощность зависит только от индуктивности генераторов и трансформаторов по концам электропередачи (рис. 1 и 2) и предел передаваемой мощности электропередачи определяется без участия индуктивности линии. Создается впечатление непосредственной работы генератора через трансформаторы на шины приемной системы.

Холостой режим полуволновой линии характеризуется равенством напряжений и отсутствием тока по концам линии, что следует из основных уравнений линии без потерь ($I_2 = 0$).

Учет активных потерь в линии несколько усложняет анализ явлений,

и сами явления несколько искажаются; появляется перепад напряжения в линии ($U_1 \neq U_2$) за счет активного сопротивления линии.

Однако наличие активных потерь не изменяет в принципе основного достоинства полуволновой линии, заключающегося в том, что индуктивность и емкость линии не влияют на режим напряжений по концам линии и практически не ограничивают предел передаваемой по линии мощности.

Линии электропередачи короче 3000 км не обладают свойствами полуволновой линии, но могут получить эти свойства путем «настройки», т. е. искусственного увеличения волновой длины до значения λ .

Волновая длина $\lambda = \omega \sqrt{L_0 C_0} \cdot l$; увеличить ее можно или добавочной индуктивностью или добавочной емкостью. При различных способах распределения добавочных индуктивностей и емкостей вдоль линии можно получить много схем «настройки» линии на полуволновую длину. На рис. 3 представлены характерные из них.

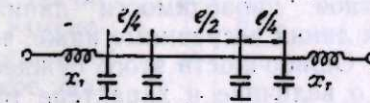
В качестве настраивающих индуктивностей можно использовать индуктивности концевых трансформаторов.

В табл. 2 даны суммарные мощности настраивающих емкостей, необходимые не только для настройки, но также и для повышения пропускной способности линии сверх натуральной на 10, 20, 30% и т. д.

Пропускная способность линии, настроенной на полволну, ограничивается исключительно допустимым повышением напряжения в линии против номинального, которое принято в 10%.

Таким образом, при сравнительно небольших затратах на настраивающие (и одновременно повышающие пропускную способность) устройства можно получить устойчивую электропередачу на расстояния свыше 2 тыс. км. Мощность, передаваемая по двум цепям, при пропускной способности линии в $1,2 P_{\text{нат}}$ будет различной в зависимости от возможного номинального напряжения линии, а именно: при 600 кв — 3200 мвт, при 700 кв — 4400 мвт, при 800 кв — 5600 мвт.

Таблица 2



X_T^*	$P_{2\text{max}} / P_{\text{нат}}$	$Q_{\text{настр}} / P_{\text{нат}}$	Примечания
0	1,32	0,90	При настройке используется индуктивность трансформаторов. $\Delta U \leq 0,1 U_2$
0,1	1,26	0,80	
0,2	1,22	0,65	
0,3	1,16	0,60	

Почему же, несмотря на явные достоинства настроенных на полуволну линий, они не только не нашли практического применения в технике сильных токов, но даже не рассматривались в последнее время как возможные для дальних электропередач?

Очевидно, во-первых, потому, что до сих пор строились линии электропередач, длина которых не превышала 1500 км, а для них явно выгоднее было уменьшать волновую длину, а не увеличивать ее; во-вторых, потому, что среди значительной части ученых и инженеров существует мнение о наличии у полуволновых линий таких технических недостатков, которые исключают возможность их практического применения в дальних электропередачах. Указывают на низкий кпд линии в режиме полуволны, на неизбежные и притом исключительно высокие перенапряжения в этих линиях при коротких замыканиях, на затруднения с промежуточным отбором мощности и многое другое. Наконец, член-корр. АН СССР И. С. Брук высказал утверждение [5] о невозможности синхронной работы энергосистем через линию длиной в полволны.

Полуволновые линии действительно обладают рядом особенностей, и наряду с большими достоинствами им присущи и некоторые существенные недостатки. Однако об особенностях, достоинствах и недостатках полуволновых линий высказываются часто неверные суждения, что объясняется малой изученностью вопроса или просто недоразумениями.

III

Остановимся кратко на следующих вопросах, характеризующих настроенные на полуволну линии*:

- 1) коэффициент полезного действия;
- 2) перенапряжения при коротких замыканиях;
- 3) самовозбуждение генераторов, работающих на полуволновые линии;
- 4) самораскачивание генераторов, работающих на полуволновые линии;
- 5) параллельная работа электросистем через полуволновые линии;
- 6) промежуточные отборы мощности.

1. Коэффициент полезного действия длиной линии зависит от типа и схемы линии, при прочих равных условиях, лишь постольку, поскольку в линиях разных типов и схем неодинаковы величины потерь от токов проводимости. При полном отсутствии токов проводимости в линии протекал бы только ток передаваемой мощности и независимо от типа и схемы линии потери активной мощности в ее проводах были бы одинаковы.

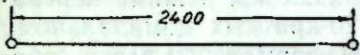
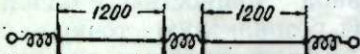
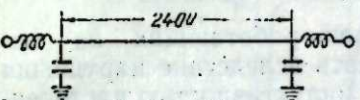
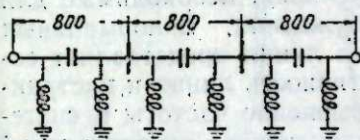
Существует ошибочное мнение [6], что именно в полуволновой линии и линиях, настроенных на полуволну, дополнительные потери, определяемые токами емкостной проводимости линии, особенно велики и что из-за этого кпд таких линий несравнимо ниже, чем в линиях переменного тока других типов. Ошибочность этого суждения кроется в неправильном представлении о величине и характере токов проводимости, в неучете зависимости этих токов от режима нагрузки линии.

В табл. 3 даны для разных типов и схем линий значения разности между полными потерями в линии на нагрев проводов током линии (ΔP) и потерями, определяемыми током передаваемой активной мощности ($I^2 2aR$). Разность $\Delta P - I^2 2aR$, выраженная в процентах от натуральной мощности, показывает роль тока проводимости линии в создании потерь в ней.

Из данных табл. 3 следует, что доля потерь, создаваемых током проводимости, в общих потерях при нагрузке, равной натуральной мощ-

* Более подробно эти вопросы рассматриваются в отчетах и диссертациях, выполненных в лаборатории электроэнергетических систем Сибирского отделения АН СССР.

Таблица 3

Тип линии и схема	Передаваемая мощность			Примечания
	0,5 $P_{\text{нат}}$	$P_{\text{нат}}$	1,2 $P_{\text{нат}}$	
Однородная 	4,5	0,5	—	$\cos \varphi_2 = 1$
Настроенная на полуволну 	3,1	-0,98	—	$\cos \varphi_2 = 1$
Настроенная на полуволну 	4,4	0,1	-2,5	$\cos \varphi_2 = 1$
Компенсированная 	0,4	3,5	7,2*	*при $P_2 = 1,15 P_{\text{нат}}$ $\cos \varphi_2 = -0,82$

ности, вообще невелика. Эта доля резко снижается или становится отрицательной при полной нагрузке (1,2 $P_{\text{нат}}$). Во всех случаях настроенные на полуволну линии имеют значения $\Delta P - I^2 2aR$, опровергающие утверждения о какой-то особой отрицательной роли токов проводимости в полуволновых линиях.

На рис. 4 приведены кривые кпд настроенных линий с учетом потерь на корону. Можно видеть, что в значительном диапазоне изменения передаваемой мощности кпд сохраняют высокое значение. Для сравнения здесь же дана кривая кпд компенсированной линии при тех же исходных условиях.

При малых нагрузках кпд компенсированной линии выше, зато при нагрузках в диапазоне от 0,7 $P_{2\text{max}}$ до $P_{2\text{max}}$, характерных для дальней магистральной электропередачи, кпд настроенных линий выше, чем компенсированной. Это обстоятельство хорошо подчеркивают значения кпд по энергии для приведенных выше схем линий: при 6000 час. использования линии кпд для

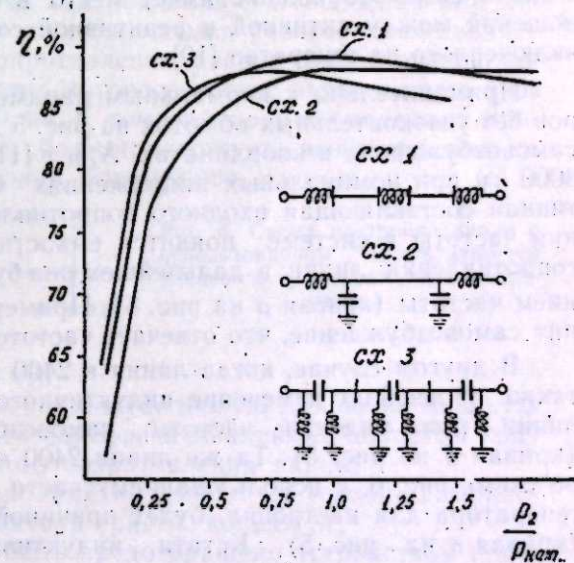


Рис. 4. Изменение коэффициента полезного действия настроенных (сх. 1, сх. 2) и компенсированной (сх. 3) линий от нагрузки.

при 6000 час. использования линии кпд для

сх. 1 равен 88,4; сх. 2 — 87,5; сх. 3 — 87,9; при 7000 час. — соответственно 88,8; 88 и 87,4.

2. Перенапряжения в полуволновых линиях при коротких замыканиях в установившемся режиме носят резонансный характер. В переходном режиме напряжение быстро нарастает и через несколько периодов [7] достигает высоких значений. В установившемся режиме перенапряжения могли бы достигнуть величин, 8—20-кратных номинальному напряжению, однако корона и насыщение трансформаторов резко ограничивают амплитуду перенапряжений [8, 9]. Корона на проводах линии, загружая электропередачу добавочной активной мощностью, с одной стороны, увеличивает емкость линии и сдвигая резонансную точку, — с другой, создает условия, при которых в самых неблагоприятных случаях резонансные перенапряжения в настроенных линиях [9] не превышают трехкратной величины рабочего напряжения.

3. Самовозбуждение синхронных генераторов, работающих на настроенные на полуволну линии, может возникнуть вследствие нарушения необходимого соотношения между емкостью и индуктивностью настроенной линии. В этом случае входное сопротивление линии иногда будет емкостным и тем самым могут создаваться условия, необходимые для возникновения и развития явления самовозбуждения. В нормальных условиях работы электропередачи настроенная линия представляет собой активное сопротивление; емкость и индуктивность линии и настраивающих устройств взаимно уравновешены. Изменение частоты в системе сказывается на величине емкостного и индуктивного сопротивлений резонансного контура настроенной линии. Например, снижение частоты уменьшает индуктивное сопротивление и увеличивает емкостное. В результате входное сопротивление линии по отношению к генератору становится емкостным и появляется главное условие для самовозбуждения. Однако самовозбуждение имеет место в определенных границах соотношений между активной и реактивной составляющими сопротивления, включенного на генератор [10].

Применительно к нормальным параметрам мощных гидрогенераторов без успокоительных обмоток на рис. 5 даны пограничные кривые зон самовозбуждения в координатах X_c и r [11]. Мощным линиям длиной в 3000 км при номинальных напряжениях 600—800 кВ соответствует активная составляющая входного сопротивления 0,05 ÷ 0,08. При снижении частоты в системе появится емкостная составляющая входного сопротивления линии; в дальнейшем она будет возрастать вместе с падением частоты (кривая a на рис. 5). Примерно при $X_{вх} = X_d + X_T$ наступит самовозбуждение, что отвечает частоте в 43,6 гц.

В другом случае, когда линия в 2400 км настроена на полуволну и также произойдет изменение индуктивного и емкостного сопротивлений линии при падении частоты, самовозбуждение наступит при 43 гц (кривая b на рис. 5). Та же линия 2400 км, настроенная на полуволну по схеме рис. 6, с использованием части индуктивности синхронного генератора для настройки, будет причиной самовозбуждения при 47 гц (кривая b на рис. 5). Кстати, индуктивность генератора не может участвовать в настройке линии, как это неоднократно утверждалось [12], так как в этом случае генератор всегда был бы включен на емкостное входное сопротивление линии и самовозбуждение было бы нормальным свойством схемы.

Таким образом, из предыдущего следует, что полуволновые однородные линии и линии, настроенные на полуволну, в нормальных условиях работы не могут являться причиной для самовозбуждения генераторов;

снижение частоты, необходимое для самовозбуждения, должно быть столь значительным, что может мыслиться лишь как случай исключительный.

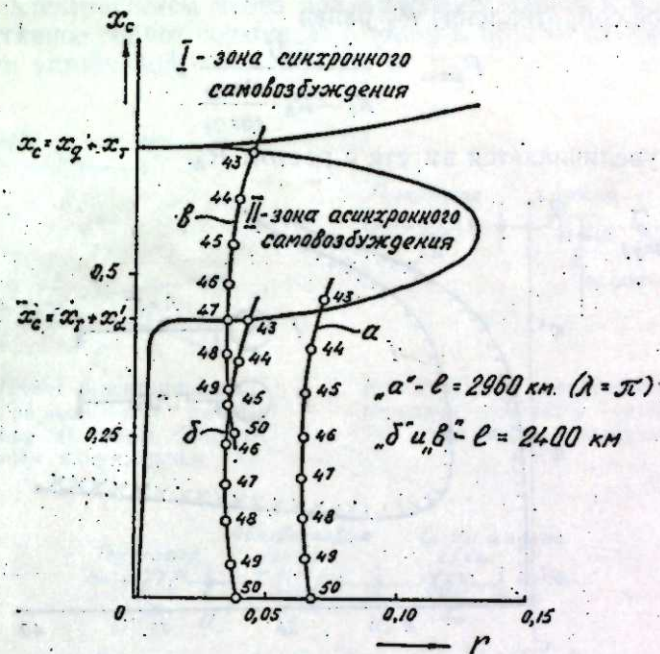


Рис. 5. Зоны самовозбуждения синхронного генератора.

4. Самораскачивание генераторов, работающих на полуволновые линии, принципиально возможно, так как реальная полуволновая или настроенная на полуволну линия в установившемся режиме представляет для генератора чисто активное сопротивление, равное сопротивлению короткого замыкания линии, величина которого может быть весьма значительной для линий 2000 — 2500 км. К тому же наличие волновых процессов в длинных линиях также благоприятствует возникновению и развитию явления самораскачивания генераторов.

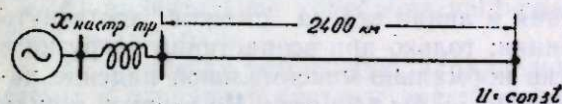


Рис. 6. Схема настройки линии с использованием индуктивности концевого трансформатора и генератора.

Исследования показали [13], что:

- генератор, работающий через полуволновую линию на мощную электрическую систему, подвержен самораскачиванию на холостом ходу вследствие значительного активного сопротивления линии;
- волновые процессы в линии заметно влияют на условия самораскачивания, ухудшая работу генератора (рис. 7, кривая 1);
- самораскачивание может быть предотвращено устройством поперечной успокоительной обмотки с соответствующими параметрами (T_q), с учетом величины постоянной инерции генераторов (j) (рис. 7).

5. Параллельная работа электросистем через полуволновую линию, как это отмечалось выше, подобна параллельной работе синхронных генераторов через активное сопротивление, так как полуволновая линия в нормальном режиме для генераторов по ее концам представляется чисто активным сопротивлением. В общем случае эта работа вполне

устойчива и более благоприятна, чем параллельная работа только через индуктивное сопротивление. Как это следует из рис. 8, предел передаваемой мощности от генератора на шины с постоянным напряжением через активное сопротивление R_A равен

$$P_{2\max} = \frac{EU}{X_T - R_A \cdot \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2}}$$

и несколько увеличивается вместе с ростом R_A .

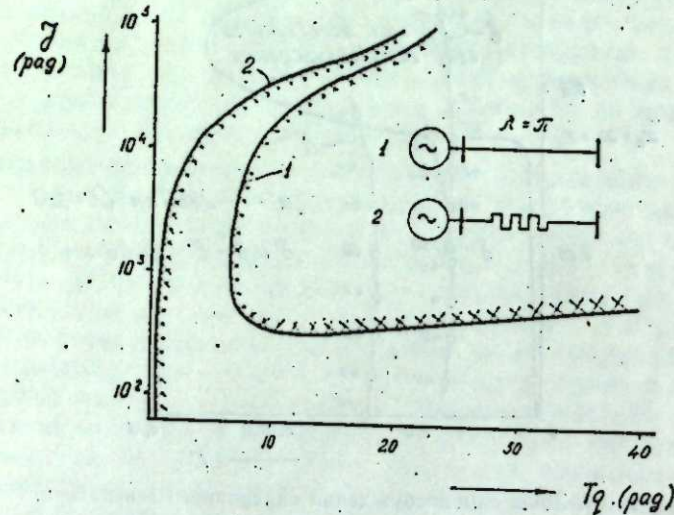


Рис. 7. Зоны самораскачивания генератора: 1 — с учетом волновых процессов в линии, 2 — без учета волновых процессов в линии.

Высказывается опасение [5], что отсутствие реактивного сопротивления между генератором и нагрузкой затруднит регулирование напряжения у нагрузки потоком реактивной мощности; при этом рассматривается такой маловероятный случай, как подключение нагрузки непосредственно к концу линии (рис. 9). Во-первых, активное сопротивление нагрузки R_H всегда будет во много раз больше активного сопротивления линии R_A , и падение напряжения в линии всегда сможет достигнуть $\approx 10\%$ от напряжения конца линии; только при возрастании нагрузки в конце линии во много раз против нормально-максимальной падение напряжения в линии соответственно могло бы возрасти. Во-вторых, между концом линии и собственно нагрузкой неизбежна индуктивность трансформаторов и линий вторичного напряжения, и схема работы электропередачи будет в действительности выглядеть так, как на рис. 10; напряжение нагрузки — $U_{нагр}$ — может регулироваться даже при значительной посадке напряжения в конце полуволновой линии — U_2 .

И затем позволительно задать вопрос: какого типа линия (постоянного и переменного тока) не выйдет из строя, если ее перегрузить во много раз? Почему же можно полуволновую линию с целью ее дискредитации ставить в какие-то особые условия?

Говорят [5], что полуволновая линия представляет собою гигантский колебательный контур. Это верно. Но в наше время в технике и науке создаются во многих случаях не менее грандиозные управляемые колебательные контуры, и они верно служат человеку. Нужно только уметь управлять этими контурами. И разве в компенсированных линиях не создаются мощные колебательные контуры?

В лаборатории электроэнергетических систем Сибирского отделения АН СССР на электродинамической модели осуществлялась параллельная работа электросистем через полуволновую линию и через сосредоточенное активное сопротивление. И в том и в другом случае эта работа была вполне устойчивой.

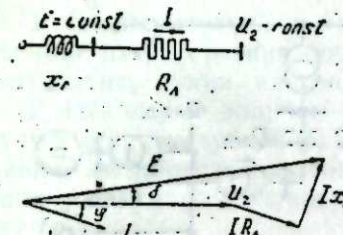


Рис. 8. Схема и векторная диаграмма параллельной работы генератора на шины с постоянным напряжением.

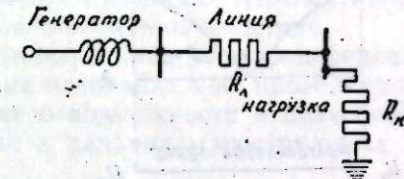


Рис. 9. Схема замещения электропередачи генератор — полуволновая линия — нагрузка.

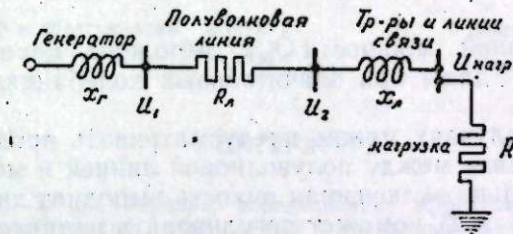


Рис. 10. Схема работы генератора на нагрузку через трансформаторы и линии.

6. Промежуточные отборы мощности от полуволновых линий принципиально вполне возможны. При этом нужно иметь в виду:

- переменность величины проводимости промежуточных подключений и необходимость в связи с этим «подстройки» линии;
- значительное колебание напряжения в линии вместе с изменением ее загрузки;

в) не всегда устойчивую параллельную работу промежуточной системы и отправной системы электропередачи. Промежуточный отбор в середине линии мало влияет на волновую длину линии и, следовательно, на «настройку» ее, зато здесь имеет место наибольшее по линии колебание напряжения. Напряжение в средней точке полуволновой линии изменяется пропорционально изменению нагрузки в конце линии (рис. 11).

В нормальных условиях работы колебание величины отдаваемой в конце линии мощности P_2 будет в пределах нескольких десятков процентов от $P_{2\max}$. Нужно полагать, что электропередача длиной более 2000 км экономически целесообразной окажется только при двух условиях:

- при передаче весьма большой мощности P_2 (не менее нескольких миллионов киловатт);
- при большом числе часов использования максимальной пропускной способности линии ($T \approx 7000 - 8000$ часов). Колебание напряжения в линии при таких высоких значениях T будет даже в середине линии незначительным и не затруднит промежуточные отборы мощности. Глубокая разгрузка линии и переход на холостой ход должны рассматри-

ваться как случаи исключительные и, по меньшей мере, как эпизодические или даже аварийные. В этих случаях промежуточную нагрузку кратковременно можно отключить.

На рис. 12 приведена возможная схема промежуточного подключения к полуволновой линии. Две трансформаторные связи и регулирую-

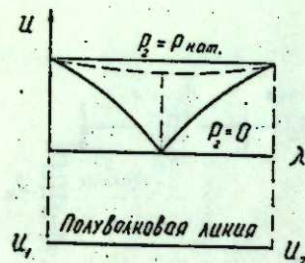


Рис. 11. Распределение напряжения вдоль полуволновой линии на холостом ходу и при нагрузке, равной натуральной мощности.

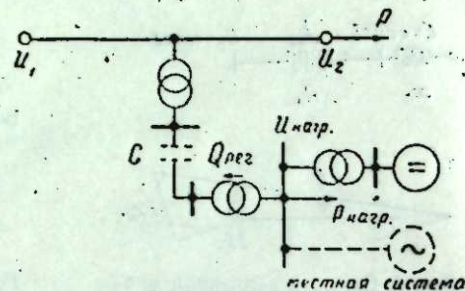


Рис. 12. Вариант схемы подключения промежуточной системы к полуволновой линии.

щий поток реактивной мощности $Q_{рег}$ в полной мере обеспечат стабильность $U_{нагр}$ даже при значительных колебаниях напряжения в линии.

В отдельных случаях можно предусматривать продольную компенсацию на линии связи между полуволновой линией и местной системой. Здесь последовательно включенная емкость выполнит две задачи: 1) повысит устойчивость и 2) поможет регулировать напряжение в ответвлении в зависимости от величины тока в линии связи. Этот ток будет тем больше, чем глубже посадка напряжения в линии, при одной и той же отбираемой активной мощности.

Промежуточное подключение к участку линии между $\lambda = \frac{\pi}{2}$ и $\lambda = \pi$ в отдельных случаях может «достраиваться» до полуволны.

Относительно числа и мощности промежуточных отборов мощности от магистральной сверхвысоковольтной электропередачи следует сказать следующее:

1. Электропередача на расстояния 2000—2500 км целесообразна только как магистральная, передающая в конец линии несколько миллионов киловатт на цепь при напряжении 700—800 кВ.
2. Промежуточные отборы мощности от электропередачи с таким высоким номинальным напряжением могут быть оправданы только в случае крайней нужды и лишь во второй половине линии, так как стоимость подстанций с напряжением 700—800 кВ очень высока и на расстоянии до 1000—1300 км, вероятно, целесообразнее передавать электроэнергию при напряжении 500 кВ.
3. Мощность промежуточных отборов не может составлять заметную часть мощности, передаваемой в конец линии, так как в противном случае общую экономическую целесообразность столь дальней электропередачи было бы трудно доказать. Отборы делать вблизи конца электропередачи, очевидно, нецелесообразно; здесь выгоднее будет пойти на встречный поток при более низком напряжении.
4. Межсистемные связи в объединенных системах (например, в объединенной системе Сибири) в полной мере обеспечиваются номинальным напряжением 500 кВ.

Электропередача на номинальном напряжении 700—800 кВ должна носить ясно выраженный магистральный характер и на расстоянии, например, в 2500 км может быть связана с сетью 500 кВ в одной-двух точках, если это будет экономически целесообразно.

Выводы

1. Применительно к магистральным электропередачам на переменном токе на расстояния порядка 2500 км наиболее перспективными следует считать линии, настроенные на полуволновую длину.
2. Некоторые вопросы работы настроенных электропередач следует изучить более углубленно, однако на основании уже проведенных исследований можно сделать заключение о возможности и целесообразности использования полуволновых линий в дальних магистральных электропередачах.
3. В каждом конкретном случае необходимо проводить технико-экономическое сравнение настроенных электропередач и электропередач постоянного тока, так как в общем случае и ту и другую можно рекомендовать для передачи электроэнергии больших мощностей на расстояния порядка 2500 км.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
2/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Вейц и др., Условия, определяющие эффективность электроснабжения Урала от электростанций, размещаемых у топливных баз Восточной Сибири и Северного Казахстана. Доклад на Конф. по развитию производ. сил Вост. Сибири, 1958.
2. И. Н. Озорной, Технические и экономические характеристики крупных ГРЭС, намечаемых в Сибири. Доклад на Конф. по развитию производ. сил Вост. Сибири, 1958.
3. А. В. Поссе и др., Выступление в дискуссии о перспективах применения электропередач постоянного тока в СССР. Электричество, № 2, 1958.
4. П. С. Жданов, Устойчивость электрических систем. Госэнергоиздат, М., 1948.
5. И. С. Брук и др., Дальние передачи переменного тока. Изд. АН СССР, М., 1958.
6. Н. Ф. Ракушев, Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям. Госэнергоиздат, М., 1957.
7. В. П. Фотин, Повышение напряжений в длинных линиях при несимметричных коротких замыканиях на землю. Госэнергоиздат, М., 1958.
8. А. А. Вульф, О. П. Щербачев, Режим короткого замыкания в линиях электропередачи, настроенных на полволны. Электричество, № 4, 1946.
9. О. В. Ольшевский, В. К. Щербаков, Симметричные короткие замыкания настроенных электропередач. Изв. СО АН СССР, № 6, 1956.
10. А. И. Долгинов, Резонанс в электрических цепях и системах. Госэнергоиздат, М., 1957.
11. В. К. Щербаков, Э. С. Лукашов, О возможности использования реактивного сопротивления генератора в схемах настройки электропередачи на полволну. Изв. СО АН СССР, № 5, 1959.
12. Е. А. Чернышева, Пропускная способность линии передачи с трансформаторами по концам и настройки линий на полволну напряжения. Электричество, № 6—7, 1933.
13. Э. С. Лукашов, Самораскачивание синхронного генератора в настроенных электропередачах. Изв. СО АН СССР, № 4, 1959.

К. Б. КАРАНДЕЕВ, Л. Я. МИЗЮК

О РАЗРАБОТКЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Аэрогеофизические методы разведки и поисков полезных ископаемых в отличие от наземных позволяют резко поднять производительность труда при геофизических работах, особенно в труднодоступных районах. Аэрогеофизическая съемка базируется, как известно, на исследовании тех или иных полей с движущегося объекта — самолета, вертолета и т. п. Исследованию подвергаются как естественные, так искусственно созданные поля. Так, при аэромагнитной и гаммосъемках измеряются естественное магнитное поле и радиоактивное излучение. При аэроэлектроразведке исследуется искусственно создаваемое электромагнитное поле [1, 2].

Для возбуждения полей в аэроэлектроразведке применяются как наземные, так и подвижные источники, установленные на самолете или вертолете. При размещении генераторной установки на летящем объекте аэроэлектроразведочная станция ничем не связана с землей, что является ее важным достоинством. Однако глубинность исследований при этом невелика вследствие трудностей создания необходимой напряженности поля даже на глубине в несколько десятков метров. Эти трудности вызваны ограниченной мощностью электропитающих устройств, необходимостью удаления излучающего устройства от дневной поверхности минимум на 50—100 м, ограниченными размерами излучателей.

При работе с наземными источниками глубинность исследований существенно возрастает благодаря повышению мощности генераторных устройств, увеличению размеров излучателей и размещению их непосредственно на дневной поверхности. Недостатком такого способа возбуждения является вынужденная локализация исследований в районе размещения источника поля, так как измерения не могут производиться на значительных удалениях от излучателя, где напряженность поля резко убывает. Для исследований в новом районе приходится предварительно перемещать туда генераторную станцию и излучатель.

В соответствии с указанными способами возбуждения в настоящее время наметились две схемы аэроэлектроразведки. В первой из них, схеме бесконечно длинного кабеля, поле создается низкочастотным током наземного источника, вводимым в землю с помощью кабеля длиной 10—20 км, заземленного на концах. Параметры, характеризующие поле, измеряются аппаратурой, смонтированной на подвижном объекте, летящем вдоль профилей, проходящих вкрест кабелю.

Во второй схеме, получившей название схемы индукции, низкочастотное электромагнитное поле возбуждается рамкой, смонтированной на подвижном объекте, летящем на минимально возможной высоте над дневной поверхностью. Измерительная аппаратура, размещенная на этом же или втором подвижном объекте [3], отмечает аномалии вторичного поля, связанные с изменением проводимости геологических объектов.

Обе схемы были положены в основу разработки методики и аппаратуры аэроэлектроразведки в Институтах физики Земли АН СССР (ИФЗ), методики и техники разведки МГиОН (ВИТР), машиноведения и автоматики АН УССР (ИМА). Аппаратура для аэроэлектроразведки по схемам бесконечно длинного кабеля и индукции была разработана и изготовлена в ИМА под руководством авторов при участии В. Н. Гончарского, Н. И. Калашникова, Л. А. Синицкого, Л. Д. Гика, А. Н. Ермакова, В. Л. Змудикова, Ю. Б. Николаенко, А. С. Луцишина, В. П. Бойко, Н. С. Умеренкова, Б. П. Селиверстова и др. В 1958 г. совместно с ВИТРОм были проведены ее летные испытания.

В настоящей статье рассматриваются принципиальные схемы и некоторые результаты летных испытаний аппаратуры аэроэлектроразведки по схеме бесконечно длинного кабеля.

Комплекс этой аппаратуры можно разделить на две группы — наземную, создающую электромагнитное поле низкой частоты, и подвижную, установленную на вертолете и обеспечивающую измерение и регистрацию некоторых параметров поля в движении. В качестве параметров, подлежащих измерению, были приняты фазовый угол и одна из квадратурных компонент (реактивная или активная) горизонтальной составляющей магнитного поля относительно тока кабеля.

Чтобы обеспечить возможность проведения более широких методических работ, генераторную аппаратуру спроектировали для возбуждения поля на любой из четырех фиксированных частот: 81, 244, 976, 3904 гц. Кроме генераторного устройства, в состав наземной группы входят радиопередатчик для передачи опорного сигнала, фаза которого служит началом отсчета, устройство для контроля фазы опорного сигнала, передаваемого в эфир, радиостанция для двухсторонней связи наземной группы с вертолетом.

Упрощенная скелетная схема аппаратуры наземной группы приведена на рис. 1. Электромагнитное поле рабочей частоты создается кабелем; для питания которого применен ламповый генератор 2 с выходной мощностью порядка 2 ква. Для компенсации реактивного сопротивления нагрузки в генераторе предусмотрены магазины емкости и индуктивности, включаемые в случае необходимости последовательно с кабелем.

Мощный усилитель генераторного устройства возбуждается задающим генератором 1, частота которого стабилизирована кварцем (125 кгц). Рабочие частоты получают путем деления частоты кварцевого генератора с помощью мультивibrаторов.

Опорный сигнал, снятый с низкоомного активного сопротивления, включенного последовательно с кабелем, подается на модулятор УКВ-радиопередатчика опорного сигнала 4, имеющего выходную мощность около 100 ва и работающего на одной из двух несущих частот — ≈ 38 и 40 мгц. Излучение опорного сигнала производится антенной с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и вертикальным лепестком, прижатым к земле.

Для контроля фазы опорного сигнала, излучаемого в эфир, в наземной группе установлен детекторный приемник 5. Демодулированное напряжение, полученное на выходе приемника с помощью специального усилителя 6 или осциллографа, сравнивается по фазе с исходным опорным сигналом. В случае несовпадения фазовых углов производится поворот фазы сигнала, поступающего на модулятор радиопередатчика, и таким образом исключаются возникающие фазовые сдвиги опорного сигнала.

В состав наземной группы входит связная радиостанция 7 того же типа, что и установленная на вертолете.

Электропитание всей аппаратуры наземной группы производится от передвижной электростанции трехфазного тока \mathcal{Z} с бензиновым двигателем. Конструктивно аппаратура наземной группы выполнена в виде отдельных блоков, смонтированных в крытом двухосном автомобильном прицепе. В случае необходимости отдельные блоки легко демонтируются и могут транспортироваться вертолетом.

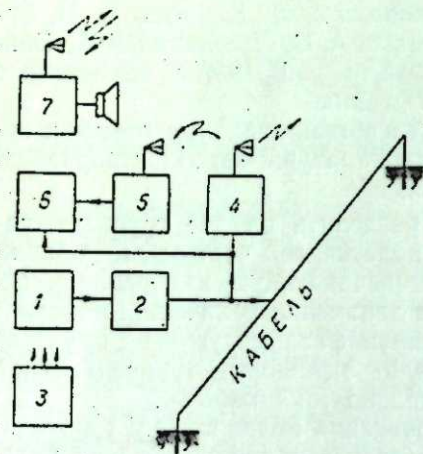


Рис. 1. Скелетная схема наземной группы аппаратуры аэроразведки.

Напряженность поля горизонтальной составляющей изменяется вдоль профиля по мере удаления от кабеля по закону, близкому к экспоненциальному. Быстрое затухание сигнала вблизи кабеля приводит к тому, что для увеличения рабочей части профиля необходимо иметь возможность измерять весьма слабые переменные поля. Так, при принятой мощности генераторной группы измерительная аппаратура должна обеспечить измерение полей порядка 10^{-9} э. Измерение столь слабых полей сопряжено с рядом серьезных трудностей принципиального и технического характера. Достаточно сказать, что в реальных условиях аэроразведочной съемки помехи, лежащие в диапазоне

рабочих частот, могут превышать полезные сигналы на несколько порядков. Источниками помех при этом являются не столько атмосферные и магнитные поля от электрооборудования вертолета, сколько вибрации приемных рамок в магнитном поле Земли, вызванные вибрациями вертолета.

В разработанной измерительной аппаратуре подавление помех достигается сочетанием электрических фильтров, синхронного детектирования и системы механической амортизации приемных рамок входных каскадов усиления.

В качестве приемного элемента, реагирующего на переменное магнитное поле, в измерительной аппаратуре применена настроенная рамка со стержневым ферритовым сердечником. Настройкой рамки в резонанс достигается повышение чувствительности и помехоустойчивости входного устройства. При длине ферритовых сердечников 220 мм значения добротности Q и чувствительности S на рабочих частотах 81, 244, 976, 3904 гц соответственно равны: Q — 15, 25, 35, 45; S — 70, 300, 1500, 4000 в/э. При относительно простой теплоизоляции дрейф фазового угла при указанных величинах добротности, вызванный изменением температуры, не превышает $0,5^\circ$ на 10°C за 45 минут.

Для уменьшения помех от электрооборудования вертолета и электропитающих устройств приемная рамка выносится из кабины вертолета на хвостовую балку или в гондолу, буксируемую на тросе длиной 10—15 м. Подавление помех, вызванных вибрацией вертолета, достигается применением специальной подвески рамки, представляющей собой трехступенчатую сейсмическую систему с собственными частотами $\approx 3, 6$ и 40 гц.

Сигнал, принятый рамкой, поступает на вход измерительного устройства по соединительному кабелю. Для исключения влияния наводок на кабель и согласования выходного сопротивления рамки с выходным сопротивлением кабеля непосредственно у рамки помещен

тщательно амортизированный входной усилитель с коэффициентом усиления 10 и низким выходным сопротивлением $r_{\text{вых}} \approx 150$ ом. Во входном усилителе применены вибростойкие лампы со стержневыми электродами.

Измерительное устройство, смонтированное в кабине вертолета, обеспечивает непрерывную регистрацию фазового угла и активной или реактивной компоненты (по выбору оператора). Измерение фазового угла производится компенсационным методом с автоматической обработкой фазовращателя. Для регистрации компонент применена схема непосредственного измерения. Высокая помехоустойчивость измерительного устройства обеспечивается применением избирательного усилителя и фазочувствительных (синхронных) детекторов на выходе обоих каналов. Избирательность усилителя выбрана такой, чтобы он обладал достаточной стабильностью коэффициента усиления на рабочей частоте и хорошо подавлял помехи при больших расстройках. На малых расстройках, подавление помех производится в основном в фазочувствительном детекторе. При соответственной постоянной времени выходного устройства фазочувствительный детектор благодаря синхронному накоплению сигнала позволяет исключить некогерентную помеху вплоть до частот, отличающихся от рабочей на несколько герц. Для повышения избирательности синхронного детектора коммутация производится в нем управляющим напряжением прямоугольной формы, получаемым путем ограничения опорного сигнала.

Скелетная схема измерительного устройства приведена на рис. 2. Пользуясь ею, рассмотрим работу каналов измерения компонент и фазы. Измеряемый сигнал H_{ω_x} , принятый рамкой 1 и усиленный входным усилителем 3, поступает на вход первого избирательного усилителя 5. После переключателя пределов измерения 6 и второго избирательного усилителя 7 он попадает одновременно на оба синхронных детектора — 8 и 26.

Опорный сигнал, переданный по радиоканалу, принимается радиоприемником 18, имеющим фиксированную настройку (кварцованный гетеродин), детектируется и после усиления подается на квадратный переключатель 20, квадратурный фазовращатель 19 и синхронные часы 22. Поскольку от приемника требуется неискаженная передача фазы опорного сигнала, то его фазовая характеристика подбирается идентичной характеристике контрольного детектора наземной группы.

Чтобы иметь возможность измерять активную и реактивную компоненты сигнала при расположении полного вектора в любом квадранте (ось действительных системы отсчета совпадает с фазой опорного сигнала), в измерительную схему введен квадратный переключатель, с помощью которого фаза опорного напряжения может поворачиваться относительно оси действительных в пределах 360° , скачками через 90° . Прежде чем попасть на синхронный детектор канала измерения компонент, опорное напряжение в 21 подвергается двухстороннему ограничению. Применение ограничения опорного сигнала желательно, так как позволяет повысить избирательность детектора и исключить сползание нуля от изменения уровня опорного сигнала. Последний при полете на небольшой высоте может изменяться вдоль профиля в широких пределах.

Выпрямленное напряжение на выходе синхронного детектора определяется, как известно, зависимостью:

$$u = kU_c \cos \psi,$$

где U_c — амплитуда сигнала;

ψ — фазовый угол между напряжениями, подведенными к детектору.

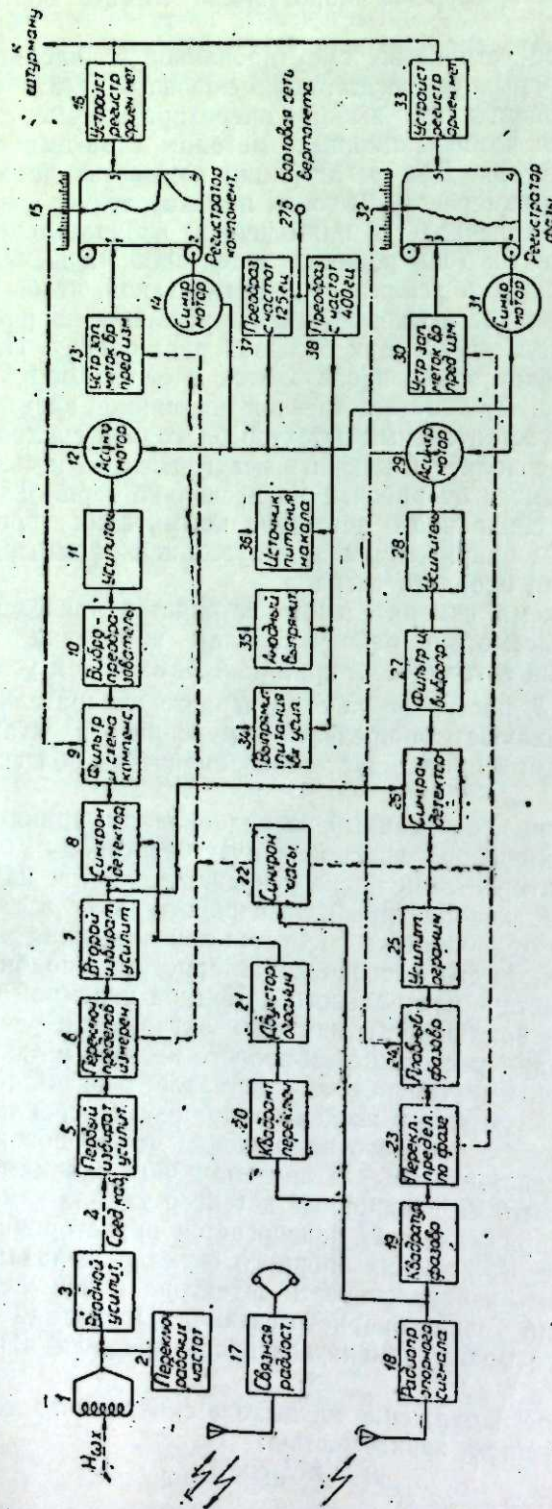


Рис. 2. Скелетная схема измерительной аппаратуры аэроэлектроразведки.

Нетрудно заметить, что, поворачивая фазу опорного сигнала с помощью квадрантного переключателя, можно сделать выходное напряжение синхронного детектора пропорциональным активной или реактивной компоненте. Действительно, в случае расположения полного вектора в первом квадранте при совмещении опорного сигнала с осью действительных ($\psi = \varphi$) схема обеспечивает измерение активной компоненты, а при совмещении ее с осью мнимых ($\psi = 90 + \varphi$) — реактивной компоненты.

Пропорциональное регистрируемой компоненте постоянное напряжение, выделенное фильтром 9, измеряется и записывается в принятой схеме электронным автоматическим компенсатором постоянного тока. Некомпенсированная часть напряжения преобразовывается электромеханическим преобразователем 10 в переменный ток частотой 125 гц и усиливается усилителем 11, на выходе которого включен реверсивный двигатель 12, получающий возбуждение от преобразователя 37. Реверсивный двигатель, производя отработку некомпенсированного сигнала, перемещает движок рехорда, включенного в компенсирующей цепи 9, и перо регистратора 15. Поскольку скорость изменения рабочего сигнала невелика, то описанная следящая система, автоматически поддерживая состояние компенсации, фактически непрерывно регистрирует активную или реактивную компоненту сигнала.

В фазовом канале к синхронному детектору 26 подводятся измеряемый сигнал и опорный, предварительно повернутый по фазе на 90° . В результате постоянное напряжение на выходе детектора определяется зависимостью:

$$u = kU_c \cos(90 - \varphi).$$

Если фазу опорного напряжения повернуть фазовращателем 24 на угол $+\varphi$, то напряжение на выходе синхронного детектора станет равным нулю. При этом величина измеряемого угла φ может быть отсчитана по фазовращателю.

В принятой схеме производится автоматическая обработка фазовращателя. Постоянное напряжение, полученное по выходе синхронного детектора 26, фильтруется и превращается в переменное электромеханическим преобразователем 27, усиливается усилителем 28 и поступает на управляющую обмотку реверсивного метода 29. Приходящее в движение мотор поворачивает фазорегулятор 24, одновременно перемещая перо и стрелку регистратора 32 до тех пор, пока напряжение на выходе синхронного детектора не станет равным нулю. При наличии измеряемого сигнала этому состоянию схемы отвечает поворот фазы опорного сигнала на угол φ .

Так же, как и в канале измерения компонент, для повышения избирательности и исключения погрешности от изменения уровня опорного сигнала последний ограничивается в 25.

Приключение пределов измерения в обоих каналах производится соответственными переключениями 6 и 23. Коэффициент перекрытия пределов по амплитуде принят равным примерно 3 (шкалы 5, 15 и т. д.). Основной предел канала составляет 40° . Переключателем пределов по фазе вводятся дополнительные углы по 30° . Благодаря такой системе изменения пределов погрешность измерений углов более 40° остается такой же, как и на основной шкале.

Номера пределов измерения фиксируются на лентах соответственных регистраторов с помощью устройств записи меток времени и пределов измерения — 13 и 30. Регистрация номеров пределов измерения производится автоматически через каждые 30 сек. Командные сигналы, включающие электромагниты, печатающие цифры пределов, поступают

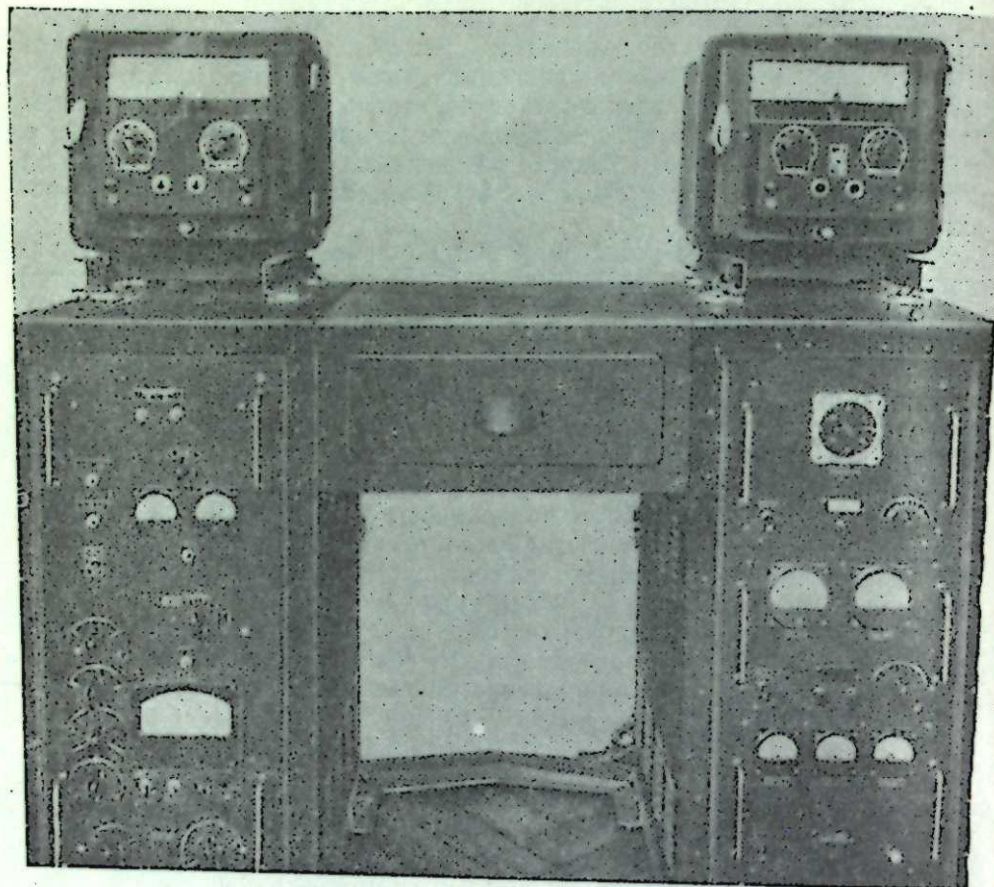


Рис. 3. Общий вид измерительной аппаратуры, устанавливаемой в вертолете.

от синхронных часов 22. На синхронные часы подается напряжение опорного сигнала установленной рабочей частоты и независимо от ее значения делится до частоты 40,5 гц. Это напряжение после соответственного усиления подается на мотор синхронных часов.

Помимо автоматической записи номеров пределов, система регистрации пределов позволяет оператору производить дополнительную фиксацию их вручную после каждого переключения шкалы. Кроме пределов измерения, на обеих лентах, в виде цифр от 0 до 99 регистрируются ориентирные метки. Управление системой записи ориентирных меток выведено на пульт штурмана.

Перемещение бумажных лент в обоих регистраторах производится синхронными моторами 14 и 31, получающими питание от источника напряжения с частотой 125 гц. Питание электронной схемы измерительного устройства производится от бортовой сети вертолета через преобразователь 38, дающий на выходе переменное напряжение 115 в с частотой 400 гц. Для питания анодных и накальных цепей входного усиления применен отдельный стабилизированный выпрямитель 34. Питание анодных цепей остальной схемы производится от стабилизированного выпрямителя 35. Накальные цепи, начиная со второго избирательного усилителя 7, питаются переменным напряжением.

Конструктивно измерительная аппаратура выполнена в виде стола (рис. 3), в тумбах которого размещены все элементы электронной схе-

мы и выпрямителей. На верхней крышке стола расположены регистраторы компонент и фазы. В качестве пишущих элементов в обоих регистраторах применены безотказно работающие на вертолете авторучки с закрытыми перьями. Связной радиостанцией подвижной группы служит УКВ-радиостанция 17 вертолета.

Введением отрицательных обратных связей, стабилизацией питающих напряжений, применением следящих систем в качестве регистрирующих устройств обеспечивается достаточная точность основных измерений электронных схем каналов компонент и фазы при работе на пределах измерения, начиная с 50 мкв: погрешности не превышают $\pm 2,5\%$ и 1° . На более чувствительных пределах измерения погрешности возрастают соответственно до $\pm 4\%$ и 2° .

Работа генераторной и измерительной аппаратуры проверена в реальных условиях геофизической съемки. Испытания показали, что весь комплекс аппаратуры аэроэлектроразведки по схеме бесконечно длинного кабеля работает достаточно устойчиво и пригоден для проведения методических работ. Обработка результатов записей компонент и фазового угла показывает, что на частотах 244 и 976 гц* среднее арифметическое расхождение между несколькими измерениями вдоль одних и тех же профилей составляет в средней части их $\pm 1,5\%$ и 1° и увеличивается к концу профилей до $\pm 4\%$ и $1,5^\circ$. На диаграммах записи компонент и фазы наблюдаются отдельные выбросы до $+10\%$ и $\pm 4^\circ$. Наличие выбросов, вызываемых, по-видимому, помехами импульсного характера, приводит к целесообразности вторичного облета профилей, на которых отмечены аномальные эффекты. При этом случайные факторы легко исключаются.

Порог чувствительности измерительной аппаратуры на частотах 244 и 976 гц составил соответственно $1,5 \cdot 10^{-9}$ э и $2,5 \cdot 10^{-10}$ э. При этой чувствительности и уровне помех, имевших место в условиях измерений на вертолете, длина рабочего профиля в обе стороны от кабеля при длине питающей линии 11,5 км, токе 4 а и сопротивлении вмещающих пород порядка 500—100 ом м составила на частоте 244 гц 25 км и на частоте 976 гц — 30 км. Нерабочая часть профиля с большими градиентами сигнала достигает ≈ 1 км в каждую сторону от кабеля.

Для выяснения возможностей аппаратуры по выявлению зон повышенной проводимости были проведены опытно-методические работы в районе залегания графитизированных гнейсов. При сопротивлении вмещающих пород порядка 500—1000 ом м, графитизированных гнейсов около 0,1—1 ом м и при удельном сопротивлении покрывающих наносов (мощностью 10—30 м) 30—50 ом м с помощью аэроэлектроразведки были отмечены все зоны повышенной проводимости, установленные ранее при электроразведочных работах на постоянном токе. Ширина этих зон в районе проведения работ составляла несколько сот метров. Зарегистрированные аэроэлектроразведкой аномалии особенно четко проявлялись на диаграмме фазы и достигали $15-20^\circ$.

Аномалии регистрировались при съемке поля на высотах 35, 100 и 200 м. С увеличением высоты интенсивность проявления аномалии несколько слабеет, а аномальная зона становится более расплывчатой по профилю. Однако максимум ее остается достаточно четко выраженным.

Скорость полетов вдоль профиля в опытно-методических работах в основном выдерживалась равной 60 км/час. При увеличении скорости

* Ввиду повышенного уровня помех на частоте 81 гц и ограниченного объема летных работ измерения на частотах 81 и 3904 гц во время полигонных испытаний 1958 г. почти не проводились.

до 120 км/час детальность записи при постоянной времени регистраторов ≈ 2 сек. падает и интенсивность проявления аномалии уменьшается тем в большей степени, чем меньше ширина аномалии.

В опытно-методических работах была установлена частотная зависимость регистрируемых аномалий. С ростом частоты кривые компонент и фазы быстрее выходят на асимптоты. Интенсивность проявления аномалий и их ширина уменьшаются с возрастанием частоты.

На частоте 976 гц зарегистрирован ряд аномалий, не отмеченных на частоте 244 гц. По-видимому, эти аномалии вызваны повышенной проводимостью наносов.

Благодаря достаточной четкости выражения максимумов аномальных эффектов при обработке результатов аэроэлектроразведочной съемки всего планшета на геологическую карту могут быть нанесены не только зоны повышенной проводимости, но и электрические оси этих зон.

Примером рабочих записей фазы и компонент могут служить диаграммы (рис. 4, 5), на которых совмещены основные и повторные записи. Аномальные зоны отмечены на них фигурными скобками.

Анализ проведенных полевых работ показывает, что ввиду больших градиентов измерения амплитуды сигнала вдоль профиля диаграммы компонент обрабатывать труднее, чем фазовые. Если учесть к тому же, что аномалии более четко проявляются на записях фазы, то, по-видимому, следует считать основным измеряемым параметром фазу.

Дифференциация аномалий по частоте делает необходимым проведение съемки всех или части профилей на двух или трех рабочих частотах. Поскольку разработанная аппаратура не рассчитана на одновременную съемку на двух частотах, то при смене рабочей частоты приходится делать повторную съемку. Это удорожает работы и несколько снижает производительность труда при аэроэлектроразведке. В ближайшее время целесообразно продолжить разработку аэроэлектроразведочной аппаратуры с тем, чтобы решить вопросы одновременной двухчастотной съемки. В качестве регистрируемых параметров на каждой из частот, очевидно, можно будет принять только фазовые углы.

Разработанная к настоящему времени аппаратура для аэроэлектроразведки по схеме бесконечно длинного кабеля позволяет произвести съемку планшета 15×30 км даже с густой сетью профилей за несколько летних дней. Правда, при неблагоприятных условиях раскладка кабеля длиной 15 км может затянуться на 1—2 недели, но даже и в этом случае внедрение аэроэлектроразведки даст огромное увеличение производительности геофизических работ.

При постановке аэроэлектроразведочных работ целесообразно предусмотреть и наземную электроразведку с тем, чтобы сразу сделать точную «привязку» и детализацию аномалий, выявленных аэроэлектроразведкой.

Привлечение современных механизмов (вездеходы, путепрокладчики и т. п.) для ускорения прокладки кабеля или разработка техники его прокладки, а возможно, и подъема с вертолета в значительной степени устраняют имеющиеся еще затруднения в электроразведке по схеме бесконечно длинного кабеля. Нет сомнения, что быстрее освоение разработанной аппаратуры аэроэлектроразведки промышленностью и ее внедрение позволит решить важные задачи, стоящие перед отечественной геофизикой в ближайшем семилетии.

Институт автоматики и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
2/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

- I. H. Lundberg, Airborne Electrical Surveys for Regional Studies in Oil and Ore 1950.
О новых
осpecting

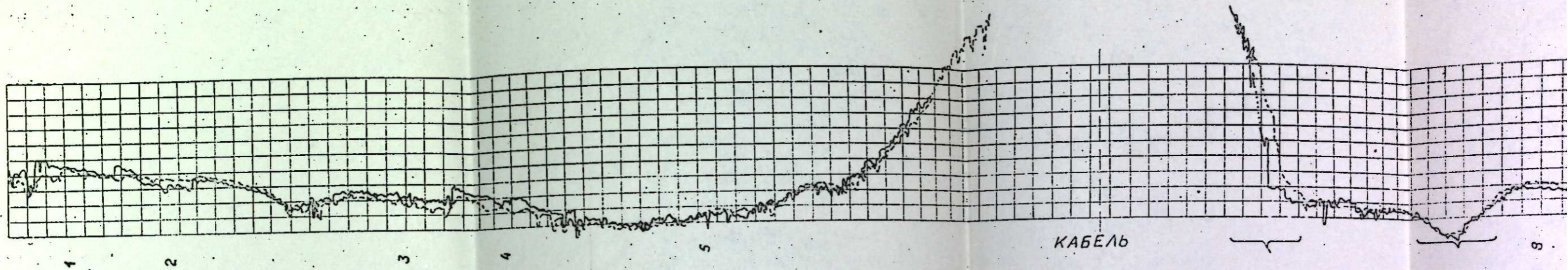


Рис. 4. Основная и повторная диаграммы записи фазы на участке Майдан—Вила (УССР) на частоте 976 гц при длине кабеля 11 км, токе 4 а и высоте полета 200 м. Цифрами отмечены ориентиры. Скобка

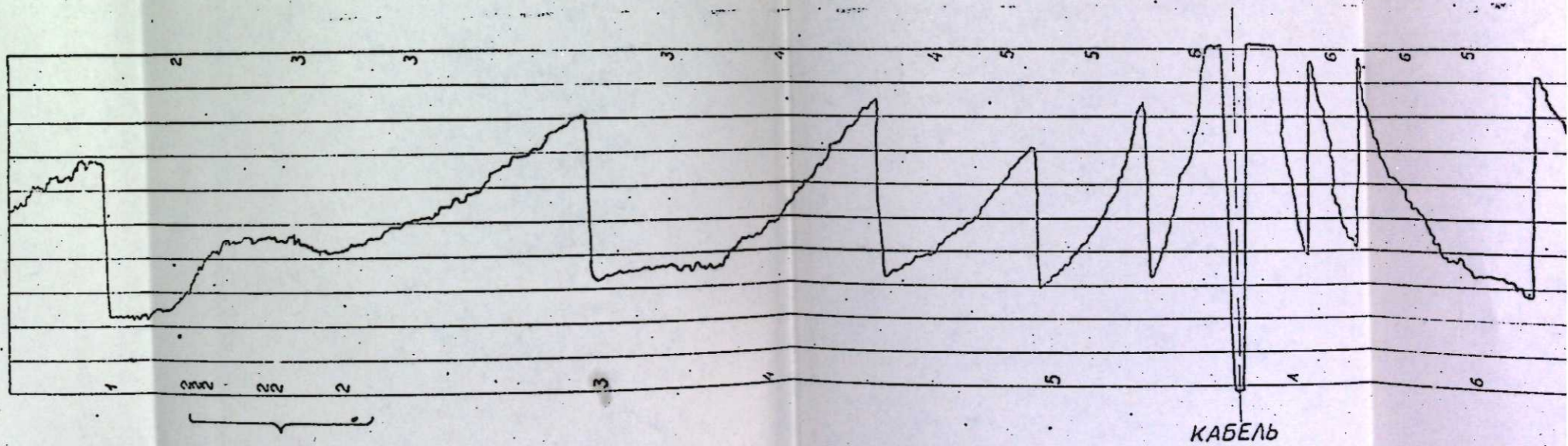
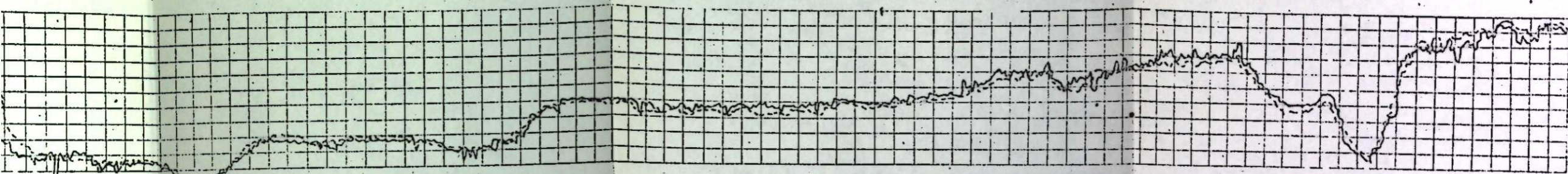
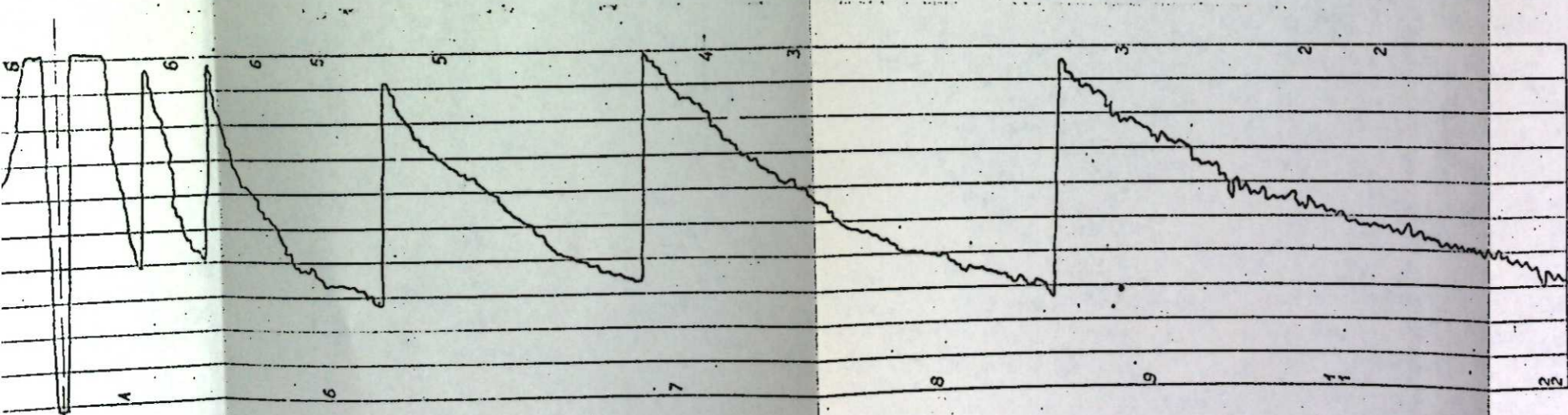


Рис. 5. Пример диаграммы записи активной составляющей поля на частоте 976 гц. Цифрами внизу обозначены ориентиры, в



200 м. Цифрами отмечены ориентиры. Скобками указаны 4 аномалии, совпадающие с аномалиями, выявленными на постоянном токе. Цена одного деления шкалы — 4°.



КАБЕЛЬ

Цифрами внизу обозначены ориентиры, вверху — пределы измерения. Скобкой отмечен аномальный эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Lundberg, Airborne Electrical Surveys for Regional Studies in Oil and Ore Prospecting. The Canadian Mining and Metallurgical Bull., Montreal, April, 1950.
2. Л. В. Артамонов, Г. С. Франтов, Н. М. Шувал-Сергеев, О новых методах электроразведки. Разведка и охрана недр, № 1, 1958.
3. G. Törngvist, Some Practical Results of Airborne Electromagnetic Prospecting in Sweden. Geophysical Prospecting, vol. 6, № 2, 1958.

Ю. П. СЫРОВ

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ КАСКАДА ГЭС С ВОДОХРАНИЛИЩАМИ ДЛИТЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Современное использование гидроэнергетических ресурсов привело к созданию ряда каскадов ГЭС на отдельных реках. На Волге создан каскад из пяти гидроэлектростанций, строительство шестой Сталинградской ГЭС находится в стадии завершения. Каскад из четырех гидроэлектростанций будет создан на Днестре; две гидроэлектростанции, Днепровская и Каховская, здесь уже работают, а две находятся в стадии строительства. Ряд каскадов намечено создать на крупнейших реках Западной и Восточной Сибири — Иртыше, Оби, Енисее, Ангаре. В ближайшее время, с вводом в эксплуатацию Братской и Бухтарминской ГЭС, будут созданы первые каскады в Сибири: Иркутская и Братская ГЭС — на Ангаре, Бухтарминская и Усть-Каменогорская — на Иртыше. Правильный выбор режимов работы каскада ГЭС в энергетической системе может иметь большое значение для экономии топлива на тепловых электростанциях энергосистемы.

Проблеме наиболее выгодного распределения нагрузки в энергетической системе, содержащей гидроэлектростанции, уделяется большое внимание. В основном эта проблема уже разрешена, однако имеется еще ряд вопросов, которые требуют дополнительных разработок, в частности, необходимо установить оптимальные режимы гидроэлектростанций с длительным регулированием, а также каскадов гидроэлектростанций. Отдельные работы по этим вопросам имеются [1—4], однако необходимы дальнейшие исследования для разработки и внедрения в практику эксплуатации методов наиболее выгодного распределения нагрузки в энергосистемах.

Задача определения наиболее выгодных режимов работы гидроэлектростанций с водохранилищами длительного регулирования в энергетической системе сводится к определению наиболее выгодных режимов сработки водохранилищ за период регулирования.

Известно, что ранняя сработка водохранилища ведет к значительным потерям энергии в результате использования расходов воды на пониженных напорах. Интенсивная сработка водохранилища перед весенним паводком также может привести к большим потерям энергии вследствие понижения напора из-за значительного повышения уровня воды в нижнем бьефе при больших турбинных расходах. По-видимому, имеется некоторый оптимальный режим сработки водохранилища, который дает минимум потерь энергии. Но при работе ГЭС в энергетической системе оптимальный режим сработки водохранилища может быть не наиболее выгодным для энергосистемы. Поэтому задача определения наиболее выгодного режима сработки водохранилища ГЭС ставится следующим образом: найти такой режим сработки водохранилища ГЭС, который бы соответствовал минимуму расхода топлива на тепловых

станциях энергосистемы. При рассмотрении этих задач предполагаются заданными:

- период регулирования;
- гидрограф бытовых расходов за период регулирования;
- объем сработки (глубина сработки) водохранилища.

При наличии каскада ГЭС условия задачи такие же, но только необходимо рассматривать режим водохранилищ каскада ГЭС в целом.

Отыскание таких оптимальных режимов работы ГЭС сводится к типичной вариационной задаче на определение экстремального значения (минимума) функции

$$D = \int_{t_1}^{t_2} B_i dt, \quad (1)$$

где t_1 и t_2 — начало и конец рассматриваемого периода регулирования стока водохранилищами ГЭС;

B — расход топлива тепловыми электростанциями в единицу времени.

Рассмотрим самую общую задачу — определение критерия наиболее выгодного режима работы каскада ГЭС в энергетической системе. В дальнейшем покажем, что всем другим задачам (определение наиболее выгодных режимов изолированно работающих одиночных ГЭС, каскада ГЭС, одиночных ГЭС в энергосистеме) соответствуют критерии, являющиеся частными случаями этого общего критерия.

В каскаде ГЭС режим работы нижележащих ГЭС зависит от режима работы вышележащих ГЭС по стоку. При наличии подпора в нижнем бьефе от нижележащих ГЭС режим сработки водохранилища последней также оказывает влияние через напор на работу вышерасположенной ГЭС. Поэтому режимы работы соседних ГЭС в замкнутом каскаде являются взаимосвязанными. Все это требует рассмотрения наиболее выгодного режима работы каскада ГЭС в целом.

Положим, что при работе каскада ГЭС в энергосистеме в определенный момент времени от него потребовалась такая отдача мощности в энергосистему, которая выше мощности, развиваемой каскадом на бытовом расходе. В этом случае, естественно, необходима сработка водохранилища для получения дополнительного расхода воды. Задача оптимального выбора режима сработки водохранилищ состоит в том, чтобы достичь требуемой мощности при возможно минимальных потерях энергии, которые происходят из-за потерь напора от сработки водохранилища, и изменении КПД агрегатов. Сработка водохранилищ должна начинаться с наиболее экономичных, т. е. с тех, которые при минимуме потерь энергии обеспечивают создание требуемых мощностей. Поэтому при соблюдении этих принципов нельзя представить такого случая, когда сработка вышележащего водохранилища идет на заполнение водохранилища нижележащей ГЭС. Это возможно только в том случае, если нарушены принципы первоначальной сработки наиболее экономичных водохранилищ. Поэтому на основании вышележащего можно считать, что при соблюдении экономичной последовательности сработки водохранилищ в каскаде сработанный объем транзитно проходит через все нижележащие ГЭС. Это условие учитывается при дальнейших рассуждениях.

Следует указать на неправильные предпосылки В. М. Горнштейна (см. [3]), при рассмотрении каскадов ГЭС, который, во-первых, ограничивается рассмотрением влияния режима работы ГЭС в каскаде на вышележащую и нижележащую ГЭС (правильно рассматривать влияние режима данной ГЭС на все нижележащие ГЭС), во-вторых, принимает,

что сработанный объем данного водохранилища ГЭС каскада идет на заполнение нижележащего водохранилища, что также неправильно, как указывалось выше. Поэтому и критерии наивыгоднейшего режима работы, полученные автором для каскада ГЭС, следует считать неточными.

В любой момент времени расход любой ГЭС каскада (кроме верхней) можно рассматривать как сумму расхода воды данной ГЭС в естественном состоянии и расходов воды от регулирования вышележащими водохранилищами:

$$Q_m = Q_{\delta m} + \Sigma Q_v,$$

где $Q_{\delta m}$ — расход воды m -й ГЭС в естественном состоянии в момент (при условии, что вышележащие ГЭС пропускают бытовой расход воды без регулирования);

ΣQ_v — расходы воды от сработки (наполнения) водохранилищ.

Пусть имеем K гидроэлектростанций в каскаде. Разобьем рассматриваемый период регулирования на n интервалов (T_1, T_2, \dots, T_n). При расчете по конечным интервалам времени условие оптимального режима каскада ГЭС выразится так:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_{n-\min}$$

где D_1, D_2, \dots, D_n — расходы топлива за интервалы времени T_1, T_2, \dots, T_n , на которые разбит период регулирования.

При этом необходимо соблюдать следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} F' &= V'_1 + V'_2 + V'_3 + \dots + V'_n - V' = 0 \\ F'' &= V''_1 + V''_2 + V''_3 + \dots + V''_n - V'' = 0 \\ &\dots \dots \dots \\ F^K &= V^K_1 + V^K_2 + V^K_3 + \dots + V^K_n - V^K = 0 \\ f_1 &= \mathcal{E}'_1 + \mathcal{E}'_1 + \mathcal{E}'_1 + \dots + \mathcal{E}'_n - \mathcal{E}_1 = 0 \\ f_2 &= \mathcal{E}'_2 + \mathcal{E}'_2 + \mathcal{E}'_2 + \dots + \mathcal{E}'_n - \mathcal{E}_2 = 0 \\ &\dots \dots \dots \\ f_n &= \mathcal{E}'_n + \mathcal{E}'_n + \mathcal{E}'_n + \dots + \mathcal{E}'_n - \mathcal{E}_n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где V', V'', \dots, V^K — объем сработки первого, второго и т. д. водохранилища за весь период регулирования;

$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$ — заданная выработка энергосистемы за интервалы времени $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$;

$\mathcal{E}'_1, \mathcal{E}'_2, \dots, \mathcal{E}'_n$ — выработка энергии тепловыми станциями энергосистемы за те же интервалы;

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}'_1, \mathcal{E}'_2, \dots, \mathcal{E}'_n \\ \mathcal{E}''_1, \mathcal{E}''_2, \dots, \mathcal{E}''_n \\ \dots \dots \dots \\ \mathcal{E}'_1, \mathcal{E}'_2, \dots, \mathcal{E}'_n \end{aligned} \right\} \text{— то же для первой, второй и т. д. ГЭС.}$$

Индексы сверху указывают, к какой ГЭС, считая сверху, относятся данные объемы сработки, выработки энергии и другие величины, а индексы внизу при тех же величинах, — к какому интервалу времени.

При решении этой вариационной задачи методом неопределенных множителей Лагранжа дополнительная функция будет иметь вид:

$$\Phi = D + \lambda_{F'} (F') + \lambda_{F''} (F'') + \dots + \lambda_{F^K} (F^K) + \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2 + \dots + \lambda_n f_n \quad (3)$$

где $\lambda_{F'}, \lambda_{F''}, \dots, \lambda_{F^K}, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — неизвестные пока коэффициенты.

При экстремальном значении этой функции частные производные по независимым переменным от нее должны быть равны нулю. Независимыми переменными являются расход топлива на тепловых станциях энергосистемы D_1, D_2, \dots, D_n и объемы сработки водохранилищ ГЭС $V'_1, V'_2, \dots, V'_n, V''_1, V''_2, \dots, V''_n, \dots, V^K_1, V^K_2, \dots, V^K_n$ за рассматриваемые интервалы времени.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial D_1} &= 1 + \lambda_1 \cdot \frac{\partial \mathcal{E}'_1}{\partial D_1} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial D_2} &= 1 + \lambda_2 \cdot \frac{\partial \mathcal{E}'_2}{\partial D_2} = 0; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial D_n} &= 1 + \lambda_n \cdot \frac{\partial \mathcal{E}'_n}{\partial D_n} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При определении частных производных по $V'_1, V'_2, \dots, V'_n, V''_1, V''_2, \dots, V''_n, \dots, V^K_1, V^K_2, \dots, V^K_n$ необходимо учитывать зависимость выработки нижележащих ГЭС от объема сработки вышележащих водохранилищ (через расход), а также выработки ГЭС в последующие интервалы от величины объема сработки ее водохранилища в данный интервал. При наличии подпора необходимо учитывать влияние объема сработки водохранилища нижележащей ГЭС на выработку энергии вышележащей ГЭС.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial V'_1} &= \lambda_{F'} + \lambda_1 \frac{\partial \mathcal{E}'_1}{\partial V'_1} + \sum_{i=2}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_1} + \lambda_1 \sum_{i=2}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_1} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V'_2} &= \lambda_{F'} + \lambda_2 \frac{\partial \mathcal{E}'_2}{\partial V'_2} + \sum_{i=3}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_2} + \lambda_2 \sum_{i=2}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_2} = 0; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V'_{n-1}} &= \lambda_{F'} + \lambda_{n-1} \frac{\partial \mathcal{E}'_{n-1}}{\partial V'_{n-1}} + \lambda_n \frac{\partial \mathcal{E}'_n}{\partial V'_{n-1}} + \lambda_{n-1} \sum_{i=2}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_{n-1}} = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V'_n} &= \lambda_{F'} + \lambda_n \frac{\partial \mathcal{E}'_n}{\partial V'_n} + \lambda_n \sum_{i=2}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}'_i}{\partial V'_n} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5')$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial V''_1} &= \lambda_{F''} + \lambda_1 \frac{\partial \mathcal{E}''_1}{\partial V''_1} + \sum_{i=2}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_1} + \lambda_1 \sum_{i=3}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_1} + \sum_{i=2}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_1} = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V''_2} &= \lambda_{F''} + \lambda_2 \frac{\partial \mathcal{E}''_2}{\partial V''_2} + \sum_{i=3}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_2} + \lambda_2 \sum_{i=3}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_2} + \sum_{i=3}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_2} = 0 \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V''_n} &= \lambda_{F''} + \lambda_n \frac{\partial \mathcal{E}''_n}{\partial V''_n} + \lambda_n \sum_{i=3}^{i=k} \frac{\partial \mathcal{E}''_i}{\partial V''_n} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5'')$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial V_1^K} &= \lambda_{FK} + \lambda_1 \frac{\partial \mathcal{E}_1^K}{\partial V_1^K} + \sum_{i=2}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^K}{\partial V_1^K} + \sum_{i=2}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^{K-1}}{\partial V_1^K} = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V_2^K} &= \lambda_{FK} + \lambda_2 \frac{\partial \mathcal{E}_2^K}{\partial V_2^K} + \sum_{i=3}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^K}{\partial V_2^K} + \sum_{i=3}^{i=n} \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^{K-1}}{\partial V_2^K} = 0 \\ &\dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial V_n^K} &= \lambda_{FK} + \lambda_n \frac{\partial \mathcal{E}_n^K}{\partial V_n^K} = 0 \end{aligned} \right\} (5^k)$$

В общем виде для b -й ГЭС и для m -го интервала времени производную от дополнительной функции Лагранжа по объему можно выразить так:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial V_m^b} = \lambda_{F^b} + \lambda_m \frac{\partial \mathcal{E}_m^b}{\partial V_m^b} + \sum_{m+1}^n \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^b}{\partial V_m^b} + \sum_m^n \lambda_i \frac{\partial \mathcal{E}_i^{b-1}}{\partial V_m^b} + \lambda_m \sum_{i=b}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_m^i}{\partial V_m^b} = 0.$$

Из уравнений (4) получаем:

$$\lambda_1 = -\frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1}; \quad \lambda_2 = -\frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2}; \quad \dots \quad \lambda_n = -\frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n}. \quad (6)$$

Из уравнений (5), отделяя λ_{F^b} , λ_{F^c} , ... λ_{FK} и подставляя значения λ_1 , λ_2 , ... λ_n из уравнений (6), получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_1^b}{\partial V_1^b} + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^b}{\partial V_1^b} + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1} \cdot \sum_{i=2}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_1^i}{\partial V_1^b} &= \frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2} \\ \frac{\partial \mathcal{E}_2^b}{\partial V_2^b} + \sum_{i=3}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^b}{\partial V_2^b} + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2} \sum_{i=2}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_2^i}{\partial V_2^b} &= \dots = \frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n} \\ \frac{\partial \mathcal{E}_n^b}{\partial V_n^b} + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n} \sum_{i=2}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_n^i}{\partial V_n^b} &= \lambda_{F^b} \end{aligned} \quad (7')$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_1^c}{\partial V_1^c} + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^c}{\partial V_1^c} + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1} \sum_{i=3}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_1^i}{\partial V_1^c} + \\ + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^c}{\partial V_1^c} = \frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_2^c}{\partial V_2^c} + \sum_{i=3}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^c}{\partial V_2^c} + \\ + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2} \sum_{i=3}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_2^i}{\partial V_2^c} + \sum_{i=3}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^c}{\partial V_2^c} = \frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_n^c}{\partial V_n^c} + \\ + \frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n} \sum_{i=3}^{i=K} \frac{\partial \mathcal{E}_n^i}{\partial V_n^c} = \lambda_{F^c} \end{aligned} \quad (7'')$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_1^T / \partial D_1} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_1^K}{\partial V_1^K} + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^K}{\partial V_1^K} + \sum_{i=2}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^{K-1}}{\partial V_1^K} = \\ = \frac{1}{\partial \mathcal{E}_2^T / \partial D_2} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_2^K}{\partial V_2^K} + \sum_{i=3}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^K}{\partial V_2^K} + \sum_{i=3}^{i=n} \frac{1}{\partial \mathcal{E}_i^T / \partial D_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_i^{K-1}}{\partial V_2^K} = \dots \\ \dots = \frac{1}{\partial \mathcal{E}_n^T / \partial D_n} \cdot \frac{\partial \mathcal{E}_n^K}{\partial V_n^K} = \lambda_{FK}. \end{aligned} \quad (7^k)$$

Величина $\partial \mathcal{E} / \partial V$ носит название относительного прироста выработки, характеризующего изменение выработки энергии ГЭС на единицу объема водохранилища.

Аналогично $\partial \mathcal{E} / \partial D$ характеризует изменение выработки энергии тепловых станций при изменении расхода топлива на единицу и носит название относительного прироста выработки тепловых станций.

Равенства (7) показывают, что при наиболее выгодном распределении нагрузок суммы отношений относительных приростов выработки ГЭС каскада и тепловых электростанций энергосистемы во все интервалы времени сработки водохранилищ для каждой ГЭС каскада должны быть равны. Это и есть критерий оптимального режима работы каскада ГЭС в энергетической системе.

Как видно из равенства (7), критерий наиболее выгодного режима работы каскада ГЭС в энергетической системе состоит из четырех составляющих, из которых первая характеризует данную ГЭС и энергетическую систему в рассматриваемый интервал времени; вторая — то же во все последующие интервалы времени; третья — нижележащие ГЭС каскада в рассматриваемый интервал и четвертая — вышележащую ГЭС в рассматриваемый и все последующие интервалы времени. Для верхней ГЭС, естественно, будет отсутствовать четвертый член, а для нижней — третий.

Нетрудно видеть, что рассматриваемый критерий наиболее выгодного распределения нагрузки в энергосистеме с участием ГЭС является наиболее общим: от него можно перейти к другим, являющимся частными случаями данного.

Действительно, если рассматривать каскад, работающий вне энергосистемы (изолированно), то достаточно принять $\partial \mathcal{E} / \partial D = \text{const}$ — и равенства (7) будут выражать критерий оптимального режима изолированной работы каскада ГЭС.

Если рассматривается одиночная ГЭС, то в равенствах (7) исчезают члены, характеризующие вышележащую и нижележащую ГЭС, и полученные критерии будут выражать оптимальный режим работы одиночной ГЭС в энергосистеме. Если еще принять в последнем случае и $\partial \mathcal{E} / \partial D = \text{const}$, то получим критерий оптимальной работы изолированной ГЭС.

Обозначим для простоты записи

$$\frac{1}{\partial \mathcal{E} / \partial D} = \frac{\partial D}{\partial \mathcal{E}} = \frac{dB \cdot T}{dN \cdot T'} = \frac{dB}{dN} = b, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_i}{\partial V_i} = \frac{dN_i T_i}{dQ_i T_i} = \frac{1}{dQ_i / dN_i} = \frac{1}{q_i}, \quad (9)$$

где b и q — относительные приросты расходов топлива и воды соответственно на ТЭС и ГЭС — показатели, широко применяемые при наивыгоднейшем распределении нагрузок.

Величину относительного прироста выработки вида $\frac{\partial \mathcal{E}'_m}{\partial V_n^i}$ при $m > n$ удобно представить в виде

$$\frac{\partial \mathcal{E}'_m}{\partial V_n^i} = \frac{dNT_m}{W_m dH} = \frac{T_m}{W_m} \cdot \frac{dN}{dH}, \quad (10)$$

где W — площадь водохранилища,

а величину относительного прироста вида $\frac{\partial \mathcal{E}'_{m-1}}{\partial V_n^i}$ при $m > n$ — в виде

$$\frac{\partial \mathcal{E}'_{m-1}}{\partial V_n^i} = \frac{T_m}{W_m} \cdot \frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH}, \quad (11)$$

где dh — изменение уровня нижнего бьефа вышележащей ГЭС от сработки водохранилища нижележащей ГЭС на величину dH . Отношением dh/dH учитывается напорная связь между соседними ГЭС. При отсутствии подпора это отношение равно нулю, при значительном подпоре оно приближается к единице. Следует заметить, что при расчете по конечным интервалам времени T_1, T_2, \dots, T_n суммирование величин $b \frac{1}{W} \cdot \frac{dN}{dH}$ и $b \frac{T}{W} \cdot \frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH}$ производится не со следующего интервала за рассматриваемым, а с середины рассматриваемого интервала, поскольку и в рассматриваемый интервал времени будет происходить сработка водохранилища, средняя глубина которой равна половине полной глубины сработки водохранилища за этот интервал. Тогда с учетом (8—11) равенства (7) можно записать так:

$$\frac{b_1}{q_1} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \left| \frac{T_i}{W_i} \cdot \frac{dN}{dH} + b_i \sum_{i=2}^{i=K} \frac{1}{q_i} \right| = \frac{b_2}{q_2} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \left| \frac{T_i}{W_i} \cdot \frac{dN}{dH} + b_2 \cdot \sum_{i=2}^{i=K} \frac{1}{q_i} \right| = \dots = \frac{b_n}{q_n} + \frac{b_n}{2} \cdot \frac{T_n}{W_n} \cdot \left(\frac{dN}{dH} \right)' + b_n \sum_{i=2}^{i=K} \frac{1}{q_i} = \lambda_F, \quad (12')$$

$$\begin{aligned} & \frac{b_1}{q_1} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i} \left(\frac{dN}{dH} \right)'' + b_1 \sum_{i=3}^{i=K} \frac{1}{q_i} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i} \left(\frac{dN}{dH} \cdot \frac{dh}{dH} \right)' = \\ & = \frac{b_2}{q_2} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i} \left(\frac{dN}{dH} \right)'' + b_2 \sum_{i=3}^{i=K} \frac{1}{q_i} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i} \left(\frac{dN}{dH} \cdot \frac{dh}{dH} \right)' = \dots \\ & \dots = \frac{b_n}{q_n} + \frac{b_n}{2} \cdot \frac{T_n}{W_n} \left(\frac{dN}{dH} \right)'' + b_n \sum_{i=3}^{i=K} \frac{1}{q_i} + \frac{b_n}{2} \cdot \frac{T_n}{W_n} \left(\frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH} \right)' = \lambda_F, \quad (12'') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{b_1}{q_1^K} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i^K} \left(\frac{dN}{dH} \right)^K + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i^K} \left(\frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH} \right)^{K-1} = \\ & = \frac{b_2}{q_2^K} + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i^K} \left(\frac{dN}{dH} \right)^K + \sum_{i=1/2}^{i=n} b_i \frac{T_i}{W_i^K} \left(\frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH} \right)^{K-1} = \\ & = \frac{b_n}{q_n^K} + \frac{b_n}{2} \cdot \frac{T_n}{W_n^K} \left(\frac{dN}{dH} \right)^K + \frac{b_n}{2} \cdot \frac{T_n}{W_n^K} \left(\frac{dN}{dh} \cdot \frac{dh}{dH} \right)^{K-1} = \lambda_{FK}. \quad (12'') \end{aligned}$$

Практически расчет наивыгоднейшего режима работы каскада ГЭС в энергетической системе можно вести табличным способом подбором. Задавая режимом сработки водохранилищ, определяют значения критериев оптимального режима для каждого интервала и для каждой ГЭС и корректировкой объемов сработки водохранилищ в отдельные интервалы добиваются их равенства за период сработки водохранилищ.

Для расчетов можно построить графики $\frac{dN}{dH} = f(Q, H)$, $b = f(N_T)$, $q = f(N_T, Z_{n.6})$, $\left(\frac{dh}{dH} \right)^i = f(Z_{n.6}^{i+1}, Q)$, с помощью которых значительно ускоряется расчет.

За расчетный интервал удобно брать месяц; последний месяц перед наполнением водохранилища можно разбивать и на более мелкие интервалы.

Критерии оптимального режима работы каскада ГЭС в энергетической системе определены без учета потерь энергии в сетях. При учете последних изменится лишь содержание величин b , которые должны определяться с учетом потерь в сетях [3, 5].

$$b_* = \frac{b}{1 - \frac{\partial N_{пот}}{\partial N_T}}$$

$$q_* = \frac{q}{1 - \frac{\partial N_{пот}}{\partial N_T}}$$

Предлагаемая методика расчета режима работы каскада ГЭС в энергетической системе может быть применена для диспетчерского регулирования в энергосистеме. По предполагаемому графику нагрузки энергосистемы и гидрографу расходов воды рассматриваемых ГЭС, а также предполагаемому составу генерирующих мощностей в энергосистеме производят расчет режимов работы каскада ГЭС на весь период межени. По мере изменения данных по прогнозу стока и режиму нагрузки энергосистемы расчеты уточняют и, если это необходимо, вносят коррективы в режимы работы водохранилищ.

Выводы

1. Рассмотрены вопросы определения оптимальных режимов работы каскада ГЭС. Определены критерии наивыгоднейших режимов работы каскада ГЭС в энергетической системе.

2. Показано, что критерий оптимального режима для каскада ГЭС, работающего в энергосистеме, является наиболее общим; от него можно перейти ко всем другим критериям для частных случаев: для каскада ГЭС, работающего изолированно, для одиночной ГЭС, работающей изолированно и в энергетической системе.

3. Проведенные расчеты показывают правильность предлагаемых нами критериев к определению наиболее выгодных режимов работы каскада ГЭС в энергетической системе.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
1/II 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Л. Золотарев, Гидроэлектростанция в каскаде и энергосистеме. Тр. МЭИ, вып. XXX, М., 1958.
2. Б. И. Никитин, Работа каскада гидростанций в энергосистеме совместно с теплостанциями. Гидротехническое строительство, № 6, 1957.
3. Руководящие указания по выбору оптимальных режимов совместно работающих гидравлических и тепловых электростанций. Госэнергоиздат, М., 1956.
4. Ю. П. Сыров, Наиболее выгодный режим работы каскада ГЭС в энергетической системе. ДАН БССР, № 3, 1959.
5. И. М. Маркович, Режимы энергетических систем, Госэнергоиздат, М., 1957.

А. А. ИЛЬИН

РАСЧЕТ ЗАТУХАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ ПО КОНТАКТНОЙ СЕТИ ШАХТ

В настоящее время все более широкое распространение находит электровозная высокочастотная связь, работающая по контактной сети (КС) шахты. Ведутся исследования (Сибирское отделение АН СССР, НИГРИ, Харьковский горный институт и др.) по созданию систем телемеханики: частотной шахтной СЦБ, дистанционного управления электровозами и др., каналами связи которых являются силовые сети и прежде всего КС шахты. В связи с этим возникает острая необходимость в исследовании этих цепей с целью разработки методики их расчета и рекомендаций по использованию и эксплуатации.

Контактная сеть шахты, как линия высокочастотной связи и телемеханики, в отличие от обычных проводных линий связи и высокочастотной связи по ЛЭП характеризуется рядом особенностей [1]. К таким особенностям можно отнести влияние окружающих линию горных пород и геометрических размеров выработки на высокочастотные параметры линии; наличие низкоомных и непрерывно перемещающихся нагрузок; наличие характерного для КС режима холостого хода линии, обуславливаемого ее разомкнутыми концами; разнообразие конфигураций схем КС, имеющих большое количество ответвлений, причем длина некоторых из них может быть соизмеримой с длиной волны или ее частью. Однако в результате анализа множества схем КС шахты по протяженности КС можно разделить на два основных типа: имеющие большую протяженность КС с небольшим количеством ответвлений (преимущественно угольные шахты) и имеющие малую протяженность КС, но с большим количеством ответвлений (обычно рудные шахты).

Для расчета шахт первого типа с успехом могут быть использованы основы расчета «групповых цепей» и высокочастотных каналов по ЛЭП [1, 2]. Методика этого расчета основана на оценке затухания отдельно каждого элемента КС, сумма которых и составляет общее затухание линии. Эта методика является практически достаточно точной и удобной, поэтому может быть рекомендована для расчета угольных шахт. Для рудных шахт, протяженность КС которых в основном направлении обычно не превышает 1—2 км при наличии большого количества ответвлений, методика расчета по частям неприемлема, так как может привести к большим погрешностям. В этих случаях схему КС необходимо рассматривать, наоборот, в совокупности ее элементов. Значительный интерес, с этой точки зрения, представляют методы приближенного расчета, применяющиеся в линиях проводного радиовещания [3].

Прежде чем приступить непосредственно к расчету, рассмотрим характер распространения электромагнитной энергии высокой частоты по контактной сети, обуславливаемый перечисленными выше ее особенностями.

Характерным состоянием для контактной сети является режим холостого хода (рис. 1), при котором, как известно, напряжение и ток вдоль линий распределяются по закону:

$$U_x = \frac{U_0}{\text{Ch } \gamma l_n} \cdot \text{Ch } \gamma (l_n - l_x), \quad (1)$$

$$I_x = \frac{I_0}{\text{Sh } \gamma l_n} \cdot \text{Sh } \gamma (l_n - l_x). \quad (2)$$

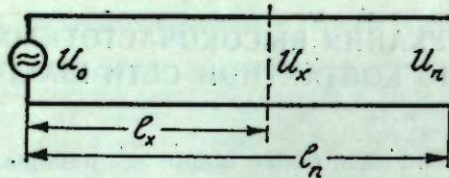


Рис. 1. Схема нормального режима работы линии.

Из выражений (1) и (2) видно, что распределение тока и напряжения в линии носит волновой характер, при этом имеются точки, где их значения максимальны или минимальны (рис. 2). Количество максимумов и минимумов зависит от длины линии, ее параметров и частоты тока.



Рис. 2. График распределения напряжения в контактной сети.

Анализируя с этой точки зрения электрические параметры контактной сети шахт, ее размеры и рабочий диапазон частот 40 ÷ 150 кГц, нетрудно убедиться, что в большинстве случаев в схемах рудных шахт имеются 1—2, а угольных — более десятка максимумов и минимумов. Таким образом, в линии наблюдаются явления образования стоячих волн в результате сложения или вычитания (в зависимости от фазового соотношения) падающих и отраженных волн в каждой точке линии. Вследствие потерь в линии амплитуда напряжения с удалением от начала линии уменьшается, соответственно уменьшаются и значения максимумов и минимумов (см. рис. 2).

При определенном значении потерь кривая распределения напряжения может стать линейной. В этом случае стоячие волны в линии в результате большого затухания отраженных волн будут отсутствовать.

Возникновение стоячих волн в линии — явление нежелательное, так как приводит к неустойчивости в работе каналов, к увеличению затухания линии и колебанию в широких пределах ее входного сопротивления. Поэтому оптимальным является режим работы, при котором стоячие волны в линии отсутствуют или слабо выражены.

Из уравнения (1) можно получить равенство [3] для нахождения условия существования экстремумов функции $|U_x|$:

$$\frac{\beta}{\alpha} \text{Sh } 2\beta l_x = \sin 2\alpha l_x,$$

из анализа которого определяется условие отсутствия отраженных волн в ненагруженной линии:

$$\beta/\alpha \geq 1. \quad (3)$$

В нашем случае в зависимости от значения параметров линии ненагруженные участки контактной сети имеют отношение β/α , как правило, меньше единицы. Таким образом, в контактной сети при отсутствии соответствующих дополнительных потерь за счет ответвлений или электровозов непременно возникают стоячие волны.

Интенсивность стоячих волн характеризуется коэффициентом стоячих волн — $K_{св}$, величина которого определяется выражением

$$K_{св} = \frac{U_r}{U_n}, \quad (4)$$

где U_n — напряжение в точке, отстоящей от конца линии на расстоянии четверти длины волны;

U_r — напряжение на конце линии.

При $K_{св} = 0$ будет наибольшая колебательность, что имеет место в линиях без потерь; при $K_{св} = 1$ стоячие волны отсутствуют.

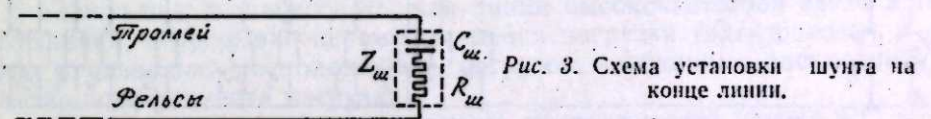


Рис. 3. Схема установки шунта на конце линии.

Необходимо отметить также, что в рудных шахтах больше проявляется первый и редко второй минимум напряжения в результате действия дополнительных потерь линии, которые ближе к стволу шахты, как правило, возрастают.

Из теории электросвязи известно, что для получения безволнового режима работы линии, кроме увеличения затухания, можно принять метод корректирования нагрузки линии путем установки на ее конце согласовывающего сопротивления — шунта. В качестве такого шунта может быть использована последовательно соединенная цепочка RC (рис. 3).

Соответственно величине и характеру волнового сопротивления контактной сети [1] основным назначением конденсатора должна являться разделительная функция.

При этом величина составляющих $Z_{ш}$ может быть определена из соотношения

$$\frac{X_{ш}}{R_{ш}} = \frac{1}{20}$$

Принимая $Z_c = 200 \text{ ом}$ и $f_{cp} = 80 \text{ кгц}$, получим для однопутной контактной сети: $R_{ш} = 180 \text{ ом}$ и $C_{ш} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ ф}$.

Таким образом, в расчете должны быть учтены все перечисленные выше особенности контактной сети с учетом необходимости ее обработки как линии высокочастотной связи и телемеханики.

Ниже излагаются основы методики приближенного расчета малопротяженных, но сильно разветвленных схем КС.

Основные положения методики приближенного расчета

Учитывая то, что протяженность ответвлений КС рудных шахт и расстояния между ними, как правило, не превышают 0,2—0,3 км, в расчетах для рабочего диапазона частот может быть принято значительное упрощение путем замены гиперболических функций через один или два первых члена их ряда.

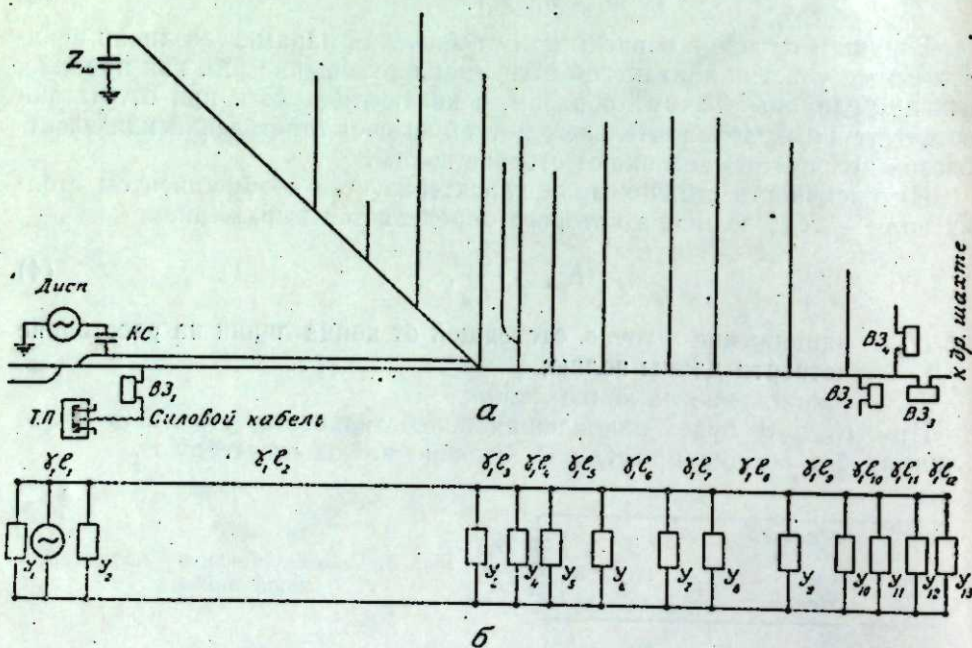


Рис. 4. Контактная сеть шахты «Победа» Криворожского железорудного бассейна. а — общая схема, б — расчетная схема контактной сети.

В качестве примера рассмотрим КС шахты «Победа» Криворожского железорудного бассейна (рис. 4).

Расчет затухания в данном случае заключается в следующем: контактная сеть в ее основном направлении может быть представлена в виде цепочечного соединения четырехполюсников (рис. 4, б).

Нетрудно убедиться, что отношение напряжений в начале и конце такой линии (учитывая принятые упрощения) будет выражаться быстро сходящимся рядом с числом членов $m + 1$ [3]:

$$\frac{U_0}{U_k} = 1 + Z_n \sum_{q=0}^m Y_q l_q + Z_n^2 \sum_{q=0}^{m-1} Y_q l_q \sum_{k=q}^m Y_k (l_k - l_q) + \dots + Z_n^m Y_1 l_1 Y_2 (l_2 - l_1) \dots Y_m (l_m - l_{m-1}). \quad (5)$$

Число учитываемых членов ряда зависит от требуемой точности расчета; практически обычно оказывается достаточным учитывать три, а чаще всего только два первых члена. Таким образом, затухание КС приближенно можно определить по формуле:

$$b = \ln |1 + Z_n \sum_{q=0}^m Y_q l_q|, \quad (6)$$

где Z_n — полное километрическое сопротивление линии КС,
 l_q — расстояние от расчетной точки линии до соответственной нагрузки линии,
 m — число нагрузок КС,
 Y_q — утечка через q -нагрузку линии.

Получающаяся при этом приближении погрешность практически незначительна. Уравнение (6) в расчете линий проводного радиовещания получило название формулы моментов проводимости, по аналогии выражения $\sum_{q=0}^m Y_q l_q$ со статическим моментом первого порядка $M_c = \sum_{q=0}^m Y_q l_q$ (произведение силы P на длину плеча OA относительно некоторой точки O). Таким образом, вводится понятие момента проводимости электрической цепи:

$$M_y = \sum_{q=0}^m Y_q l_q$$

и соответственно доказывается теорема о сумме моментов [3], которая гласит, что момент проводимости линии длиной l_k равен сумме моментов проводимости отдельных ее участков.

Расчет контактной сети по таким приближенным формулам после их соответственного преобразования достаточно удобен и может быть использован в оценке различных условий работы линии, в анализе параметров, различных нагрузок и т. п.

Коэффициент распределения нагрузки линии

Учитывая специфику КС как линии высокочастотной связи и телемеханики, непрерывно перемещающейся нагрузки (электровозы) и других произвольно расположенных нагрузок, необходимо рассмотреть понятие коэффициента нагрузки.

Правильный учет распределения проводимостей утечки КС в значительной степени снижает погрешность расчета.

Для определения понятия «коэффициент распределения нагрузки линии» полезно вернуться к аналогии рассматриваемого случая со статическим моментом. Выражая M_c данной линии через момент проводимости эквивалентной линии, имеющей проводимость, сосредоточенную на ее конце, можно записать:

$$\sum_{q=0}^m Y_q l_q = \nu l_k Y = l_k Y, \quad (7)$$

откуда $\nu = \frac{l_0}{l_k}$. (8)

Соответственно можно определить коэффициент распределения нагрузки, исходя из представления эквивалентной линии в виде линии длиной l_k с включенной на ее конце эквивалентной проводимостью:

$$\sum_{q=0}^m Y_q l_q = \nu l_k Y = l_k Y, \quad (9)$$

$$\nu = \frac{Y_0}{Y} \quad (10)$$

Как видно, коэффициент ν указывает на основную тенденцию в распределении нагрузки. Коэффициент распределения уменьшается при концентрации нагрузки к началу линии и, наоборот, увеличивается с ее перемещением к концу линии.

Рассматривая различные случаи распределения нагрузки КС, приведем наиболее характерные из них с соответствующими значениями ν :

1. Если нагрузка распределена равномерно вдоль линии (частным случаем такого примера является чистая линия), то $\nu = \frac{1}{2}$;
2. Если нагрузка включена через равные отрезки линии, но к концу ее плотность возрастает по линейному закону, то $\nu = \frac{2}{3}$;
3. Если при таком же включении плотность возрастает, наоборот, к началу линии, то $\nu = \frac{1}{3}$;
4. Если нагрузка сосредоточена в конце или начале линии, то ν равна 1 или 0.

В соответствии с введенным понятием коэффициента распределения нагрузки линии выражение для затухания КС (6) может быть записано в виде:

$$b = \ln |1 + \nu l_k Y Z_{\lambda}| \quad (11)$$

Составляющие общей проводимости линии

В формуле (11) νY есть полная проводимость КС, которая определяет как собственную активную и емкостную проводимость линии, так и дополнительную проводимость за счет электропроводов; ответвлений и т. п. с учетом их распределения в линии.

Для удобства расчетов сгруппируем имеющиеся проводимости утечки на активные проводимости, реактивные и проводимость собственно линии.

Активная проводимость утечки КС. К этой группе относятся утечки через обработанные высокочастотными заградителями (ВЗ) электропроводы и силовые кабельные фидеры, а также обработанные шунтами длинные ответвления и $Z_{ш}$, установленного на конце линии. Определяющей из них будем считать утечку через электропроводы $Y_{эл} = \frac{n_{эл}}{Z_{вх,эл}}$. В расчетах

входные сопротивления обработанного электропровода и кабельного фидера можно принять чисто активными и равными сопротивлениями. Кроме того, для удобства расчетов примем, что утечка через шунт и обработанные ими длинные ответвления равны $Y_{ш} = \frac{1}{Z_c}$ и может быть выражена через $Y_{эл}$:

$$Y_{ш} = \eta Y_{эл} \quad (12)$$

откуда

$$\eta = \frac{Y_{ш}}{Y_{эл}} \quad (13)$$

В результате активная проводимость утечки, выраженная через проводимость электропровода, будет равна

$$Y_a = \frac{n}{Z_{вх,эл}} = n Y_{эл} \quad (14)$$

Здесь:

$$n = n_{эл} + n_{ш} \eta \quad (15)$$

где $n_{эл}$ — количество обработанных ВЗ электропроводов и кабельных силовых фидеров на рассчитываемом участке КС;

$n_{ш}$ — количество обработанных шунтами ответвлений, включая $Z_{ш}$, установленного на конце линии.

При наличии на линии какой-либо другой активной проводимости ее можно учесть аналогичным образом — путем выражения через величину утечки электропровода.

Коэффициент распределения активной нагрузки линии определяется из формулы (9):

$$\nu_a = \frac{\sum_{q=1}^m Y_q l_q}{l_k \sum_{q=1}^m Y_q}$$

После подстановки сюда значения (14) и несложных преобразований получим:

$$\nu_a = \frac{\sum_{q=1}^m l_q}{n l_k} \quad (16)$$

где l_q — расстояние от начала рассчитываемого участка линии до соответственного электропровода, кабельного силового фидера и т. д.

l_k — суммарная длина рассчитываемого участка КС.

Реактивная (емкостная) проводимость утечки КС. К этой группе относятся утечки через короткие ответвления и кабельные вставки. Как те, так и другие с достаточной точностью могут считаться чисто емкостными нагрузками линии.

Действительно, входное сопротивление любого ненагруженного ответвления КС (рис. 5) рассчитывается по известной формуле:

$$Z_{вх} = \frac{Z_c}{\text{th } \gamma l_{отв}} \quad (17)$$

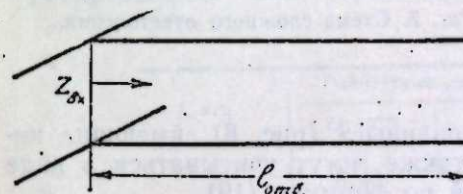


Рис. 5. Схема ответвления контактной сети.

Учитывая, что длина КС рудных шахт в подавляющем большинстве случаев мала ($l_{отв} = 0,03 \div 0,3$ км), эту формулу можно значительно упростить, так как в данном случае с достаточной точностью можно принять, что $\text{th } \gamma l_{отв} \approx \gamma l_{отв}$, а отсюда:

$$Z_{вх} \approx \frac{Z_c}{\gamma l_{отв}} = \frac{1}{Y_{л} l_{отв}} \quad (18)$$

Из определений электрических параметров КС видно, что $G \ll \omega C$, поэтому, проведя несложные преобразования, окончательно получим:

$$Z_{вх} = \frac{1}{\omega C l_{отв}} \quad (19)$$

На рис. 6 показаны кривые входных сопротивлений различной длины ответвлений, рассчитанных по полной (17) и упрощенной (19) форму-

лам. Как видим, расчет по упрощенной формуле можно производить для всех коротких ответвлений, длина которых $l_{отв} \leq \frac{1}{8} \lambda$.

Аналогичным образом по формуле (19) рассчитываются сложные ответвления, которые, в свою очередь, являются разветвленными. В та-

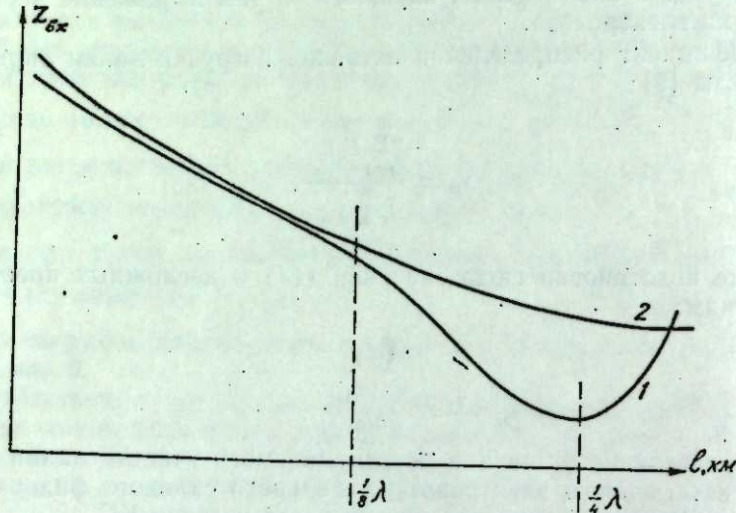


Рис. 6. График входного сопротивления ответвления линии. 1 — рассчитанного по полной формуле (17), 2 — рассчитанного по упрощенной формуле (19).

ких случаях длиной ответвлений с достаточной точностью можно считать сумму длин составляющих ее участков (рис. 7):

$$l_{отв} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5. \quad (20)$$

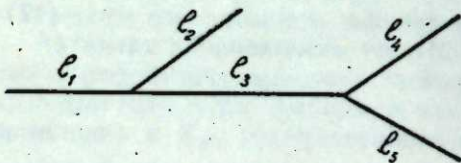


Рис. 7. Схема сложного ответвления.

Ответвления замкнутые, «закольцованные» (рис. 8), имеющие наибольшую протяженность, в расчетах также могут учитываться в виде сосредоточенной емкости, подсчитанной по формуле (19).

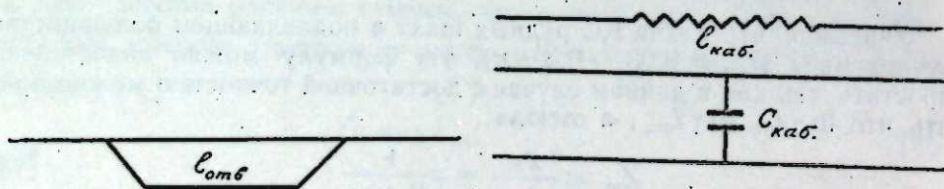


Рис. 8. Схема закольцованного ответвления. Рис. 9. Кабельная вставка и ее эквивалентная схема.

При наличии в линии КС кабельной вставки (рис. 9) утечку, вносимую ею, также можно считать чисто емкостной, так как длина вставки определяется расстоянием между горизонтами шахты и не превышает 50—100 м. Величина этой емкости

$$C = C_k l_k,$$

где l_k — длина кабельной вставки.

C_k — километрическая емкость кабеля.

Таким образом, проводимость коротких ответвлений будет являться чисто емкостной:

$$Y_c = \omega C \sum_{q=1}^m l'_q. \quad (22)$$

Коэффициент распределения данной нагрузки по аналогии с предыдущим коэффициентом ν_a может быть получен в виде:

$$\nu_c = \frac{\sum_{q=1}^m l'_q l''_q}{l_k \sum_{q=1}^m l'_q}, \quad (23)$$

где l'_q — длина ответвлений КС.

l''_q — длина участка линии от начала расчетного участка КС до соответственного ответвления или кабельной вставки,

ω — круговая частота.

Для удобства расчетов емкость, вносимая кабельной вставкой, может быть учтена в виде некоторого ответвления КС, длина которого определится по формуле:

$$l'_q = \frac{C_{каб}}{C} l_{каб}. \quad (24)$$

Проводимость утечки собственно линии КС. Определяется ее первичными параметрами для однопутной или двухпутной контактной сети и равна сумме активной и емкостной проводимостей линии:

$$Y_a = G + j\omega C.$$

Частотная характеристика утечки приведена в табл. 1. Коэффициент распределения этой утечки ν_a , как уже отмечалось выше, равен 0,5.

Таблица 1

f, кГц	Однопутный участок КС		Двухпутный участок КС	
	G · 10 ⁻³	ω C · 10 ⁻³	G · 10 ⁻³	ω C · 10 ⁻³
20	0,48	2,38	0,85	3,60
30	0,53	3,52	0,98	6,00
40	0,54	4,56	1,0	8,23
50	0,545	5,55	1,10	10,75
60	0,55	6,65	1,20	12,80
70	0,56	8,0	1,25	14,65
80	0,79	8,5	1,31	16,10
90	0,83	9,75	1,56	18,9
100	0,86	10,55	1,69	21,6
120	0,86	12,0	2,10	23,2

Общая проводимость утечки КС

Общая проводимость утечки контактной сети определится из перечисленных ее составляющих: активной и реактивной проводимостей утечек, вносимых нагрузками КС, и собственно утечки линии с учетом их распределения:

$$\nu Y = \nu_a Y_a + \nu_c Y_c + \nu_l Y_l.$$

Расчет затухания

В результате подстановки полученных составляющих общей проводимости утечки КС в уравнение (11) в итоге получим:

$$b = \ln | 1 + Z_{\text{н}} I_{\text{к}} (\nu_{\text{а}} n Y_{\text{а}} + \nu_{\text{с}} \omega C \sum_{q=1}^m l'_q + 0,5 I_{\text{к}}) |. \quad (25)$$

Учитывая, что для контактной сети можно принять $G \ll \omega C$, полученную формулу затухания высокочастотного канала (25) можно окончательно записать в более удобной для расчетов форме:

$$b = \ln | 1 + Z_{\text{н}} I_{\text{к}} [\nu_{\text{а}} n Y_{\text{а}} + \omega C (\nu_{\text{с}} \sum_{q=1}^m l'_q + 0,5 I_{\text{к}})] |. \quad (26)$$

В практических расчетах к результатам, полученным по данной формуле, необходимо прибавить дополнительное затухание ($b_{\text{доп}}$) вследствие потерь, вносимых устройствами присоединения. Величину этого затухания обычно принимают не более 0,25 неп.

Чтобы показать точность расчета затухания высокочастотного канала, по формуле (26) приведем полученные результаты расчета для КС, схема которой приведена на рис. 4. Затухание, рассчитанное до наиболее удаленной точки КС (рис. 4, б), оказалось равным 2,08 неп. Измеренное затухание до этой точки составляет величину $\approx 2,0$ неп. Таким образом, совпадение результатов расчета и измерения достаточно точное.

При проведении расчета было принято, что на рассматриваемом горизонте шахты находится в работе 10 электровозов, оборудованных аппаратурой типа «Сибирь—УЭЧМ» и равномерно расположенных вдоль основной выработки КС. Согласовывающее сопротивление на конце линии не предусматривалось. В данном случае отсутствие стоячих волн определяется наличием на конце линии нагрузки в виде трех заградителей и большого количества ответвлений КС (см. рис. 4).

Сравнительные расчеты на примере ряда других шахт (им. Орджоникидзе, им. Кирова, «Новая») также показали достаточно точное совпадение расчетных экспериментальных данных.

Результаты расчета подтвердились и при проверке их на модели контактной сети. При этом в большинстве случаев измерения и расчет проводились, для исключения условий образования стоячих волн, при замкнутом конце линии на $Z_{\text{н}}$.

Институт автоматизации и электрометрии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
19/III 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ильин, Приближенный анализ контактной сети шахты как линии высокочастотной связи. Тр. ИГД АН СССР, вып. 1, Углетехиздат, М., 1958.
2. Расчет высокочастотных каналов по линиям электропередачи. Госэнергоиздат, М., 1957.
3. Б. Я. Герценштейн, Н. А. Савина, Основы теории и расчет линий проводного вещания. Связьиздат, М., 1956.

Ю. Т. БОРЩЕВСКИЙ

О ПОСТРОЕНИИ ПРОФИЛЯ КРУГОВОЙ РЕШЕТКИ ПО ЗАДАННОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЙ

Метод интегральных уравнений является наиболее распространенным при расчете круговых решеток. Недостаток его тот, что им нельзя решить обратную задачу теории решеток, т. е. задачу о построении профиля решетки по заданному распределению скоростей (или давлений).

Методы, дающие возможность решения обратной задачи для круговых решеток, как и в случае прямых решеток, основаны либо на конформном преобразовании [1], либо на принципе наложения невозмущенного потока на систему распределенных по скелету профиля вихресточников и вихресточков [2].

В настоящей работе ставится задача, основываясь на параметрическом методе расчета [3] и работе Г. С. Самойловича [4], дать практический способ построения профиля вращающейся плоской круговой решетки по заданному распределению давлений.

По конструктивным особенностям наиболее близкими к плоским решеткам являются рабочие колеса землесосов.

Особенностью конструкции колес землесосов, помимо небольшого числа цилиндрических лопастей (обычно число их $m = 4$), является постоянная ширина последних (при измерении их в направлении, перпендикулярном направлению движения потока в колесе). Кроме того, обычно лопасти имеют незначительную, по сравнению с радиально-осевыми турбинами, кривизну в меридиональной плоскости. При осреднении потока на входе после развертки лопастей на радиальную плоскость такое колесо можно рассматривать как плоское (рис. 1). Ограничиваясь рассмотрением колес этого типа, ниже будем называть решеткой спрямленное колесо землесоса с цилиндрическими лопастями, причем цифровые значения некоторых величин приведем для числа лопастей $m = 4$.

При решении задачи, как и в работе [3], будем исходить из следующего:

а) плоская круговая решетка может быть получена преобразованием прямой решетки с помощью преобразующей функции

$$W = \exp \frac{2\pi}{mt} Z, \quad (1)$$

где $Z = x + iy$, $W = u + iv$ — соответственно плоскость прямой и круговой решеток;

t — шаг прямой решетки;

б) в свою очередь, прямая решетка Z может быть получена преобразованием решетки, образованной одним рядом кругов единичного радиуса в плоскости $\xi = e + i\eta$, расположенных друг от друга на расстоянии t вдоль мнимой оси.

Считаем заранее известными требуемые геометрические параметры искомого, спрямленного на радиальную плоскость круговой решетки:

$C = \frac{r_1}{r_2}$ — отношение внутреннего к внешнему радиусу решетки;

β_1 и β_2 — соответственно угол между касательными к средней линии профиля и касательными к окружностям r_1 и r_2 .

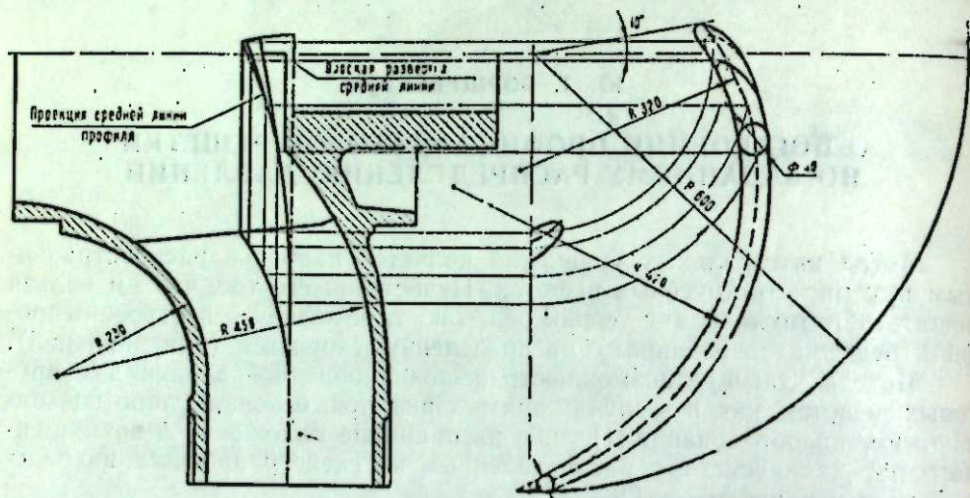


Рис. 1. Рабочее колесо землесоса чехословацкого производства. На левой проекции пунктиром показана развертка среднего сечения лопасти, а на правой — контур спрямленного среднего сечения.

Задача об улучшении обтекания с целью повышения кавитационных качеств заключается в отыскании формы профиля, имеющего заданное распределение скоростей. Необходимо учитывать, однако, что не всякому произвольному распределению скоростей может соответствовать приемлемая форма профиля. Поэтому характер распределения скоростей (давлений) следует задавать, ориентируясь на скорости (давления), предварительно рассчитанные для круговой решетки W_1 , составленной из бесконечно тонких отрезков логарифмических спиралей.

Решетка W_1 должна создавать такую же циркуляцию $\Gamma_{реш}$, как и искомая решетка W из телесных профилей, т. е. решетки W_1 и W должны быть эквивалентны друг другу.

Эквивалентную решетку W_1 из тонких спиральных отрезков можно найти с помощью перечисленных заданных величин C , β_1 и β_2 .

Если для искомой решетки различие между значениями углов β_1 и β_2 не превышает $5 \div 6^\circ$, что выполняется для землесосных колес, то обычный практический профиль конечной толщины с достаточной степенью точности можно заменить эквивалентной спиралью, пересекающей радиусы из центра под углом $\gamma = 0,5(\pi - \beta_1 - \beta_2)$. При этом геометрический параметр C будет равен $C_1 = \frac{1}{K} C$, где K — коэффициент, который при $\beta_1 \geq \beta_2$ можно принять равным $0,97 \div 0,98$; при $\beta_1 < \beta_2$ он равен $0,94 \div 0,97$.

По аналогии с решеткой из толстых профилей решетка W_1 из тонких спиральных отрезков может быть получена преобразованием прямой решетки из пластин, густота которой равна

$$\tau = \frac{l}{t} = \frac{m \ln C_1}{2\pi \cos \gamma}, \quad (2)$$

где l — длина пластины.

Рассчитав обтекание решетки из спиралей W_1 одним из известных методов [5, 3], зададим требуемое распределение давлений, основываясь на распределении давлений по спиральному бесконечно тонкому профилю. При этом деформируем последний в профиль конечной толщины, обеспечивающий требуемые давления.

При деформации спирального профиля необходимо учитывать следующие обстоятельства:

а) средняя линия профиля конечной толщины всегда короче исходного спирального отрезка;

б) спиральный отрезок должен быть эквивалентным (создающим одинаковую циркуляцию $\Gamma_{проф}$) профилю конечной толщины. Поэтому, если профилю придается дополнительная погибь, по сравнению с исходной спиралью (что неизбежно при $\beta_1 \neq \beta_2$), то эту погибь нужно давать так, чтобы первоначальная спираль, совмещенная с острой кромкой профиля на выходе потока из решетки, пересекала среднюю линию профиля при безразмерном радиусе

$$r = \exp \ln \sqrt{C}; \quad (3)$$

в) касательная скорость, являясь производной от потенциала скорости по дуге контура профиля, характеризует быстроту изменения потенциала на данном участке дуги контура, т. е.

$$\varphi(s_a) - \varphi(s_b) = - \int_a^b v_s ds. \quad (4)$$

Но в соответственных точках и исходной спирали и профиля конечной толщины потенциалы должны быть равны. Поэтому при деформации исходной спирали в предполагаемый профиль дуговые участки контура, где касательные скорости необходимо снизить, должны подвергаться «растяжению», что следует из уравнения (4). Наоборот, участки контура, где скорости могут быть повышены, должны подвергнуться «сжатию»;

г) решетки, составленные из профилей, средняя линия которых имеет форму отрезка логарифмической спирали, благодаря постоянной конусности межлопастного канала дают меньшие потери при движении реальной жидкости [6];

д) чрезмерное утолщение входной кромки профиля увеличивает коэффициент загромождения потока K_1 . При $K_1 > 1,2$ в реальных условиях кавитационные качества колес снижаются из-за потерь на сужение потока при входе в колесо [6].

После того как построен предполагаемый профиль и задано требуемое распределение давлений (или относительных скоростей), находим касательные скорости жидкости на профиле:

$$v_w = \sqrt{\frac{2P}{\rho} - r_l^2 \omega^2} - r_l \omega \sin \gamma_l, \quad (5)$$

где P — заданное давление на профиле;

ρ — массовая плотность жидкости;

ω — угловая скорость вращения решетки;

r_l — радиус вращения рассматриваемой точки на профиле;

γ_l — угол между касательной к профилю в рассматриваемой точке и радиусом r_l из центра решетки.

Далее с помощью уравнений

$$\underline{x} = \frac{m}{2\pi} \ln r_l, \quad \underline{y} = \frac{m}{2\pi} \Omega,$$

где $\underline{x} = \frac{x}{l}$ и $\underline{y} = \frac{y}{l}$ — относительные координаты профиля,

преобразуем предполагаемый профиль W на плоскость Z . Говоря лишь о модуле, преобразуем на плоскость Z и скорость v_w :

$$|v_z| = |v_w \frac{dW}{dZ}| = \frac{2\pi}{mt} r_l |v_w|. \quad (7)$$

Таким образом, задачу о построении профиля круговой решетки мы свели к обычной задаче построения профиля прямой решетки.

В дальнейшем для построения профиля круговой решетки по заданному распределению скоростей должна быть известна густота $q = \frac{2}{t}$ решетки кругов ζ , на которую отображаются искомая решетка W и вспомогательная решетка W_1 . Густота q может быть определена после нахождения величин γ и τ с помощью соответственного графика, приведенного в работе [7].

Обозначим комплексный потенциал потока в плоскости решетки кругов на контуре основного круга ζ

$$F(\theta) = \varphi(\theta) + i\psi(\theta),$$

а на контуре искомого профиля Z

$$F(s) = \varphi(s) + i\psi(s),$$

где s — дуговая координата профиля.

Для соответственных точек контуров круга ζ и профиля Z

$$\varphi(\theta) = \varphi(s).$$

Поэтому интегрированием

$$\begin{aligned} \varphi(\theta) &= \int_0^{\theta} v_n(\theta) d\theta \\ \varphi(s) &= \int_0^{s(Z)} v_z ds(Z) \end{aligned} \quad (8)$$

мы установим в первом приближении соответствие между точками на круге ζ и на профиле Z . Это соответствие является приближенным потому, что оно устанавливается лишь на основании вещественной части комплексного потенциала, без учета мнимой части, определяющей контур. Контур должен быть замкнут, причём мнимая часть должна иметь постоянное значение. Для определения контура необходимо найти граничное значение мнимой части.

Входящая в первое уравнение (8) скорость $v_n(\theta)$ на круге должна соответствовать заданному режиму обтекания круговой решетки, т. е. заданному соотношению между угловой скоростью вращения решетки ω и расходом через решетку Q . Метод ее определения указан в работе [3].

После установления соответствия между точками на круге и на контуре граничное значение мнимой части можно найти аналитически. Этот метод изложен в работе М. И. Жуковского [7].

Выявим возможность определения функции, отображающей решетку кругов на профили Z , т. е. функции $Z = Z(\zeta)$, графическим методом.

В работе Г. С. Самойловича [4] показано, что в случае преобразования решетки кругов на решетку профилей преобразующая функция представляется в виде ряда Лорана. При этом координаты искомого профиля определяются выражениями:

$$x = \frac{q}{2} \cos \theta + \sum_{n=1}^{\infty} (a_{-n} + a_n) \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} (b_{-n} - b_n) \sin n\theta + a_0, \quad (9)$$

$$y = \frac{q}{2} \sin \theta + \sum_{n=1}^{\infty} (b_{-n} + b_n) \cos n\theta - \sum_{n=1}^{\infty} (a_{-n} - a_n) \sin n\theta + b_0,$$

где

$$a_{-n} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (x \cos n\theta - y \sin n\theta) d\theta, \quad (10)$$

$$b_{-n} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (x \sin n\theta + y \cos n\theta) d\theta,$$

$$a_n = \sum_k \frac{(-1)^{n+1} B_k \pi^{2k} q^{2k}}{2k(2k-n-1)! n!} a_{-(2k-n)}, \quad (11)$$

$$b_n = \sum_k \frac{(-1)^{n+1} B_k \pi^{2k} q^{2k}}{2k(2k-n-1)! n!} b_{-(2k-n)};$$

B_k — числа Бернулли.

Суммирование в (11) ведется от $k = \frac{n+1}{2}$ в случае нечетных n и от $k = \frac{n+2}{2}$ для четных n .

Для нахождения коэффициентов a_{-n} , a_n , b_{-n} и b_n после решения (9) относительно $d = a_{-n} + a_n$ и $e = b_{-n} - b_n$ имеем четыре системы линейных уравнений, которые решаются методом последовательных приближений. Число уравнений, входящих в системы, зависит от густоты q и колеблется от 4 до 7 [7].

С помощью рядов (9) мы в плоскости Z можем получить профили различного класса, из которых предельными можно считать пластину и круг.

Если решетка кругов отображается на решетку пластины, то в суммах правой части уравнений (9) остаются коэффициенты только с нечетными знаками n . Следовательно, коэффициенты с четными знаками n определяют форму средней линии, распределение толщины и распределение «деформации растяжения и сжатия» контура профиля.

В результате мы приходим к простому сложению различных преобразующих функций, указанному Л. А. Симоновым [8], т. е. можно предположить, что преобразующая функция решетки кругов на решетку профилей может быть представлена выражением

$$Z = B_1 Z_1(\zeta) + B_2 Z_2(\zeta) + B_3 Z_3(\zeta), \quad (12)$$

где B_1 , B_2 и B_3 — постоянные коэффициенты, определяющие соотношение складываемых преобразующих функций.

Иначе говоря, выражение (12) можно рассматривать как результат линейного сложения между собой в различных количественных соотношениях составляющих профилей: круга, пластины и некоторого дефор-

мирующего профиля. Тогда уравнения (9) могут быть представлены в виде выражений:

$$\underline{x} = B_1 \frac{q}{2} \cos \theta + B_2 \varphi(\theta) \cos \gamma + B_3 \left[\sum_{n=2}^{\infty} (a_{-n} + a_n) \cos n \theta + \sum_{n=2}^{\infty} (b_{-n} - b_n) \sin n \theta \right], \quad (13)$$

$$\underline{y} = B_1 \frac{q}{2} \sin \theta + B_2 \varphi(\theta) \sin \gamma + B_3 \left[\sum_{n=2}^{\infty} (b_{-n} + b_n) \cos n \theta - \sum_{n=2}^{\infty} (a_{-n} - a_n) \sin n \theta \right],$$

(n = 2, 4, 6, 8...)

где $\varphi(\theta)$ — значение потенциала скорости на круге при бесциркулярном обтекании решетки кругов потоком, направленным под углом γ по отношению к вещественной оси и равным единице. Отсюда найдем:

$$\frac{dx}{d\theta} = -B_1 \frac{q}{2} \sin \theta - \frac{B_2}{t} v(\theta) \cos \gamma + B_3 \sum_{n=2}^{\infty} n (b_{-n} - b_n) \cos n \theta - B_3 \sum_{n=2}^{\infty} n (a_{-n} + a_n) \sin n \theta; \quad (14)$$

$$\frac{dy}{d\theta} = B_1 \frac{q}{2} \cos \theta + \frac{B_2}{t} v(\theta) \sin \gamma - B_3 \sum_{n=2}^{\infty} n (b_{-n} + b_n) \sin n \theta - B_3 \sum_{n=2}^{\infty} n (a_{-n} - a_n) \cos n \theta,$$

где $v(\theta)$ — скорость бесциркуляционного обтекания. Значение угла γ_t , входящего в формулу (5), после нахождения производных выразится соотношением

$$\gamma_t = \arctg \left(\frac{dx}{d\theta} \frac{dy}{d\theta} t^2 \right). \quad (15)$$

Между коэффициентами B_1 и B_2 существует зависимость $B_1 = 1 - B_2$.

а коэффициент B_3 определяется в процессе построения профиля. Как показывает численное исследование, для построения профилей, которые соответствовали бы практически применяемым при постройке землесосов, в правых суммах равенств (13) следует оставить всего четыре коэффициента: a_{-2} , a_2 , b_{-2} и b_2 .

На рис. 2 показана серия гидравлически выгодных профилей четырехлопастного колеса, полученная преобразованием прямой решетки кругов ζ густотой $q = 0,4$ при $\gamma = 60^\circ$.

Из графиков рис. 2 видно влияние коэффициентов преобразования на форму профиля:

- толщина профиля зависит от значения коэффициента B_2 ;
- от коэффициентов a_{-2} и a_2 зависит в основном перераспределение толщины по длине профиля, причем средняя линия профиля почти совпадает с начальным отрезком логарифмической спирали.

Дадим оценку границ изменения коэффициентов с $n = 2$, при которых не получаются нереальные самопересекающиеся профили.

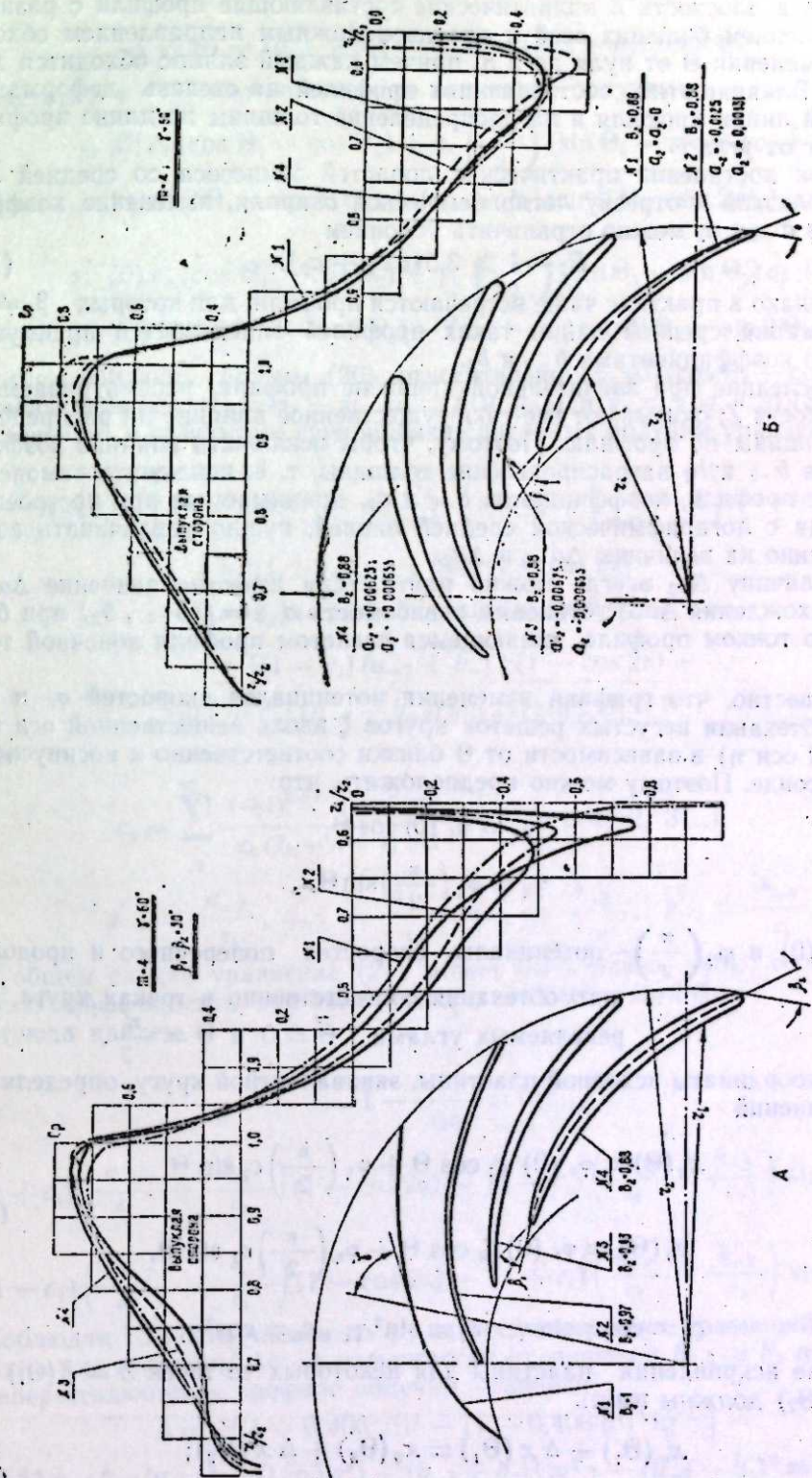


Рис. 2. Влияние параметров преобразования на форму профиля и характер распределения коэффициента давления C_p . (Последний рассчитан для режима: число оборотов — 300 в 1 мин., $Q = 6,9$ ед.³/сек.)

Нетрудно заметить, что с помощью коэффициентов с $n=2$ выражаются в плоскости Z эллиптические составляющие профили с разным направлением больших осей и противоположным направлением обхода при изменении θ от нуля до 2π , причем каждый эллипс обходится два раза. Влияние этих составляющих профилей на степень деформации средней линии профиля и на распределение толщины по длине профиля зависит от угла γ .

При построении практических лопастей землесоса со средней линией, близкой к отрезку логарифмической спирали, изменение коэффициентов a_{-2} и a_2 можно ограничить условием

$$B_2 - 1 \geq 3,5(a_{-2} + a_2). \quad (16)$$

Однако в практике чаще встречаются профили, для которых $\beta_1 \neq \beta_2$. Деформация средней линии таких профилей определяется преимущественно коэффициентами b_{-2} и b_2 .

Последние при значительной кривизне профиля, рассматриваемого в плоскости Z , оказывают все-таки существенное влияние на распределение толщины по профилю. Поэтому, чтобы исключить влияние коэффициентов b_{-2} и b_2 на распределение толщины, т. е. исключить самопересечение профиля, коэффициенты a_{-2} и a_2 , принимаемые при построении профиля с логарифмической средней линией, нужно увеличивать соответственно на величины Δa_{-2} и Δa_2 .

Величину Δa_2 всегда можно найти, если известно значение Δa_{-2} . Для нахождения Δa_{-2} установим зависимость $a_{-2} = f(b_{-2}, b_2)$ при бесконечно тонком профиле, являющемся скелетом профиля конечной толщины.

Известно, что графики изменения потенциалов скоростей φ_x и φ_y (при обтекании негустых решеток кругов ζ вдоль вещественной оси ε и мнимой оси η) в зависимости от θ близки соответственно к косинусоиду и синусоиду. Поэтому можно предположить, что:

$$\varphi_x = \varphi_x(0) \cos \theta,$$

$$\varphi_y = \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin \theta,$$

где $\varphi_x(0)$ и $\varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right)$ — потенциалы скоростей поперечного и продольного обтекания соответственно в точках круга, определяемых углами $\theta = 0$ и $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Тогда координаты исходной пластины, эквивалентной кругу, определяются из уравнений

$$x_0(\theta) = \varphi_x(0) c_1 \cos \theta + \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) c_2 \sin \theta, \quad (17)$$

$$y_0(\theta) = \varphi_x(0) c_3 \cos \theta + \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) c_1 \sin \theta,$$

где

$$c_1 = \cos \gamma \sin \gamma; \quad c_2 = \sin^2 \gamma; \quad c_3 = \cos^2 \gamma.$$

В случае искривления пластины для некоторых ее точек $Z = Z(\theta_1)$ и $Z = Z(\theta_2)$ должны иметь

$$\begin{aligned} x_0(\theta_1) + \Delta x(\theta_1) &= x_0(\theta_2) + \Delta x(\theta_2); \\ y_0(\theta_1) + \Delta y(\theta_1) &= y_0(\theta_2) + \Delta y(\theta_2), \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\Delta x(\theta) = (a_{-2} + a_2) \cos 2\theta + (b_{-2} - b_2) \sin 2\theta, \quad (19)$$

$$\Delta y(\theta) = (b_{-2} + b_2) \cos 2\theta - (a_{-2} - a_2) \sin 2\theta.$$

Подставив в (18) соответственные величины, получим:

$$\begin{aligned} \varphi_x(0) c_1 (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) + \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) c_2 + \\ + (a_{-2} + a_2) (\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2) + (b_{-2} - b_2) (\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2) = 0; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \varphi_x(0) c_3 (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) + \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) c_2 + \\ + (b_{-2} + b_2) (\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2) - (a_{-2} - a_2) (\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2) = 0. \end{aligned}$$

После решения системы (20) относительно $\varphi_x(0) (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$ и замены величин $\theta_2 = \theta_1 + \alpha$, $a_{-2} = f(q, a_{-2})$ и $b_{-2} = \psi(q, b_{-2})$ (см. (11) уравнения) в результате группировки слагаемых получим уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{c_2}{c_1} \varphi_y\left(\frac{\pi}{2}\right) \left[(1 - \cos \alpha) \left(1 - \frac{c_1^2}{c_1 c_3}\right) \sin \theta_1 + \left(\frac{c_1^2}{c_2 c_3} - 1\right) \sin \alpha \cos \theta_1 \right] + \\ + [(1 + c_4) (a_{-2} - b_{-2}) (1 - \cos 2\alpha) - \\ - (1 - c_4) (a_{-2} + b_{-2}) \sin 2\alpha] \cos 2\theta_1 + \\ + [(1 - c_4) (a_{-2} + b_{-2}) (1 - \cos 2\alpha) + \\ + (1 + c_4) (a_{-2} - b_{-2}) \sin 2\alpha] \sin 2\theta_1 = 0, \end{aligned} \quad (21)$$

где

$$c_4 = \sum_2^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} B_k \pi^{2k} q^{2k}}{2k(2k-n-1)! n!}; \quad (n=1, 2, 3 \dots),$$

$$a_{-2} = \frac{a_{-2}}{c_1}, \quad a_{-2}^* = \frac{a_{-2}}{c_3}, \quad b_{-2} = \frac{b_{-2}}{c_3}, \quad b_{-2}^* = \frac{b_{-2}}{c_1}.$$

В общем случае уравнение (21) может быть равно нулю, если равны нулю коэффициенты при $\cos \theta_1$, $\sin \theta_1$, $\cos 2\theta_1$ и $\sin 2\theta_1$. Отсюда найдем.

$$1 - \frac{c_1^2}{c_2 c_3} = 0;$$

$$(1 + c_4) \left(\frac{a_{-2}}{c_1} + \frac{b_{-2}}{c_3}\right) (1 - \cos 2\alpha) - (1 - c_4) \left(\frac{a_{-2}}{c_3} + \frac{b_{-2}}{c_1}\right) \sin 2\alpha = 0 \quad (22)$$

$$(1 - c_4) \left(\frac{a_{-2}}{c_3} + \frac{b_{-2}}{c_1}\right) (1 - \cos 2\alpha) + (1 + c_4) \left(\frac{a_{-2}}{c_1} - \frac{b_{-2}}{c_3}\right) \sin 2\alpha = 0$$

Соблюдая точность членов до q^8 , из последних двух уравнений для нахождения величины Δa_{-2} в зависимости от значений b_{-2} и b_2 при самопересекающемся профиле получим уравнение:

$$\begin{aligned} \Delta a_{-2}^2 [(1 + 0,406 q^4)^2 - (1 - 0,406 q^4)^2 \operatorname{tg}^2 \gamma] - \\ - 4\Delta a_{-2} b_{-2} \operatorname{tg} \gamma (1 + 0,265 q^8) + (b_{-2} + b_2)^2 \operatorname{tg}^2 \gamma - (b_{-2} - b_2)^2 = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Как видно из последнего уравнения, коэффициенты a_{-2} и a_2 имеют два значения, которые соответствуют двум различным направлениям изгиба тонкой пластины.

О степени искривления пластины, рассматриваемой приближенно как дуга круга, измеренная центральным углом α_n , можно судить по выражению:

$$\alpha_n = \arctg \frac{4 \sqrt{\Delta y^2(\theta_0) + \Delta x^2(\theta_0)}}{\varphi(\theta_0)} \cos \left(\arctg \frac{\Delta y(\theta_0)}{\Delta x(\theta_0)} - \gamma \right), \quad (24)$$

где $\Delta y(\theta_0)$ и $\Delta x(\theta_0)$ — величины, определяемые по уравнениям (19) при $\theta = \theta_0$;

θ_0 — координатный угол в плоскости ζ , определяющий точку круга, соответствующую концу исходной пластины Z ;

$\varphi(\theta_0)$ — значение потенциала скорости в точке $\zeta = e^{i\theta_0}$.

Из уравнения (24) следует, что искривление профиля отсутствует, если

$$\arctg \frac{\Delta y(\theta_0)}{\Delta x(\theta_0)} - \gamma = \frac{\pi}{2}.$$

Из последнего равенства найдем, что при перераспределении толщины по длине профиля незначительное влияние коэффициентов a_{-2} и a_2 на степень кривизны профиля исключается при

$$b_{-2} = 0,5 [(a_{-2} - a_2) \operatorname{tg} \gamma - (a_{-2} + a_2) \operatorname{ctg} \gamma];$$

$$b_2 \approx 0,406 b_{-2} q^4.$$

По графикам рис. 2 можно судить также о степени влияния коэффициентов преобразования на характер распределения по профилю коэффициента давления C_p , равного

$$C_p = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 - \left(\frac{v_w + r_1 \omega \sin \gamma_l}{r_2 \omega} \right)^2. \quad (25)$$

Из графиков следует, что утолщение входной кромки у гидравлически выгодных профилей снижает максимальное отрицательное значение C_p , которым определяются кавитационные качества колеса до вполне определенного предела. Следовательно, дальнейшее снижение отрицательного значения C_p возможно, как это видно из формулы (25), лишь при увеличении угла γ на входе в колесо. Однако нужно иметь в виду, что значительное увеличение γ одновременно с улучшением кавитационных качеств приводит к снижению кпд колеса [9]. Снижение кпд происходит по двум причинам: с увеличением γ возрастает угол атаки, и вход потока на лопасти перестает быть безударным; кроме того, увеличиваются потери при движении потока в межлопастном канале, так как последний теряет постоянную конусность. Потери на сужение потока на входе в колесо при увеличении γ уменьшаются вследствие уменьшения коэффициента затормождения.

Если практические профили можно получить при наличии в формулах (13) всего четырех коэффициентов преобразования с четными значениями (т. е. с $n = 2$), то наряду с аналитическим возможно графическое определение упомянутых коэффициентов преобразования, так как два исходных профиля — пластина и круг — известны.

Графический метод определения коэффициентов преобразования покажем непосредственно на примере (рис. 3). Для наглядности возьмем профиль большой относительной толщины.

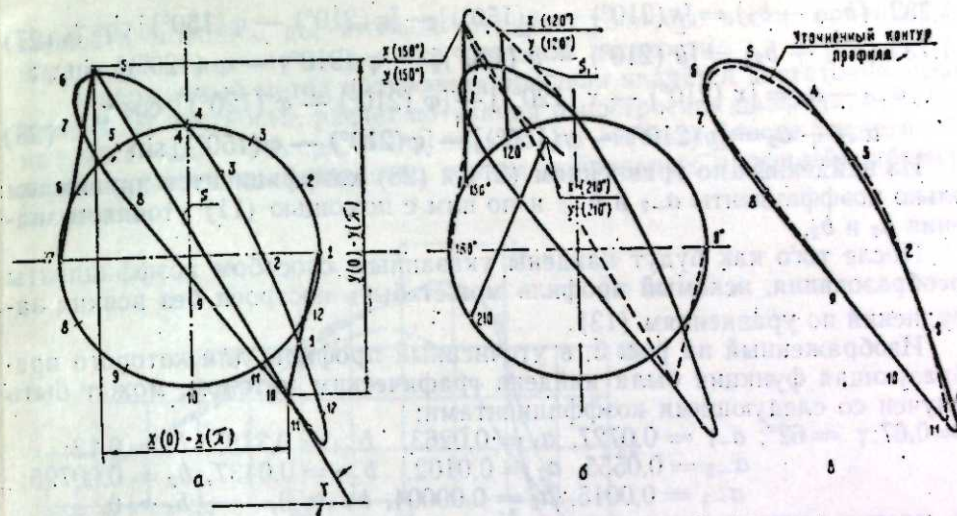


Рис. 3. Пример графического определения параметров преобразования.

Вычерчиваем в координатах $\underline{x} = \frac{x}{t}$ и $\underline{y} = \frac{y}{t}$ предполагаемый профиль с нанесенными на нем точками, соответствующими точкам круга (на рис. 3 они взяты через 30° и обозначены от 1 до 12). Затем на профиль накладываем круг радиусом $\frac{q}{2}$, после чего соединяем прямыми две точки профиля с соответственными точками круга, определяемыми углами $\theta = 0$ и $\theta = \pi$ (рис. 3, а). Продолжаем эти прямые внутрь профиля так, чтобы каждый отрезок увеличился в N раз, а их концы соединяем прямой S , проведенной под углом γ по отношению к вещественной оси. Число N нужно подобрать таким образом, чтобы соблюдалось условие

$$|\underline{x}_s(0) - \underline{x}_s(\pi)| = |\varphi(0) - \varphi(\pi)| \cos \gamma; \quad (26)$$

$$|\underline{y}_s(0) - \underline{y}_s(\pi)| = |\varphi(0) - \varphi(\pi)| \sin \gamma;$$

где $\underline{x}_s(0)$, $\underline{y}_s(0)$ и $\underline{x}_s(\pi)$, $\underline{y}_s(\pi)$ — соответственно координаты концов проведенной прямой S ;

$\varphi(0)$ и $\varphi(\pi)$ — соответственно потенциалы скоростей в точках $\zeta = 1$ и $\zeta = e^{i\pi}$ при бесциркуляционном обтекании решетки кругов, на которую отыскивается конформное отображение решетки искомого профиля W .

При подборе N на профиле возможна корректировка указанных точек. Найденное число N является величиной, обратной коэффициенту B_2 , т. е. $N = \frac{1}{B_2}$.

Далее соединяем прямыми точки профиля и круга, соответствующие углам $\theta = 120^\circ$, $\theta = 150^\circ$ и $\theta = 210^\circ$. Данные прямые также продолжаем в сторону контура профиля, увеличив их в N раз (рис. 3, б), после чего находим координаты концов: $\underline{x}(120^\circ)$, $\underline{y}(120^\circ)$; $\underline{x}(150^\circ)$, $\underline{y}(150^\circ)$; $\underline{x}(210^\circ)$, $\underline{y}(210^\circ)$. Затем находим приближенные значения коэффициентов a_{-2} , a_2 , b_{-2} и b_2 из уравнений:

$$1,732 (b_{-2} - b_2) = [x(210^\circ) - x(150^\circ)] - [\varphi(210^\circ) - \varphi(150^\circ)] \cos \gamma, \quad (27)$$

$$1,732 (b_{-2} + b_2) = [y(210^\circ) - y(120^\circ)] - [\varphi(210^\circ) - \varphi(120^\circ)] \sin \gamma;$$

$$a_{-2} - a_2 = [x(210^\circ) - x(120^\circ)] - [\varphi(210^\circ) - \varphi(120^\circ)] \cos \gamma,$$

$$a_{-2} + a_2 = [y(210^\circ) - y(150^\circ)] - [\varphi(210^\circ) - \varphi(150^\circ)] \sin \gamma. \quad (28)$$

Из найденных по уравнениям (27) и (28) коэффициентов принимаем только коэффициенты a_{-2} и b_{-2} и по ним с помощью (11) уточняем значения a_2 и b_2 .

После того как будут найдены указанным способом коэффициенты преобразования, искомый профиль может быть построен без всяких затруднений по уравнениям (13).

Изображенный на рис. 3, в уточненный профиль, для которого преобразующая функция была найдена графическим методом, может быть получен со следующими коэффициентами:

$$q = 0,67; \gamma = 62^\circ; a_{-1} = 0,0727, a_1 = 0,0263, b_{-1} = 0,318, b_1 = 0,12; \\ a_{-2} = 0,0555, a_2 = 0,0102, b_{-2} = 0,0437, b_2 = 0,00795; \\ a_{-3} = 0,0015, a_3 = 0,00004, b_{-3} \approx 0, b_3 \approx 0.$$

Во многих случаях при построении профиля по заданному распределению давлений целесообразно сочетать методы вариации профиля с решением прямой и обратной задач [7]. При графическом определении параметров преобразования значительно сокращается вычислительная работа. Поэтому в случае необходимости изменения контура профиля начального приближения задача нахождения требуемых значений коэффициентов, определяющих искомый профиль, становится достаточно легко выполнимой.

В качестве примера приводим результаты повышения кавитационных качеств четырехлопастного колеса с параметрами $\frac{r_1}{r_2} = 0,54, \beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$, без учета влияния корпуса насоса [3]. Улучшаемая лопасть имеет постоянную относительную толщину $\frac{\sigma}{D_2} = 0,01$ (σ — толщина профиля, D_2 — внешний диаметр колеса) и расположена строго по спирали (рис. 4). Расчеты выполнены по 12 точкам контура лопасти. Исходные данные: решетка кругов ξ густотой $q = 0,4$, число оборотов — 300 в 1 мин.; $Q = 6,9$ ед.³/сек; $D_2 = 2$; $r_2 = 1$ и $b = 1$ (b — ширина лопасти). При расчете было задано не распределение скоростей, а распределение по профилю безразмерного коэффициента давления C_p , по которому находилось распределение скоростей v_w . Профиль подбирался так, чтобы величина C_p была не ниже 0,33.

Как видно на графике рис. 2, значительное утолщение входной кромки существенного снижения отрицательного C_p не даст. Следовательно, у улучшаемого профиля необходимо увеличить угол γ .

На рис. 4 приведены начальные и конечные результаты расчета: распределение C_p для бесконечно тонкого профиля, заданное распределение C_p и распределение, полученное в результате расчета для профиля, параметры преобразования которого определялись графически. На этом же рисунке приводится опытная кривая, полученная Акоста [5].

Если сравнить экспериментальную кривую с графиками на рис. 2, то можно прийти к заключению, что экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются с теоретическими для вогнутой поверхности лопасти, где обычно нет отрыва потока реальной жидкости и пограничный слой незначительный. Это обстоятельство особенно важно, так как именно скоростями на вогнутой поверхности лопасти определяются кавитационные качества колеса. Следовательно, расчет всасывающей спо-

собности можно с достаточной степенью точности вести, ориентируясь на результаты, полученные для невязкой жидкости.

Изложенный метод построения профиля является достаточно эффективным. В частности, расчет обтекания и построение профиля, приведенные в качестве примера, были выполнены автором (после расчета обтекания решетки из бесконечно тонких спиральных профилей) примерно за 4 часа.

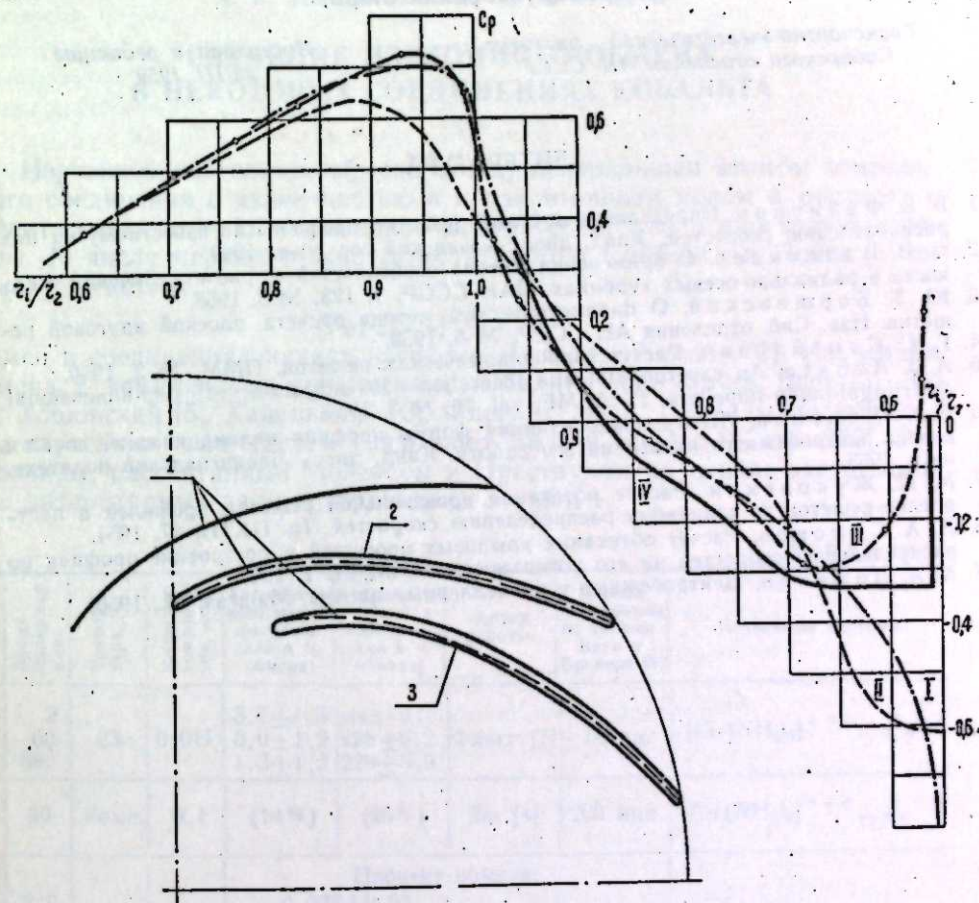


Рис. 4. Результаты улучшения кавитационных качеств колеса землесоса. 1 — бесконечно тонкий логарифмический профиль, эквивалентный профилю колесной толщины; 2 — улучшаемый профиль; 3 — профиль, полученный в результате расчета. 1 — кривая распределения C_p на тонком логарифмическом профиле; II — экспериментальная кривая для улучшаемого профиля; III — расчетная кривая; IV — заданное распределение C_p .

Графический метод определения параметров преобразования применим также к прямолинейным решеткам. При этом по сравнению с аналитическими методами он имеет ряд преимуществ:

а) при построении профиля по заданному распределению скоростей в значительной мере снижается вычислительная работа, так как отпадает необходимость решения методом последовательных приближений большого числа уравнений;

б) при расчетах могут быть использованы некоторые сведенные в таблицы расчетные величины, определяющие обтекание хорошо изученных решеток кругов;

в) при улучшении обтекания рассчитанного профиля имеется возможность наглядно судить о том, как изменится профиль с изменением:

того или иного параметра преобразования, и изменять форму профиля в желаемом направлении;

г) при построении круговой решетки удается построить профиль для заданного режима обтекания, т. е. для заданного соотношения между скоростью вращения решетки и расходом.

Описанный метод определения параметров преобразования не требует специального оборудования. Поэтому он применим при практических расчетах в обычных конструкторских бюро.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
23/III 1959

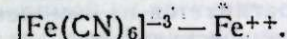
ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Филиппов, Определение круговой решетки профилей по известному на них распределению скоростей. Канд. дисс., Казанский гос. ун-т, 1949.
2. С. В. Валландер, О применении метода особенностей к расчету течений жидкости в радиально-осевых турбинах. ДАН СССР, т. 123, № 3, 1958.
3. Ю. Т. Борщевский, О параметрическом методе расчета плоской круговой решетки. Изв. Сиб. отделения АН СССР, № 5, 1959.
4. Г. С. Самойлович, Расчет гидродинамических решеток. ПММ, № 2, 1950.
5. A. J. Acosta, An experimental and theoretical investigation of two-dimensional centrifugal-pump impellers. Tr. ASME, vol. 76, № 5, 1954.
6. В. Ф. Воронов, Исследование влияния формы профиля цилиндрической лопасти колеса центробежного насоса на его работу. Канд. дисс., Ленинградский политех. ин-т, 1953.
7. М. И. Жуковский, Расчет обтекания произвольной решетки профилей и построение решеток по заданному распределению скоростей. Тр. ЦКТИ, 27, 1954.
8. Л. А. Симонов, Расчет обтекания крыловых профилей и построение профиля по распределению скоростей на его поверхности. ПММ, № 1, 1947.
9. А. А. Ломакки, Центробежные и пропеллерные насосы. Машгиз, М., 1950.

А. В. НИКОЛАЕВ, Н. М. СНИЦЫН

ИЗУЧЕНИЕ ИЗОТОПНОГО ОБМЕНА В НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЯХ КОБАЛЬТА

Изучением изотопного обмена между центральным атомом комплексного соединения с валентностью n и одноименным ионом в растворе с валентностью $(n-1)$ занимались многие советские и иностранные авторы. К числу первых нужно отнести работы Сибборга и Лонга [1] по обмену в системе



Обмен в соединениях никеля изучался Лонгом и Холлом [2]. Изучением обмена в комплексных соединениях кобальта занимались Вест [3], Зю [4], Хошовский [5], Хайсинский [6], Флегг [7] и др. Периоды полубомена для изученных ими систем указывают Валь и Боннер [8, стр. 263]. Эти величины, рассчитанные Мейерсом и Прествудом на основе экстраполяции литературных данных, приведены в табл. 1.

Таблица 1

№	Время выдержки, мин.	Температура, °C	Концентрация компонентов, моль	Активность комплекса, имп./мин. (или в % обмена)	Активность Co^{++} , имп./мин. (или в % обмена)	Автор работы	Период полубомена по данным Валь и Боннера [8]	Изучаемые системы
I	2 60 300	23	0,011	$3,7 \pm 1,3$ $3,0 \pm 1,2$ $1,3 \pm 1,2$	$218,5 \pm 6,1$ $228 \pm 6,2$ $229 \pm 6,9$	Флегг [7]	50 дн.	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{+++} - \text{Co}^{++}$
II	30	комн.	0,1	(14%)	(86%)	Зю [4]	200 мин.	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{+++} - \text{Co}^{++}$
III	3,5 6 1 7	25	0,011	Процент обмена: $0,025 \pm 0,05$ $0,035 \pm 0,06$ $0,03 \pm 0,07$ $-0,1 \pm 0,11$		Хошовский [5]	200 дн.	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{+++} - \text{Co}^{++}$
IV	3 60 740	23	0,0048	$7,4 \pm 1,2$ $2,7 \pm 1,3$ $11 \pm 1,4$	231 ± 6 224 ± 6 231 ± 6	Флегг [7]	7,3 дн.	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{++} - \text{Co}^{++}$
V	60	99	0,0048	$5,4 \pm 1,4$	226 ± 6	Флегг [7]	1 день	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_2] - \text{Co}^{++}$
VI	2 60 300	23	0,0048	$6, \pm 1,4$ $7,5 \pm 1,4$ $3,5 \mp 2,4$	$230 \pm 6,15$ $233 \pm 6,1$ 215 ± 6	Флегг [7]	3,8 дн.	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_2\text{Cl}] - \text{Co}^{++}$
VII	30	комн.	0,1	(25%)	(75%)	Зю [4]	200 мин.	$[\text{Co}(\text{eu})_3]^{+++} - \text{Co}^{++}$
VIII		45,1	0,086	—	—	Левис [9]	50 дн.	$[\text{Co}(\text{eu})_3]^{+++} - \text{Co}^{++}$

Из всех этих данных можно вывести предположение, что скорость изотопного обмена возрастает с увеличением числа кислотных заместителей во внутренней сфере комплекса.

Мы изучали изотопный обмен в комплексных соединениях кобальта с целью определить влияние различных внутрисферных заместителей и строения, в частности цис- и трансконфигурации, на скорость обмена между центральным атомом комплекса и одноименным ионом в растворе.

Опыты производились по следующей методике. В мерной колбе на 25 мл приготавливался раствор, содержащий эквивалентное количество комплексной соли и Co^{++} , меченого изотопом Co^{60} . Пробы выдерживались определенное время в термостате при заданной температуре. Разделение компонентов проводилось экстракцией.

2 мл смеси вносилось в делительную воронку на 50 мл, содержащую 8 мл H_2O . Затем прибавлялось 10 г NH_4CNS , и смесь тщательно перемешивалась. Ион Co^{++} таким образом переводился в роданидный комплекс — в форму, которая легко экстрагируется смесью из 4 частей серного эфира и 1 части изоамилового спирта. Предварительные опыты показали, что Co^{+++} не экстрагируется из комплекса, а Co^{++} практически полностью переходит в органическую фазу.

Активность как водной фазы, так и органической измерялась счетчиком Гейгера — Мюллера. Опыты проводились в темноте, так как исследуемые соединения кобальта распадаются на свету.

Нами был изучен изотопный обмен между центральным атомом комплексных соединений Co^{+++} с органическими и неорганическими заместителями во внутренней сфере и одноименным ионом Co^{++} в системах $[\text{Co}(\text{eu})_3]^{+++} - \text{Co}^{++}$ и $[\text{Co}(\text{NH}_2\text{OH})_6]^{+++} - \text{Co}^{++}$.

Результаты опытов приведены в табл. 2, 3. Заметный обмен в этих системах не был обнаружен даже за три месяца.

Таблица 2

Изотопный обмен в системе $[\text{Co}(\text{NH}_2\text{OH})_6]^{+++} - \text{Co}^{++}$ при комнатной температуре и концентрации компонентов 0,05 м

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.	Примечание
4	2870	24	Измерение на сцинтилляционном счетчике и двойная экстракция.
75	2724	13	
175	2800	16	
2230	1-я экстр. — 2,4 · 10 ⁵ 2-я экстр. — 2560	2600 115	

Таблица 3

Изотопный обмен в системе $[\text{Co}(\text{eu})_3]^{+++} - \text{Co}^{++}$ при 50°С и концентрации компонентов 0,05 м

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.
0,25	2300	33
0,5	2280	29
2,5	2300	23
4,5	2250	34
6,5	2410	42
8,5	2330	34
30	2220	34
50	2270	16
(три месяца)	2300	41

Периоды полубомена, равные 200 мин. для данных систем, полученные Мейерсом и Прествудом на основе экстраполяции опытных данных Зю (см. табл. 1), видимо, не характеризуют скорости реакции изотопного обмена. Зю изучал обмен горячих атомов, полученных при облучении комплексной молекулы нейтронами, а реакционная способность их резко отличается; активность в комплексе в этих условиях может возникать вследствие того, что не все комплексы с активным Co^{+++} оказываются разрушенными.

В системе с одним кислотным заместителем $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{++} - \text{Co}^{++}$, изученной нами при большей концентрации компонентов, чем у Флегга [7], за три месяца заметного обмена обнаружить не удалось (табл. 4), тогда как в книге Валь и Боннера [8] указан период полубомена, равный 7,3 дня.

Таблица 4

Изотопный обмен в системе $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{++} - \text{Co}^{++}$ при 25°С и концентрации компонентов 0,02 м

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.	Примечание
0,2	3900	35	Увеличение активности возможно за счет гидролиза солей [10]
0,3	3880	36	
20	3880	36	
45	3880	36	
70	—	14	
120	3760	15	
170	3810	30	
210	3940	36	
280	3860	53	
(три месяца)	3860	123	

Для системы с двумя кислотными заместителями: цис- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]^+ - \text{Co}^{++}$ и транс- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]^+ - \text{Co}^{++}$, изученных нами при температуре 50°С и концентрации компонентов 0,02 м, данные приведены в табл. 5. Два изомера были взяты для того, чтобы посмотреть, не будет ли влиять конфигурация молекулы на скорость изотопного обмена. На основе полученных данных можно предположить, что у цис-изомера есть тенденция к увеличению процента обмена во времени, но начальный обмен очень мал.

Ввиду того, что измеряемая активность водной фазы невелика и изменение во времени процента обмена незначительно, перед нами встала задача увеличить точность определения величины обмена. Это было

Таблица 5

Изотопный обмен в системах с двумя кислотными заместителями при комнатной температуре и концентрации компонентов 0,02 м

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.	Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.
$\text{Co}^{++} - [\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]^+ - \text{цис}$			$\text{Co}^{++} - [\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]^+ - \text{транс}$		
0,3	3930	8	0,3	3250	34
50	3960	14	5	3280	35
100	3900	29	75	3250	29
165	3880	26	165	2200	31
(три месяца)	3810	37	—	—	—

необходимо также и для окончательной проверки литературных данных, так как точность экспериментов Флегга незначительна.

Малая точность определения величины обмена была вызвана рядом причин, а именно: 1) измерялась очень малая активность, 2) для каждой системы изучалось не более трех точек, 3) максимальное время выдержки, по сравнению с приведенным периодом полуобмена, было очень мало, 4) активность в комплексах была завышена вследствие неполноты экстракции.

Поэтому расчет периодов полуобмена, проведенный Мейерсом и Прествудом на основе экспериментальных данных Флегга, по всей вероятности, является ошибочным. Чтобы окончательно убедиться в этом, мы попытались повысить точность эксперимента путем изменения методики разделения компонентов. Была применена двойная экстракция при разделении Co^{+++} от Co^{++} и использован сцинтилляционный счетчик, увеличивший эффективность счета примерно в 100 раз. С помощью этих изменений точность определения величины обмена была значительно повышена.

Опыты с применением измененной методики показали, что как в системах с двумя кислотными заместителями (табл. 6), независимо от цис- или транс-конфигурации молекулы, так и в комплексе с тремя кислотными заместителями (табл. 7), для которого период полуобмена был определен (> 1 дн.), заметного обмена не обнаруживается.

Таблица 6
Изотопный обмен в системах с двумя кислотными заместителями
(определение по измененной методике)

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.	Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность комплекса Co^{+++} , имп./мин.
$Co^{++} - [Co(NH_4)_4(NO_2)_2]^+ - цис$			$Co^{++} - [Co(NH_4)_4(NO_2)_2]^+ - транс$		
0,5	$6,58 \cdot 10^5$	590	0,5	$5,15 \cdot 10^5$	423
5	$6,54 \cdot 10^5$	420	5	$5,13 \cdot 10^5$	387
25	$6,5 \cdot 10^5$	450	25	$5,11 \cdot 10^5$	302
50	$6,5 \cdot 10^5$	592	50	$5,13 \cdot 10^5$	310
100	$6,45 \cdot 10^5$	485	100	$5,11 \cdot 10^5$	408
200	$6,38 \cdot 10^5$	335	200	$5,12 \cdot 10^5$	210
300	$6,39 \cdot 10^5$	360	300	$5,12 \cdot 10^5$	260

Все полученные нами результаты говорят о том, что введение во внутреннюю сферу комплексного соединения различных заместителей: органических, нейтральных (неорганических), кислотных и смешанных — не ускоряет обмен центрального атома с одноименным ионом в растворе для комплексных солей кобальта.

Объяснить отсутствие обмена, вероятно, можно прочностью комплексов Co^{+++} , а не трудностью восстановления Co^{+++} до Co^{++} в растворе, как это делает Флегг.

Используя полученные нами данные, можно примерно охарактеризовать пределы возможных значений констант нестойкости ряда комплексов.

Для примера можно взять данные табл. 7 для системы $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3] - Co^{++}$. 1 мл 0,0048 м раствора имел активность 750000 имп./мин. После разделения компонентов в различных пробах, взятых через определенные промежутки времени, активность комплекса была не более 500 имп./мин. в каждой пробе, а активность органического слоя, содержащего Co^{++} , была равна 750000 имп./мин.

Таблица 7

Изотопный обмен в системах с тремя кислотными заместителями
(определение по измененной методике)

Время обмена, час.	Активность Co^{++} , имп./мин.	Активность Co^{+++} в комплексе, имп./мин.	Период полуобмена
$[Co(NH_3)_3(NO_2)_3] - Co^{++}$ ($t = 99^\circ C$; конц. комп. — 0,0048 μ)			
0,5	680	$1,49 \cdot 10^6$	Заметного обмена не обнаружено.
5	550	$1,49 \cdot 10^6$	
25	886	$1,49 \cdot 10^6$	
$NH_4[Co(NH_3)_2(NO_2)_4] - Co^{++}$ ($t = 50^\circ C$; конц. комп. — 0,05 μ)			
0,5	487	$1,1 \cdot 10^6$	Заметного обмена не обнаружено.
5	580	$1,1 \cdot 10^6$	
25	405	$1,11 \cdot 10^6$	
$[Co(NH_3)_6][Co(NO_2)_6] - 2 Co^{++}$ ($t = 50^\circ C$; конц. комп. — 0,05 μ)			
0,5	515	$1,45 \cdot 10^6$	Заметного обмена не обнаружено.
5	542	$1,45 \cdot 10^6$	
25	565	$1,45 \cdot 10^6$	
50	796	$1,44 \cdot 10^6$	

Если бы Co^{+++} , способного к обмену, в растворе было больше, чем $\frac{0,0000048 \cdot 500}{750000} = 3,2 \cdot 10^{-9}$ г-мол/мл, то мы бы сумели его заметить.

В данном случае константа нестойкости комплекса должна быть меньше, чем $\frac{3,2 \cdot 10^6 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} - 3,2 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-3}} = 7 \cdot 10^{-37}$.

Интересно отметить, что константа нестойкости для $[Co(NH_3)_6]^{+++} = 6,2 \cdot 10^{-36}$, а для $[Co(eu)_3]^{+++} = 2 \cdot 10^{-49}$.

Если комплексную соль приготовить из радиоактивного Co^{60} с активностью 1 мк/мл, то указанная методика позволила бы определить величину константы нестойкости до $2,6 \cdot 10^{-72}$, т. е. для большинства изученных нами соединений.

Выводы

1. Показано отсутствие изотопного обмена между центральным атомом комплекса Co^{+++} и одноименным ионом Co^{++} в растворе для ряда соединений кобальта независимо от характера и конфигурации внутрисферных заместителей.

2. Разделение компонентов с применением двойной экстракции и определение активности сцинтилляционным счетчиком позволило значительно увеличить точность результатов, по сравнению с имеющимися в литературе, и подтвердить вывод, приведенный в пункте 1.

3. Показана неточность табличных данных о «периодах полуобмена», приведенных в книге Валь и Боннера [8] для ряда систем кобальта.

4. Определен порядок величин констант нестойкости изученных комплексов и оценены возможные пределы определения констант нестойкости при использовании меченых атомов.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
1/IV 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. F. A. Long, J. Am. Chem. Soc., 73, 1951.
2. N. F. Holl, J. Am. Chem. Soc., 73, 1951.
3. B. O. West, Nature, 16, 1950.
4. P. Süe, J. Chem. Phys., 45, 1948.
5. S. A. Hoshowsky, J. Research, 2713, 1949.
6. M. Haissinsky, J. Chem. Phys., 47, 1950.
7. J. F. Flagg, J. Am. Chem. Soc., 63, 1941.
8. А. Валь, Н. Боннер, Использование радиоактивности при химических исследованиях, М., 1954.
9. Y. Lewis, Chem. Rev., 27, 1940.
10. E. W. Eittle, J. Chem. Soc., 1490, 1939.

Л. В. ПОПОВА

ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ТЕРМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОНФИГУРАЦИЙ f^3s , f^2d и f^2d^2

Среди элементов периодической системы Д. И. Менделеева особые группы составляют лантаноиды и актиноиды. У этих элементов происходит дестройка внутренних f -оболочек: $4f$ -оболочки у лантаноидов и $5f$ -оболочки у актиноидов. У лантаноидов $4f$ -оболочка постепенно заполняется f -электронами: от двух у церия до четырнадцати у лутетия. Нарастание числа f -электронов происходит не вполне закономерным образом, характеризуясь «конкуренцией» между $4f$ -, $5f$ - и $6s$ -состояниями. У актиноидов заполняется $5f$ -оболочка. Электронные конфигурации точно известны лишь для некоторых актиноидов.

В связи с интересом, который представляют валентные состояния атомов с f -электронами, мы предприняли расчет энергий термов этих атомов. В настоящей работе сообщается об энергии термов некоторых конфигураций с f -электронами.

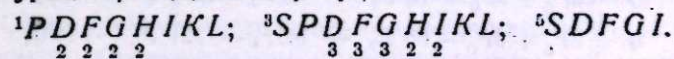
Для расчета энергий термов электронных конфигураций атома в схеме LS -связи может быть использован метод Слейтера [1]. С помощью этого метода были рассчитаны значения энергии термов чистых конфигураций с f -электронами, т. е. конфигурации типа f^n . В книге Е. Кондона и Г. Шортли [2] приведены значения термов конфигурации f^2 , рассчитанные по методу Слейтера. Выражения для энергий термов представляют собой линейную комбинацию известных коэффициентов Слейтера — Кондона F_k и G_k . Значения энергий термов конфигурации f^3 были рассчитаны в 1950 г. В. Р. Рао [3]. Энергии термов электронной конфигурации f^4 были рассчитаны в 1952 г. К. С. Рао [4].

В 1949 г. Дж. Рака [5] дал новый метод расчета энергий термов электронных конфигураций, основанный на применении тензорных операторов и теории групп. Этот метод тоже позволяет выразить энергии термов через параметры B и C , являющиеся комбинациями коэффициентов Слейтера. Метод Рака, в отличие от метода Слейтера, дает возможность разделить идентичные термы.

Значения энергий термов смешанных электронных конфигураций, содержащих f -электроны, до сих пор не были рассчитаны.

Мы рассчитали методом Слейтера значения энергий термов трех смешанных электронных конфигураций, включающих f -электроны f^3s , f^2d и f^2d^2 . Метод Слейтера предпочтен методу Рака, так как последний развит только для чистых конфигураций с f -электронами, т. е. для конфигураций типа f^n .

Конфигурация f^3s . Для нее разрешенные состояния таковы:



Цифры, написанные под названием терма, показывают число идентичных термов. Поскольку эти термы нельзя разделить, применяя метод Слейтера, в результатах наших вычислений приведены средние значения

их энергий. Эти значения взяты в скобки. Спин-орбитальное взаимодействие не учитывается, так что вычисляются только средние значения энергий мультиплетов.

Значения энергий термов выражены через параметры F_k и G_k . В выражения для энергий термов войдут, во-первых, матричные элементы взаимодействия двух f -электронов, что приведет к появлению коэффициентов $F_k(f, f)$ и $G_k(f, f)$. Для эквивалентных электронов $F_k = G_k$. Во-вторых, войдут матричные элементы взаимодействия f - и s -электронов, что приведет к появлению коэффициентов $F_k(f, s)$ и $G_k(f, s)$. Для взаимодействия f - и s -электронов оказываются отличными от нуля только члены с $F_0(f, s)$ и $G_1(f, s)$. Введем для них обозначения F_0' и G_1' . Для взаимодействия f - f -электронов — коэффициенты при $F_0(f, f)$, $F_2(f, f)$, $F_4(f, f)$ и $F_6(f, f)$. Мы будем писать просто F_0 , F_2 , F_4 и F_6 .

Вычисленные значения энергий термов конфигурации f^3s приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения энергий термов конфигурации f^3s

$$\begin{aligned}
 {}^1P &= 3F_0 + 3F_0' - 25 F_2 - 44F_4 + 143 F_6 \\
 ({}^1D) &= 3F_0 + 3F_0' - 7 F_2 - 31,5F_4 - 130 F_6 \\
 ({}^1F) &= 3F_0 + 3F_0' + 55 F_2 + 55,5F_4 + 52 F_6 \\
 ({}^1G) &= 3F_0 + 3F_0' + 7 F_2 + 24,5F_4 - 620 F_6 \\
 ({}^1H) &= 3F_0 + 3F_0' - 23 F_2 - 46,5F_4 + 136 F_6 \\
 {}^1I &= 3F_0 + 3F_0' - 5 F_2 - 6F_4 - 305 F_6 \\
 {}^1K &= 3F_0 - 3F_0' + 40 F_2 - F_4 + 38 F_6 \\
 {}^1L &= 3F_0 + 3F_0' - 63F_4 - 18 F_6 \\
 {}^3S &= 3F_0 + 3F_0' - 30 F_2 - 99F_4 - 8\frac{8}{3} F_6 + G_3 \\
 {}^3P &= 3F_0 + 3F_0' - 25 F_2 - 44F_4 + 143 F_6 - 2G_3 \\
 ({}^3D) &= 3F_0 + 3F_0' + 3\frac{2}{3}F_2 - 32F_4 - 7\frac{6}{3}F_6 - G_3 \\
 ({}^3F) &= 3F_0 + 3F_0' + 26\frac{2}{3}F_2 + 4F_4 - 25\frac{1}{3}F_6 - G_3 \\
 ({}^3G) &= 3F_0 + 3F_0' + 1\frac{1}{3}F_2 - 8\frac{2}{3}F_4 - 820\frac{2}{3}F_6 - G_3 \\
 ({}^3H) &= 3F_0 + 3F_0' - 23 F_2 - 46,5F_4 - 136 F_6 - 2G_3 \\
 ({}^3I) &= 3F_0 + 3F_0' - 35 F_2 - 73,5F_4 - 263 F_6 - 0,5G_3 \\
 {}^3K &= 3F_0 + 3F_0' - 40 F_2 + F_4 + 38 F_6 - 2G_3 \\
 {}^3L &= 3F_0 + 3F_0' - 63F_4 - 18 F_6 - 2G_3 \\
 {}^5S &= 3F_0 + 3F_0' - 30 F_2 - 99F_4 - 858 F_6 - 3G_3 \\
 {}^5D &= 3F_0 + 3F_0' + 25 F_2 - 33F_4 - 1859 F_6 - 3G_3 \\
 {}^5F &= 3F_0 + 3F_0' - 30 F_2 - 99F_4 - 858 F_6 - 3G_3 \\
 {}^5G &= 3F_0 + 3F_0' - 10 F_2 - 75F_4 - 1222F_6 - 3G_3 \\
 {}^5I &= 3F_0 + 3F_0' - 65 F_2 - 141F_4 - 221 F_6 - 3G_3
 \end{aligned}$$

Конфигурация f^2d . Разрешенные состояния для этой конфигурации:

$${}^2SPDFGHIKL; {}^4PDFGHIK.$$

$\begin{matrix} 3 & 5 & 5 & 5 & 4 & 3 & 2 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 2 \end{matrix}$

Здесь в вековом уравнении появятся матричные элементы взаимодействия f - и d -электронов. В выражениях для энергий термов появятся коэффициенты $F_k(f, d)$ и $G_k(f, d)$. Таких коэффициентов шесть: $F_0(f, d)$, $F_2(f, d)$, $F_4(f, d)$ и $G_1(f, d)$, $G_3(f, d)$, $G_5(f, d)$. Обозначим их через F_k' и G_k' . Коэффициенты взаимодействия двух f -электронов обозначим через F_k . Значения энергий термов конфигурации f^2d приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения энергий термов конфигурации f^2d

$$\begin{aligned}
 {}^1S &= F_0 + 2F_0' + 19F_2 - 22F_2' - 99F_4 + 132F_4' + 715F_6 - 6G_1 - 19G_3 - 55G_5 \\
 {}^3P &= F_0 + 2F_0' + 8F_2 - 13\frac{1}{3}F_2' - 33F_4 - 36\frac{2}{3}F_4' - 286F_6 + G_1 + 4G_3 + 22G_5 \\
 {}^3D &= F_0 + 2F_0' + 16,8F_2 + 5,6F_2' + 39,2F_4 + 5,6F_4' + 187,2F_6 + 0,4G_1 - 0,4G_3 - 17,8G_5 \\
 {}^3F &= F_0 + 2F_0' - 0,2F_2 + 5,6F_2' - 10,6F_4 + 5,6F_4' - 158,6F_6 - 1,4G_1 - 0,6G_3 + 25,2G_5 \\
 {}^3G &= F_0 + 2F_0' - 4,2F_2 + 5,6F_2' - 15,4F_4 + 5,6F_4' + 99F_6 + 1,8G_1 - 1,8G_3 - 36G_5 \\
 {}^3H &= F_0 + 2F_0' - 10F_2 - 5F_2' - 5,5F_4 - 26F_4' - 55F_6 - 1,25G_1 + 7,5G_3 - 18,75G_5 \\
 ({}^3I) &= F_0 + 2F_0' - 10F_2 - 10\frac{2}{3}F_2' + 18\frac{1}{3}F_4 + 31\frac{1}{3}F_4' + 22F_6 - 1\frac{2}{3}G_1 - 6\frac{2}{3}G_3 - 8\frac{2}{3}G_5 \\
 {}^3K &= F_0 + 2F_0' - 5F_2' - 21F_4 - 19F_4' - 6F_6 + 7,5G_1 - 7,5G_3 - 3G_5 \\
 {}^3L &= F_0 + 2F_0' + 25F_2 - 20F_2' - 9F_4 + 6F_4' + F_6 - 15G_1 - 10G_3 - G_5 \\
 {}^4P &= F_0 + 2F_0' + 17,5F_2 - 14,5F_2' - 11F_4 - 786,5F_6 + 2G_1 - 12G_3 - 148,5G_5 \\
 {}^4D &= F_0 + 2F_0' + 17,5F_2 + 4,5F_2' + 16,5F_4 - 786,5F_6 - 5,5G_1 - 22G_3 - 236,5G_5 \\
 {}^4F &= F_0 + 2F_0' + 3\frac{1}{3}F_2 + 5F_2' - 17F_4 - 16F_4' - 528\frac{2}{3}F_6 - \frac{2}{3}G_1 - 14\frac{1}{3}G_3 - 229\frac{1}{3}G_5 \\
 {}^4G &= F_0 + 2F_0' - 17,5F_2 + 2,5F_2' - 42F_4 + 34F_4' - 149,5F_6 - 9G_1 - 18,5G_3 - 191G_5 \\
 {}^4H &= F_0 + 2F_0' - 17,5F_2 - 7,5F_2' - 42F_4 - 28,5F_4' - 149,5F_6 - 1,5G_1 - 26G_3 - 78,5G_5 \\
 {}^4I &= F_0 + 2F_0' - 25F_2 - 11F_2' - 51F_4 + 24F_4' - 13F_6 - 6G_1 - 44G_3 - 41G_5 \\
 {}^4K &= F_0 + 2F_0' - 25F_2 + 10F_2' - 51F_4 - 4F_4' - 13F_6 - 20G_1 - 30G_3 - 6G_5
 \end{aligned}$$

Конфигурация f^2d^2 . Разрешенные состояния для нее такие:

$$\begin{aligned}
 &{}^1SPDFGHIKLMN; {}^3SPDFGHIKLM; \\
 &\quad \begin{matrix} 5 & 4 & 12 & 9 & 13 & 8 & 9 & 4 & 4 \\ 2 & 11 & 12 & 17 & 14 & 14 & 9 & 7 & 3 & 2 \end{matrix} \\
 &{}^5SPDFGHIKL. \\
 &\quad \begin{matrix} 2 & 2 & 5 & 4 & 5 & 3 & 3 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

Взаимодействия электронов будут следующие: 1) между двумя f -электронами. Обозначим соответственные коэффициенты F_k ; 2) между f - и d -электронами. Соответственные коэффициенты обозначим F_k' и G_k' ; 3) между двумя d -электронами. Обозначим коэффициенты взаимодействия F_k'' . Таких коэффициентов будет три: F_0'' , F_2'' и F_4'' .

Вычисленные значения энергий термов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения энергий термов конфигурации f^2d

$$\begin{aligned}
 ({}^1S) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 16,8F_2 + 11,2F'_2 + 2,8F''_2 + 33,2F_4 + 11,2F'_4 + 14F''_4 + 187,2F_6 + 0,8G_1 - 0,8G_3 - 35,6G_5 \\
 ({}^1P) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 6F_2 - 3F'_2 \\
 ({}^1D) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{17} / 127F_2 + 50F'_2 + 7F''_2 + 53F_4 + 134F'_4 + 42F''_4 + 859F_6 - 25G_3 - 616G_5 \\
 ({}^1F) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{9} / 3F_2 + 44F'_2 - 11F''_2 - 79F_4 - 25F'_4 - 36F''_4 - 285F_6 + 8G_1 - 28G_3 - 475G_5 \\
 ({}^1G) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{13} / 5,5F_2 + 12F'_2 + 11F''_2 + 174F_4 - 30F'_4 + 43F''_4 + 1497F_6 - 12G_1 - 28G_3 - 733G_5 \\
 ({}^1H) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{8} / 51F_2 + 26F'_2 + 3F''_2 - 22F_4 - 86F'_4 - 27F''_4 + 561F_6 + 4G_1 - 19G_3 - 4G_5 \\
 ({}^1I) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{9} / 26F_2 - 46F'_2 + 11F''_2 - 13F_4 + 80F'_4 + 99F''_4 + 562F_6 - 9G_1 - 61G_3 - 436G_5 \\
 ({}^1K) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 1,25F_2 - 8F'_2 - 0,75F''_2 + 16F_4 - F'_4 + 7,25F'_4 + 16,75F''_4 + 16,75F_6 - 5G_1 - 12,5G_3 - 41,75G_5 \\
 ({}^1L) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 1,25F_2 - 8F'_2 - 0,75F''_2 + 16F_4 + 6F'_4 + 7,25F'_4 + 16,75F''_4 + 16,75F_6 - 1,5G_1 - 23,5G_3 - 13,75G_5 \\
 ({}^3M) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 25F_2 - 10F'_2 + 4F''_2 + 9F_4 - 38F'_4 + F''_4 + F_6 + 5G_1 - 45G_3 - 12G_5 \\
 ({}^3N) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 25F_2 + 40F'_2 + 4F''_2 + 9F_4 + 12F'_4 + F''_4 + F_6 - 30G_1 - 20G_3 - 2G_5 \\
 ({}^3S) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 17,5F_2 + 19F'_2 - 0,5F''_2 + 33F_4 - 46,5F'_4 - 786,5F_6 \\
 ({}^3P) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{11} / 148F_2 + 20F'_2 + 13F''_2 + 46F_4 - 15F'_4 - 72F''_4 - 1508F_6 - 20G_1 - 150G_3 - 1917G_5 \\
 ({}^3D) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{12} / 33F_2 + 4F'_2 - 17F''_2 - 235F_4 - 213F'_4 - 223F''_4 - 3523F_6 - 17G_1 - 123G_3 - 1410G_5 \\
 ({}^3F) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{17} / 71F_2 + 11F'_2 - 18F''_2 - 16F_4 - 297F'_4 - 78F''_4 - 2027F_6 - 36G_1 - 194G_3 - 2391G_5
 \end{aligned}$$

Продолжение табл. 3

$$\begin{aligned}
 ({}^3G) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{14} / 66F_2 + 41F'_2 - 21F''_2 - 166F_4 + 153F'_4 - 231F''_4 - 2898F_6 - 38G_1 - 202G_3 - 1753G_5 \\
 ({}^3H) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{14} / 101F_2 - 22F'_2 + F''_2 - 208F_4 + 111F'_4 - 96F''_4 - 1337F_6 - 53G_1 - 287G_3 - 1592G_5 \\
 ({}^3I) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{9} / 100F_2 + 4F'_2 - 13F''_2 - 155F_4 - 45F'_4 - 166F''_4 + 54F_6 - 37G_1 - 123G_3 - 807G_5 \\
 ({}^3K) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{7} / 15F_2 - 55F'_2 - 12F''_2 - 71F_4 - 132F'_4 - 73F''_4 - 245F_6 - 44G_1 - 186G_3 - 324G_5 \\
 ({}^3L) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + \frac{1}{3} / 25F_2 - 7F'_2 - 12F''_2 - 93F_4 + 112F'_4 - 17F''_4 - 25F_6 - 26G_1 - 74G_3 - 68G_5 \\
 ({}^3M) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 15F_2 - 2F'_2 - 21F''_2 - 21F_4 - 13F'_4 - 4F''_4 - 6F_6 - 17,5G_1 - 32,5G_3 - 7G_5 \\
 ({}^3S) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 17,5F_2 + 19F'_2 - 0,5F''_2 + 33F_4 - 46,5F'_4 - 786,5F_6 - 11G_1 - 44G_3 - 473G_5 \\
 ({}^3P) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 17,5F_2 - 12F'_2 - 0,5F''_2 + 5,5F_4 - 46,5F'_4 - 786,5F_6 + G_1 - 56G_3 - 324,5G_5 \\
 ({}^3D) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 9F_2 + 2F'_2 - 2F''_2 - 10,2F_4 - 9F'_4 - 39F''_4 - 631,8F_6 - 7G_1 - 38G_3 - 383,6G_5 \\
 ({}^3F) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 + 1,75F_2 - 4,25F'_2 - 21F''_2 - 21F_4 - 15,75F'_4 - 27,75F''_4 - 468F_6 - 7G_1 - 30,5G_3 - 360,5G_5 \\
 ({}^3G) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 5F_2 - 2,2F'_2 - 2F''_2 - 27F_4 - 5F'_4 - 39F''_4 - 377F_6 - 8,4G_1 - 43,6G_3 - 296,8G_5 \\
 ({}^3H) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 20F_2 + 5\frac{1}{3}F'_2 - 3F''_2 - 45F_4 + 3F'_4 - 34F''_4 - 101F_6 - 11\frac{2}{3}G_1 - 46\frac{2}{3}G_3 - 312\frac{2}{3}G_5 \\
 ({}^3I) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 20F_2 - 4\frac{2}{3}F'_2 - 3F''_2 - 45F_4 + 21F'_4 - 34F''_4 - 104F_6 - 16\frac{2}{3}G_1 - 63\frac{1}{3}G_3 - 168\frac{1}{3}G_5 \\
 ({}^3K) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 25F_2 - 3F'_2 - 8F''_2 - 51F_4 - 52F'_4 - 9F''_4 - 13F_6 - 14G_1 - 46G_3 - 133G_5 \\
 ({}^3L) &= F_0 + 4F'_0 + F''_0 - 25F_2 + 5F'_2 - 8F''_2 - 51F_4 + 12F'_4 - 9F''_4 - 13F_6 - 30G_1 - 70G_3 - 37G_5
 \end{aligned}$$

Выводы

Вычислены значения энергий термов конфигураций электронов f^3s , f^2d и f^2d^2 методом Слейтера. Приведены таблицы значений энергий термов.

Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
27/II 1959.

ЛИТЕРАТУРА

1. Slater. Phys. Rev., 34, 1929.
2. Е. Кондон, Г. Шортли, Теория атомных спектров. ИЛ, М., 1949.
3. V. R. Rao, Curr. Science, 19, 1950.
4. K. S. Rao, Ind. Journ. Phys., 26, 1952.
5. G. R. Casah, Phys. Rev., 76, 1949.

А. А. ФОТНЕВ, В. М. АНДРЕЕВ

УКРУПНЕННЫЕ ОПЫТЫ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ДВУОКИСИ ТИТАНА СУЛЬФАТНО-НАТРИЕВОЙ ПЛАВКОЙ

Одной из основных операций в производстве металлического титана и пигментной двуокиси является отделение железа.

На металлургических заводах для этого обычно применяют восстановительную плавку с переводом железа в чугун, а окислов титана — в шлак, содержащий до 80—85% TiO_2 . При получении пигментной двуокиси ильменитовый концентрат сульфатизируют и затем растворяют в воде. Из раствора выкристаллизовывают сульфат закиси железа; после чего гидролизом выделяют чистую двуокись титана.

Недостатком металлургического отделения железа является концентрация всех примесей в шлаке. Это значительно усложняет и удорожает дальнейшую переработку шлака. Сульфатизация же ильменита и выделение железа в виде сульфата требуют большого расхода дефицитной серной кислоты.

Для удешевления производства двуокиси титана в лаборатории редких элементов Института химии УФАИ СССР разработан метод восстановительной сульфатно-натриевой плавки ильменитового концентрата.

Сущность способа заключается в сульфидизации железа при сплавлении ильменитового концентрата с сульфатом натрия и углем. В полученном плаве сульфиды железа и натрия образуют сложные соединения, растворимые в воде, благодаря чему основная часть железа удаляется при последующем водном выщелачивании. Донзвлечение железа и других примесей осуществляется обработкой остатка слабым раствором кислоты.

Схема процесса переработки ильменитового концентрата на двуокись титана представлена на рис. 1.

С целью получения данных для организации полупромышленной проверки сульфатно-натриевого способа на одном из заводов были проведены укрупненные опыты*.

В качестве исходных материалов применялись иршинский ильменитовый концентрат (TiO_2 — 51,4%, FeO — 41,0, SiO_2 — 4,3, Al_2O_3 — 2,2, CaO — 0,5, MgO — 1,03, V_2O_5 — 0,12%), технический сульфат натрия (95,6% Na_2SO_4) и донецкие каменные угли ПС (летучих и влаги — 13,31%, золы — 9,57, углерода — 77,12%) и АРШ, измельченные до 4 мм. Выбор наиболее подходящего вида восстановителя и степени измельчения концентрата был сделан на основании лабораторных опытных плавков. Результаты опытов представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что степень измельчения концентрата (в изученных пределах) практически не влияет на чистоту титанового продукта. Лучшие результаты получены при использовании в качестве восстановителя каменного угля марки ПС. Увеличение количества антра-

* В работе принимали участие З. Д. Ефремова и Е. П. Дудник.

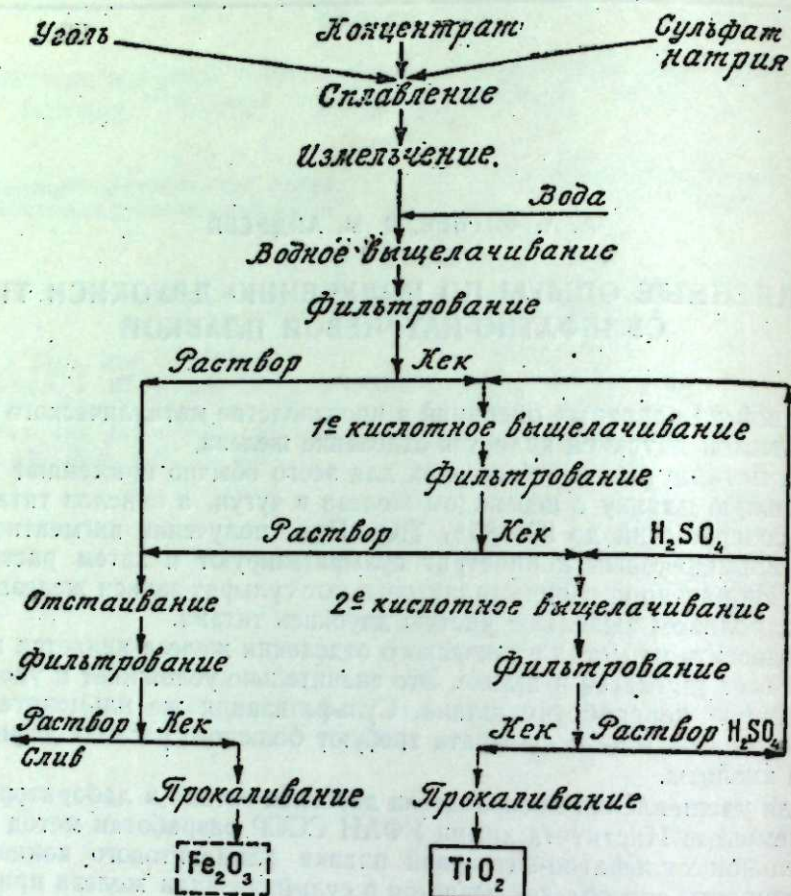


Рис. 1. Схема получения двуокиси титана методом сульфатно-натриевой плавки.

Таблица 1

Состав шихты, вес. частей			Марка угля	Степень измельчения концентрата, мм	Содержание примесей в продукте, %				
концентрат	сульфат натрия	уголь			Fe	Al	Si	V	Mg
1	2	0,6	ПС	-0,056	0,63	0,08	0,11	0,03	0,29
1	2	0,6	.	-0,10	0,83	0,11	0,09	0,03	0,40
1	2	0,6	.	-0,28	0,47	0,07	0,12	0,03	0,28
1	2	0,8	.	-0,10	0,76	0,06	0,08	0,03	0,20
1	2	0,6	АРШ	-0,10	1,92	0,13	0,12	0,04	0,20

чита в составе шихты до 0,8—0,1 весовых частей на 1 весовую часть концентрата приводит к интенсивному вспениванию плава и выбрасыванию последнего из тиглей. Поэтому вся дальнейшая работа проводилась с концентратом, измельченным до — 0,26 мм, и углем марки ПС. Установка для проведения укрупненных опытов состояла из индукционной высокочастотной печи ЛПГЗ-60 с шамото-графитовым тиглем, агитатора из нержавеющей стали, фарфорового агитатора и вакуумного нутч-фильтра с площадью фильтрации около 5 дм².

Шихта для плавки составлялась из концентрата, сульфата натрия и угля в соотношении 1 : 2 : 0,6.

Плавка велась порциями по 4—5 кг в течение 20—30 минут. Конец процесса определялся по полному расплавлению шихты и прекращению интенсивного газовыделения из расплава. Температура расплава была 950—1000°. Плав был вполне жидкотекучим и нацело удалялся из тигля при сливе.

Выход плава составлял около 60% от загруженной шихты.

Значительного разрушения графито-шамотного тигля не происходило. Однако на поверхности расплава накапливался небольшой слой чешуйчатого графита. При удалении его вместе с графитом увлекалось некоторое количество плава, что было основной причиной потерь титана при плавке.

Плав измельчался до 4 мм сначала в щековой дробилке, а затем в дисковом истирателе.

Водное выщелачивание проводилось при Ж : Т = 8 : 1 и температуре 80°С в течение 15 минут, с непрерывным перемешиванием.

Полученная щелочная пульпа фильтровалась на нутч-фильтре при разрежении около 600 мм.

В ходе работы были опробованы различные фильтровальные ткани: бельтинг, стеклоткань, перхлорвинил. Удовлетворительная фильтрация (скорость ~ 850 л/час м²) обеспечивается только при использовании перхлорвиниловой ткани.

Фильтрат от водного выщелачивания содержал FeS — 22,1 г/л, Na₂O — 32,4 г/л, Na₂S — 15,2 г/л, Na₂SO₄ — 1,5 г/л.

Кек, состоящий в основном из титаната натрия, обрабатывался на холоду в фарфоровом реакторе раствором серной кислоты (70—80 г/л). Дозировку кислоты производили так, чтобы pH конечной пульпы было около 3.

При применении для выщелачивания более концентрированной кислоты получалась студенистая, плохо фильтрующаяся масса (коллоидная метатитановая кислота).

Процесс обработки кека кислотой сопровождался выделением сероводорода.

Кислая пульпа фильтровалась также на вакуумном нутч-фильтре с перхлорвиниловой тканью.

Кек после первого кислотного выщелачивания еще содержит некоторое количество примесей (Fe — 3,66%, Si — 1,35, Mg — 0,34, V — 0,046, Al — 0,4%). Для их удаления кек повторно обрабатывался 8% раствором серной кислоты при кипячении в течение часа, после чего пульпа отстаивалась и фильтровалась. Фильтрат, содержащий около 1,8 г/л TiO₂, 9,2 г/л Fe и 55 г/л H₂SO₄, пригоден для замены части кислоты при первом кислотном выщелачивании.

Кек высушивался и прокаливался при 600—700° для разложения метатитановой кислоты.

Конечный продукт — двуокись титана — содержал F — 0,77%, Si — 0,25, V — 0,028, Al — 0,28, Mg — 0,20 и TiO₂ (по разности) — 97,47%.

Результаты балансовых опытов представлены в табл. 2. Веса остатков после выщелачивания указаны в этой таблице в пересчете на сухие.

Данные табл. 2 показывают, что методом сульфатно-натриевой плавки можно получать техническую двуокись титана, содержащую 97,5% TiO₂, при расходе на 1 т TiO₂ сульфата натрия 2 т, серной кислоты (с учетом возврата кислого фильтрата) 0,62 т и извлечении не ниже 92%.

Предварительный экономический расчет на основе этих цифр показывает перспективность применения данного способа получения двуокси-

Таблица

Операции	Исходные продукты	Вес, г или объем, л	Двуокись титана			Железо			Серная кислота	
			% или г/л	г	извле- ченные или по- тери, %	% или г/л	г	извле- ченные или по- тери, %	г/л	г
Плавка	Загружено:									
	концентрат	8000	51,4	4110	—	31,8	2540	—		
	сульфат натрия	16000	—	—	—	—	—	—		
	каменный уголь	6000	—	—	—	—	—	—		
	Получено:									
плав	16200	24,3	3940	95,9	14,7	2380	93,7			
	Потери			-170	-4,1		-160	-6,3		
Измельчение	Загружено:									
	плав	16200	24,3	3940	—	14,7	2380	—		
	Получено:									
	плав	16000	24,3	3890	98,7	14,7	23,50	98,7		
	Потери	200	24,3	-50	-1,3	14,7	-30	-1,3		
Водное выщелачивание	Загружено:									
	плав	16000	24,3	3890	—	14,7	2350	—		
	вода	128								
	Получено:									
кек	—	—	3870	99,5	—	610	25,9			
фильтрат	122	н/о	нет	0,0	14,0	1710	72,8			
	Потери	—	—	20	-0,5	—	30	-1,3		
1-е кислотное выщелачивание	Загружено:									
	кек	—	—	3870	—	—	610	—		
	серная кислота	27	—	—	—	—	—	—	75	20,0
	Получено:									
кек	—	—	3820	98,7	—	150	24,6			
фильтрат	27	0,63	20	0,5	16,6	450	73,8			
	Потери			30	-0,8	—	-10	-1,6		
2-е кислотное выщелачивание	Загружено:									
	кек	—	—	3820	—	—	150	—		
	серная кислота	13	—	—	—	—	—	—	80	10,0
	Получено:									
кек	—	—	3790	99,2	—	30	20,0			
фильтрат	13	1,75	20	0,5	9,2	120	80,0	55	7,0	
	Потери			-10	-0,3	—	—	—		
Прокалывание	Загружено:									
	кек	—	—	3790	—	—	30	—		
	Получено:									
продукт			3780	99,7	—	30	100,0			
	Потери			10	-0,3	—	—	—		
Итого по всем операциям:	взято в исходном продукте			4110	100,0		2540	100,0		
	получено в конечном продукте			3780	92,0		30	1,2		

си титана. Экономичность способа в дальнейшем можно улучшить за счет использования сероводорода, сульфида железа и применения при выщелачивании отходов серной кислоты.

Осуществлять плавку можно в электрической или отражательной печи.

В гидрометаллургическом переделе осложнение может вызвать выделение сероводорода при кислотном выщелачивании остатка. Проведенное исследование по окислению кека после водного выщелачивания кислородом воздуха показало, что сульфид железа в этих условиях легко переходит в гидратированные окислы, растворимые в разбавленной (5—10%) серной кислоте. Следовательно, применяя окисление остатка воздухом, можно избежать выделения сероводорода при последующей кислотной переработке.

Выводы

1. Укрупненные опыты показали, что сульфатно-натривой плавкой можно получать техническую двуокись титана с расходом серной кислоты около 0,6 т на 1 т TiO_2 при извлечении не менее 92% титана.

2. Плавки в заводском масштабе можно провести в отражательной и электрической печах или в вагранке.

Уральский филиал
АН СССР

Поступила в редакцию
22/IX 1958

С. А. КОЛЯГО

ОПЫТ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДАННЫХ
ПО ИСТОРИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
НА ТЕРРИТОРИИ МИНУСИНСКОЙ ВПАДИНЫ

(К основам палеопочвоведения)

Историю хозяйственной деятельности человека в том или ином районе земной поверхности наука воссоздает по письменным и археологическим документам. К сожалению, далеко не для всех своеобразных в природном отношении районов нашей страны и Сибири, в частности, мы располагаем такими документами (особенно археологическими).

Минусинская впадина в этом отношении находится в выгодном положении. На ее территории, как, пожалуй, нигде более в Сибири, сохранилось большое число археологических памятников в виде главным образом могильников и стоянок человека минувших эпох. Но важно для нас не только обилие археологических памятников, но и хорошая их изученность. Огромную, кропотливую работу по сбору, сохранению и изучению различных документов по истории народов Минусинской впадины выполнил Минусинский краеведческий музей им. Мартьянова. В последние годы значительную работу в этом направлении провел Абаканский музей. Изучением археологических документов занимались многие ученые местных и центральных научных учреждений. Наиболее крупное значение имеют результаты исследований С. В. Киселева [1—6 и др.], Л. А. Евтюховой [7, 8 и др.], С. А. Теплоухова [9, 10], М. П. Грязнова [11], А. Я. Тугаринова [12], Д. А. Клеменца [13], В. П. Левашовой [14] и др.

Большой фактический материал, накопленный исследованиями многих археологов, в недавнее время был подвергнут систематизации, анализу и обобщению С. В. Киселевым [5, 6] и Л. А. Евтюховой [7]. Работы этих авторов мы и используем в качестве исходных для освещения интересующего нас вопроса.

* * *

Достоверные археологические документы позволяют восстанавливать основные контуры истории хозяйственной деятельности человека в Минусинской впадине, начиная с бронзового века. Опираясь на них, археологи выделяют здесь следующие этапы: афанасьевская эпоха (конец III — начало II тысячелетия до н. э.), андроновская эпоха (XVII—XII вв. до н. э.), карасукское время (XII—VII вв. до н. э.), тагарская, или скифская, эпоха (VII—III вв. до н. э.), таштыкское, или хунно-сарматское, время (III—I вв. до н. э.) и эпоха Кыргызского (Хакасского) государства (I—XIII вв. н. э.).

Афанасьевская и андроновская эпохи, а также карасукское время являются этапами бронзового века, в то время как тагарская эпоха и таштыкское время — этапами железного века.

По этим этапам мы и рассмотрим ниже основные выводы археологов о хозяйственной деятельности народов, населявших Минусинскую

впадину, с целью выявить былые физико-географические условия. Но прежде чем сделать это, необходимо вкратце коснуться предшествующих эпох, т. е. неолита и палеолита.

Достоверных археологических документов по нижнему и среднему палеолиту Минусинской впадины пока что нет. Отсутствие их нам кажется естественным, так как, согласно геоморфологическим данным, в период днепровского оледенения котловины впадины представляли собой озерно-речные водоемы. Сохраниться они могли лишь в пунктах местной аккумуляции осадков на повышенных участках впадины, т. е. на территории современных предгорий.

Относительно археологических памятников верхнего палеолита и неолита С. В. Киселев [5] отмечает, что они отличаются беспорядочным расположением материалов всех эпох. Если здесь учесть данные по генезису покровных отложений междуречий и террас современных долин рек, то станет ясным, что факт этот связан с неоднократными делювиальными, пролювиальными и эоловыми переотложениями рыхлых четвертичных осадков.

Несмотря, однако, на печальное состояние указанных памятников, С. В. Киселев, основываясь на археологических документах, главным образом по смежным районам, и на логических соображениях, пришел к выводу о существовании в Минусинской впадине древнего человека, начиная с верхнего палеолита.

В то время люди современного типа (*Homo sapiens*) в своем общественном развитии достигли уже стадии первобытных родовых общин. Основным занятием последних была охота, а затем и рыбная ловля. Техника этих промыслов со временем совершенствовалась, на что указывает соответствующее совершенствование орудий труда, изготовлявшихся из кремней и костей животных. Изучение костей животных, сохранившихся в культурных слоях верхнепалеолитических и неолитических стоянок в районе Красноярска, позволило Г. П. Сосновскому и Н. К. Ауэрбаху [15—18], В. И. Громову [19] выявить изменение фауны в начале послеледниковой эпохи в сторону ее остепнения. Так, для верхнего палеолита Г. П. Сосновский [16] констатировал полное исчезновение мамонта и песка, что было вызвано, вероятно, уходом их в более северные районы. Преобладающими представителями верхнепалеолитической фауны стали северные олени и лошади.

Фаунистические остатки более поздних, неолитических, стоянок того же Красноярского района (III группа по классификации В. И. Громова [19]) характеризуют дальнейшее прогрессивное нарастание сухого режима и формирование степной фауны (преобладание лошади и быка в равнинах, горного барана и сайги — в горах).

Отмечаемое указанными авторами для верхнего палеолита и неолита Красноярского района остепнение фауны и ландшафта тем более вероятно для Минусинской впадины, занимающей более южное географическое положение. Отсюда можно заключить, что охотничий и рыболовный промыслы людей первобытных общин верхнего палеолита и неолита Минусинской впадины развивались в условиях постепенного естественного остепнения территории и обеднения фауны. О последнем говорит отмечаемый С. В. Киселевым факт кратковременности неолитических стоянок (частое переслаивание маломощных культурных слоев с отложениями, лишенными культурных остатков). В поисках диких животных неолитические общины вынуждены были вести более подвижный (кочевой) образ жизни, чем это было в течение палеолита. Можно предполагать также, что остепнение территории явилось одной из причин развития рыболовства.

Перейдем к освещению хозяйственной деятельности первобытных общин и палеогеографической ее оценке в афанасьевскую и более поздние эпохи.

Археологические памятники афанасьевской эпохи представлены по преимуществу погребениями. Располагаются они в долине Енисея от с. Означенное на юге до с. Анаш на севере и в долинах рек правобережья (Сыды, Тубы, Лугавки и Ои) неподалеку от долины Енисея. «Характерно, — говорит С. В. Киселев ([5], стр. 28), — что пока не обнаружено ни одного афанасьевского памятника на солончаковых степях к западу от Енисея». Факт этот тем более интересен, что, согласно несколько более поздним археологическим материалам, степные пространства левобережья Енисея заселялись кочевниками-скотоводами. Случайна ли приуроченность могильников афанасьевской эпохи к долине Енисея и его правобережью? Ответить на этот вопрос помогают археологические документы, обнаруженные при раскопках могильников. Наличие в могильниках среди различного инвентаря предметов, предназначавшихся для охоты и рыбной ловли, говорит о том, что в это время продолжали развиваться эти древние виды хозяйственной деятельности человека, играя, по-видимому, еще ведущую экономическую роль. Имеющиеся документы говорят также о том, что продолжал существовать и еще более древний вид хозяйственной деятельности человека — собирательство растений, годных для употребления в пищу. Наряду с этим впервые возникло скотоводство, которое было еще ограниченным. Во всяком случае, небольшие стада домашних животных (овец, коров, лошадей) не препятствовали оседлому образу жизни афанасьевцев, о чем свидетельствуют срубы в могильных ямах и другие данные*.

Но наличие срубов в могильниках важно и в другом отношении. Их нельзя не рассматривать как показатель того, что неподалеку от афанасьевских населенных пунктов располагались леса. В состав их, по данным С. В. Киселева [5], входили лиственница, сосна, береза, ель и кедр.

Такие леса в районе афанасьевских поселений не создавали, однако, сплошного покрова, а встречались в виде отдельных массивов. Такой вывод вытекает из того факта, что срубы и бревенчатые перекрытия встречаются далеко не во всех афанасьевских могильниках. Во многих случаях они заменены плитками девонских песчаников. Против сплошного распространения смешанного леса говорит также факт развития оседлого скотоводства афанасьевцев.

Лесные массивы правобережья располагались, по-видимому, в современных долинах рек, на песчаных отложениях междуречий, т. е. в полосах древних долин рек (ленточные боры) и на северных склонах высоких увалов и сопок. В предгорьях такой лесостепной ландшафт сменялся сплошными смешанными, а затем и темнохвойными лесами.

Значительная облесенность правобережья и явилась главной причиной приуроченности афанасьевских поселений именно к этой территории. Здесь охотники и рыболовы характеризуемой эпохи находили себе более благоприятные природные условия, чем на левобережье Енисея. Там, очевидно, и в те времена сухие степи занимали значительно большие площади, чем на правобережье.

Таким образом, из оценки расселения и хозяйственной деятельности человека афанасьевской эпохи следует, что уже около четырех тысячелетий тому назад в Минусинской впадине, в частности на ее правобережье, создались ландшафтно-географические условия, близкие к современным. Иначе говоря, в указанное время уже оформились три современные

* По С. В. Киселеву ([5], стр. 28), срубы «...сооружались как жилище мертвых, отражавшее реальное жилище живых».

кольцевые зоны: степная, лесостепная и подтаежная. При этом степная зона была более широко распространена на левобережье Енисея и меньше — на правобережье. Это значит, что отмечавшееся ранее для верхнего палеолита и неолита остепнение территории впадины к концу неолита сменилось противоположным процессом — постепенным ее облесением.

Рассматривать указанные ландшафтные условия афанасьевской эпохи как отражение одной из последующих стадий остепнения впадины, начавшегося еще в конце верхнего палеолита, нельзя потому, что это противоречило бы геоморфологическим данным, согласно которым формирование покровных пород было связано с процессами интенсивного делювиально-пролювиального переотложения рыхлых пород [20]. Такие процессы могли протекать лишь в доафанасьевскую эпоху в условиях более сухого климата при отсутствии не только лесов, но и густого покрова травянистой растительности, т. е. в ксеротермическую или близкую ей эпоху.

Андроновская эпоха явилась новым этапом в развитии сформировавшихся к этому времени племен бронзового века на территории Минусинской впадины и лежащих к западу от нее степных районов Евразии. Ведущую роль в их хозяйственной деятельности стало играть скотоводство. Больше значение приобрело земледелие, возникшее еще в афанасьевскую эпоху. Совершеннее стали ремесла: гончарное, добыча меди и производство из нее оружия, украшений и орудий труда.

Развитие скотоводства и земледелия стимулировало более широкое расселение андроновских племен по территории впадины. Они вышли за пределы долины Енисея и низовий его правых притоков. Их могильники встречаются в наше время в степной и лесостепной зонах как на правом, так и на левом берегах Енисея. Обнаруживаемые в андроновских могильниках остатки срубов и бревенчатых перекрытий свидетельствуют о местных источниках древесины. Очевидно, оформившиеся к началу афанасьевской эпохи кольцевые ландшафтно-географические зоны впадины (степная, лесостепная и подтаежная) сохранялись и в течение андроновской эпохи. Они лишь подвергались значительному остепнению. Несомненно, что последнее происходило не только в результате естественного изменения климата, но и под влиянием рубок леса, производившихся более плотным населением андроновцев, а также под влиянием выпаса многочисленных стад и более широко развитого мотыжного земледелия.

Значительное остепнение впадины в течение андроновской эпохи нашло свое отражение в археологических памятниках карасукского времени.

Карасукское время во многих отношениях было своеобразным. Прежде всего обращает на себя внимание большое число могильников и захоронений, встречающихся на значительно большей территории, чем могильники и захоронения андроновской эпохи. Нет сомнения в том, что население Минусинской впадины в карасукское время стало более плотным.

Размещались карасукцы по-прежнему на территории, занимаемой современными степной и лесостепной зонами. Однако плотность населения степной зоны стала намного больше, чем в андроновскую эпоху. Этот вывод хорошо согласуется с археологическими данными, указывающими на расцвет скотоводства, в первую очередь овцеводства. Последнее создавало производственную основу для заселения степной зоны, которая, судя по распространению карасукских памятников, занимала большую территорию, чем в настоящее время.

На это указывают не только документы, говорящие о развитом овцеводстве карасукцев в районах современной лесостепной зоны. Интерес-

ным в этом отношении является факт отсутствия в карасукских могильниках деревянных срубов и накатов из бревен, несмотря на то, что такие виды строительного искусства были известны в предшествующие эпохи. По-видимому, близ степных поселений карасукцев леса отсутствовали. Они были оттеснены к предгорьям. Процесс остепнения начался, как уже указывалось ранее, в андроновскую эпоху и особенно усилился в карасукское время.

Резкое увеличение плотности населения в карасукское время явилось следствием не только естественного его прироста. Главной причиной было проникновение в Минусинскую впадину чужеземцев монголоидного типа. Это были так называемые «варварские» (не китайские) племена, которые, согласно исследованиям С. В. Киселева [5] и др., ушли из районов Монголии и Северного Китая под давлением южнокитайских племен. Поселившись в Минусинской впадине, они обусловили монголизацию местного населения. Союз племен этого монголизированного населения у китайских историков получил название дин-лин.

Пришельцы из Монголии и Северного Китая принесли с собой много нового в хозяйстве, быте и культуре. В частности, они не могли не повлиять на развитие карасукского скотоводства.

Кроме скотоводства, на территории Минусинской впадины и, в первую очередь, на ее правом берегу, дальнейшее развитие получило мотыжное земледелие, о чем свидетельствуют найденные в карасукских могильниках бронзовые серпы и другие орудия, а также предметы быта, связанные с земледелием.

Одновременное развитие скотоводства и земледелия вынуждало карасукцев вести оседлый образ жизни, который все же совмещался с временным перекочевыванием на отгонные пастбища.

Наряду со скотоводством и земледелием совершенствовалось гончарное производство, добыча меди и бронзолитейное дело.

Таким образом, археологические документы карасукского времени говорят о том, что конец бронзового века ознаменовался значительным остепнением территории Минусинской впадины. При этом несомненно, что хозяйственная деятельность карасукцев выступала в качестве весьма существенного фактора остепнения.

Остепняющая роль человека и в эту эпоху совпадала, по-видимому, с естественным изменением физико-географических условий в сторону большей сухости климата и остепнения растительного покрова. Одна только хозяйственная деятельность карасукцев не могла привести к такому широкому остепнению впадины, какое проявляется по археологическим документам.

Ниже будет показано, что в условиях тех же трех зон, но при большей плотности населения и более высоком уровне хозяйственной деятельности народов последующих эпох остепнение впадины никогда не достигало таких размеров, как в карасукское время.

Тагарская эпоха знаменовала собой постепенную смену века бронзы веком железа в Минусинской впадине. Крупные племена этой эпохи были непосредственными преемниками племен карасукского времени.

Судя по распределению могильников, расселялись они в тех же районах, что и их предшественники, продолжая вести в основном оседлую жизнь. Вместе с этим сохранились и элементы кочевничества, о чем свидетельствуют археологические памятники: среди деревянных и глинобитных тагарских домов единично встречались и юрты (шалашы).

В хозяйственной деятельности ведущее значение сохранили скотоводство и земледелие. Правда, в них произошли весьма существенные изменения. Прежде всего, резко возросла роль земледелия, особенно в

тех районах, где ему благоприятствовали природные условия. В частности, на правом берегу Енисея оно стало ведущим в экономике тагарских племен. О развитии земледелия преимущественно на правом берегу говорит тот факт, что из всех серпов, обнаруженных в тагарских могильниках, 83% приходится на правом берегу и лишь 17% — на левом берегу.

Однако плодородных земель, подобных землям правобережья, для возросшего земледельческого населения тагарской эпохи явно не хватало. Необходимость заставила осваивать и засушливые районы левобережья, прибегая к искусственному орошению. Остатки древних тагарских оросительных систем сохранились до настоящего времени в долинах рек Теса, Ерба, Уйбат и др.

В скотоводстве тагарской эпохи произошло изменение в соотношении домашних животных: резко повысился удельный вес коров и лошадей. Разведение лошадей стимулировалось развитием конного верхового транспорта.

Бронзолитейное дело в течение первой половины тагарской эпохи достигло наиболее высокого для Минусинской впадины уровня своего развития. Однако уже в середине эпохи оно стало все больше и больше уступать место железолитейному делу.

Археологические документы из могильников и стоянок говорят о том, что охота и рыбная ловля в жизни тагарцев вновь приобрели заметную роль.

Рост экономической мощи тагарских племен вызывал военные столкновения между ними, что, в свою очередь, стимулировало развитие военного искусства, отмеченного в археологических памятниках многообразием предметов вооружения и выделением племенной знати. Сплочению племен, созданию военных союзов и выделению племенной знати способствовала также необходимость отражать военные набеги южных соседей — хуннов.

Из сказанного видно, что хозяйственная и общественная жизнь тагарцев была более сложной, чем жизнь народов в предшествующие эпохи. Это не могло не вызвать усиления остепняющего влияния населения той эпохи на территорию Минусинской впадины. Тем не менее, размеры степной зоны в тагарскую эпоху сокращались. Доказывается это обилием деревянных конструкций в могильниках этой эпохи. Леса вновь появились там, где в карасукское время их не было. Очевидно, несмотря на остепняющее воздействие хозяйственной деятельности тагарцев, произошло наступление леса на степь, вызванное естественными причинами.

Тыштыкское время было эпохой, в течение которой создались этнические и материальные предпосылки для возникновения древнекыргызского (Хакасского) государства.

Для выявления палеогеографических условий и их связи с хозяйственной деятельностью древних народов тыштыкское время интересно, с одной стороны, «несоответствием» в развитии различных видов производства, а с другой — «несоответствием» развития тыштыкских производств условиям географической среды.

«Несоответствие» в развитии отдельных производств выразилось в следующем. Выше отмечалось, что в тагарскую эпоху древнее земледелие достигло своего расцвета. Наряду с этим скотоводство заметно сократилось. В тыштыкское же время, наоборот, возросла роль скотоводства и сократилась роль земледелия. При этом усилились элементы коченого образа жизни.

Создается впечатление, что доисторические племена впадины накануне нашей эры сделали шаг назад в развитии своих производительных сил.

Другие археологические данные, напротив, говорят о том, что уровень культуры и накопления материальных богатств в таштыкское время резко возрос. Высокохудожественные для того времени украшения из бронзы, железа и золота, предметы роскоши в могильниках таштыкской знати являются обычными.

Второе «несоответствие» состоит в том, что возврат к скотоводству как основному виду хозяйственной деятельности таштыкцев не вызывался существенным изменением природных условий в сторону остепнения. Наоборот, в это время продолжалось, по-видимому, наступление леса на степь, начавшееся еще в тагарскую эпоху. На это указывают не только деревянные сооружения в таштыкских могильниках, но и появившиеся различной деревянной посуды.

Причины указанных «несоответствий» станут понятными, если учесть военно-политические условия, в которых находились племена таштыкского времени.

В конце тагарской эпохи и в начале таштыкского времени произошло нечто подобное тому, что уже отмечалось ранее для карасукской эпохи, а именно: совершилась вторичная монголизация населения впадины. На этот раз сюда пришли так называемые гянь-гуни, вытесненные из Монголии хуннами. В результате смещения гянь-гуней с дин-линами Минусинской впадины создалась новая этническая группа народов, получившая у китайских историков название енисейских кыргызов, или хягасов (хакассов).

У пришельцев из степной Монголии основным видом хозяйственной деятельности было скотоводство при кочевом образе жизни. Это и обусловило то, на первый взгляд, исторически «несоответственное» расширение скотоводства в Минусинской впадине, которое произошло в таштыкскую эпоху после высоко развитого мотыжного земледелия.

Протекторат хуннов над смешанным населением Минусинской впадины в таштыкскую эпоху благоприятствовал проникновению китайской техники, культуры и искусства, которые со временем приобретали специфические местные черты.

Из археологических и письменных документов известно, например, что в I в. до н. э. на Енисее в качестве хуннского наместника был поставлен китайский военачальник Ли Лин. Это произошло после того, как Ли Лин был пленен хуннами в боях с южнокитайскими племенами. С. В. Киселев [5] считает, что Ли Лин прибыл на Енисей не один, а с большим числом других пленных китайцев, среди которых были и мастера кузнечного, литейного и ювелирного дела. Последние сыграли, несомненно, значительную роль в развитии этих производств на территории Минусинской впадины в таштыкское время. Племенная знать таштыкской эпохи приобретала предметы роскоши и путем торговли с хуннами.

Таким образом, можно констатировать, что в таштыкское время произошли сложные хозяйственные и общественно-политические изменения в жизни племен Минусинской впадины. При этом ландшафтно-географические условия в общих чертах оставались теми же, какими они были в тагарскую эпоху. Продолжалось наступление леса на степь, которому противостояло остепняющее влияние хозяйственной деятельности таштыкцев.

Новая эпоха — от начала нашей эры до XIII ее столетия — была эпохой становления и развития Кыргызского (Хакасского) государства.

Не касаясь общественно-политической истории Кыргызского государства, а также вопросов культуры и искусства, остановимся на краткой характеристике хозяйственной деятельности кыргызов.

Совокупность исторических материалов убедительно говорит о том, что основными видами хозяйственной деятельности кыргызов были земледелие и скотоводство. Удельный вес того и другого, однако, не был одинаковым в различных по природным условиям районах впадины.

Л. А. Евтюхова [8] приводит перечень населенных пунктов впадины, в районе которых найдены серпы, отвалы и лемехи китайских плугов, а также оковки деревянных сох. Всего отмечается 94 предмета, из них 57 найдены на правобережье Енисея и 37 — на левобережье, главным образом в предгорных районах. Эти и другие данные говорят в пользу того, что земледелие имело больший удельный вес в экономике кыргызов на правобережье и в предгорных районах левобережья. Скотоводство же преобладало на равнинных степных пространствах левобережья. В этом отношении кыргызская эпоха подобна тагарской. Очевидно, несмотря на сильное влияние скотоводческих традиций гянь-гуней, в кыргызскую эпоху земледелие вновь стало играть очень важную экономическую роль. Обработку почвы стали производить деревянными сохами с железными сошниками, а затем и плугами. По сравнению с предыдущими эпохами увеличилась площадь посевов. В китайских летописях сообщается, что хакасы «...сеют просо, ячмень, пшеницу и гималайский ячмень. Муку мелют ручными мельницами, хлеб сеют в третьей, а убирают в десятой луне (апрель и октябрь)» (цит. по [8], стр. 80).

Возродилось и сделало крупный шаг вперед орошаемое земледелие в засушливых районах левобережья, а также в степных долинах Тубы, Сыды и Беллыка на правобережье. Зарегистрированные оросительные системы в указанных районах отличаются от тагарских систем большей протяженностью и большим совершенством в конструктивном отношении.

Скотоводство кыргызов оставалось по преимуществу кочевым. В течение года скот перегонялся с пастбища на пастбище. По данным китайских летописей и археологическим документам из могильников, кыргызы имели овец, коров, лошадей и верблюдов. На первом месте по численности стояли овцы. Овцеводство, по-видимому, было главной отраслью скотоводства кыргызов. Впрочем, можно предполагать, что соотношения в отраслях скотоводства изменялись в зависимости от природных условий районов. Однако отсутствие конкретных документов не позволяет пока что утверждать это.

Для оценки физико-географических условий Минусинской впадины в кыргызскую эпоху важны данные об охоте. Китайские летописи и различные археологические памятники (наскальные писаницы, скелеты животных и др.) говорят о том, что эта отрасль играла важную роль в хозяйственной деятельности кыргызов. Вооруженные луком и стрелами, кыргызы охотились на косуль, горных козлов, медведей, оленей, соболя, белку, диких кабанов, кабаргу, тигра, гусей и уток. Этот перечень диких животных и птиц говорит о том, что впадина со степной и лесостепной зонами и в кыргызскую эпоху была окаймлена горной тайгой.

Очень важную отрасль кыргызского хозяйства составляли ремесла: гончарное, добыча руд, литейное, кузнечное, ювелирное и др. Потребности вооружения, земледелия и быта стимулировали развитие в первую очередь таких ремесел, которые были связаны с добычей металлов (железа, меди, золота) и их обработкой. Руды добывались в Саянах, Кузнецком Алатау и их отрогах. Оттуда они сплавлялись по рекам в центральные районы, где производилась выплавка металла и его обработка. С. В. Киселев [6] говорит, что «почти во всех сосновых лесах Минусинского района удалось встретить остатки древних железоплавильных». Здесь, очевидно, кыргызские металлурги находили наиболее благоприятные условия для выплавки металла в так называемых сыродутных

горнах. Дюнные всхолмления и рыхлый грунт позволяли быстро создавать временные железоплавильни (сыродутные горны), а сосновый лес являлся источником необходимого топлива.

Из краткой характеристики кыргызской хозяйственной деятельности видно, что протекала она в ландшафтно-географических условиях, близких современным. Существовали, очевидно, степь и лесостепь, пересекаемые ленточными борами на правобережье, а также подтаежная зона и горная тайга. Сохранение этих, уже ранее существовавших зон при несомненно высоком остепняющем действии населения эпохи Кыргызского государства можно объяснить лишь тем, что естественная эволюция ландшафтов была направлена не в сторону остепнения, а в сторону облесения впадины.

В течение XIII в. Кыргызское государство на Енисее было разрушено неоднократно нашествиями Чингисхан и его потомков. Кыргызы подверглись переселению в Маньчжурию, много их было истреблено. Это губительно отразилось на их культуре и хозяйственной деятельности.

Согласно сведениям из сибирских и московских актов XVII в. [21], после разгрома кыргызов Чингисхан в хозяйстве племен Минусинской впадины вновь стало господствовать мотыжное земледелие и кочевое скотоводство. На видное место опять выдвинулись охота и рыбная ловля.

Из тех же исторических источников известно, что в начале XVII в. на Енисее впервые появились русские. Был создан Енисейский острог, который явился форпостом дальнейшей колонизации Восточной Сибири и Минусинской впадины, в частности.

С проникновением русских было связано усиление развития в первую очередь земледелия. Стимулировалось это необходимостью обеспечивать «служилых людей» продовольствием. В начале колонизации Сибири необходимые продукты ввозились из северных районов Европейской части России (Вятка, Вологда, Сольвычегодск, Пермь). Но чем дальше на восток уходили русские, тем труднее становилось снабжать их привозным хлебом. Поэтому уже в конце XVI в. русское правительство пошло по пути развития в Сибири местного «хлебопашества». Оно стало требовать, чтобы хлебопашеством занимались на местах как «служилые люди», так и туземное население. Одновременно велась работа по переселению в Сибирь «по указу» и «по прибору», т. е. принудительно и добровольно. В середине XVI в. началась ссылка преступников «в Сибирь на вечное поселение».

Организация земледельческого хозяйства на местах возлагалась на воевод, в обязанность которых входило отыскивать удобные для земледелия районы, строить слободы без острогов, вызывать и переселять крестьян. В слободах теми же воеводами назначались приказчики, обязанностью которых был «присмотр за государевым хозяйством в слободе». Одновременно возникали и вольные займки и деревни, где крестьяне пахали земли и для себя и для государя.

Указанным образом заселялась и Минусинская впадина.

По данным П. Аргунова [22], к 1863 г. население впадины составляло около 60 тыс. человек, а спустя 27 лет (1890 г.) оно более чем удвоилось, достигнув почти 150 тыс. человек. К этому времени наиболее густо населенным оказалось правобережье впадины, особенно ее лесостепная зона. Здесь, отмечает П. Аргунов, производился уже раздел земли на душу населения. В других же районах степной и подтаежной зон еще сохранялось захватно-родовое начало в пользовании землей, т. е. имелись еще огромные возможности для дальнейшей колонизации.

Из этих же материалов П. Аргунова видно, что господствовавшая

в конце XIX в. на территории Минусинской впадины система земледелия имела своеобразный смешанный характер. В ней явственно выступали черты переложной и паровой систем с комбинацией трех- и двухпольных севооборотов. Срок культурного пользования распаханного перелога или целины составлял 10—15 лет. После подъема целины без парования поля снимали 2—3 урожая зерновых культур (рожь, яровая пшеница, овес, ячмень, просо). После этого поле паровалось с двумя или даже тремя перепашками в лето. По пару высевалась наиболее ценная культура (обычно пшеница), после снятия урожая которой поле вновь паровалось. Частым элементом такой системы был посев той или иной культуры на так называемую «ленивку», т. е. посев по жнивью, после боронования.

Кроме указанных зерновых культур, возделывались также в небольших количествах гречиха, горох, конопля, лен, подсолнечник, картофель, арбузы, дыни и обычные для Сибири огородные культуры.

Обработка почвы производилась при помощи сохи-колосухи (нечто среднее между обыкновенной сохой — рукопашной и сабаном), сабана, малороссийского плуга и деревянной бороны с железными зубьями.

Кочевое скотоводство господствовало в степных районах левобережья, где преобладало туземное хакасское население. На правобережье оно отмечается П. Аргуновым по Тубе до с. Курагино и по Сыде до с. Идра, т. е. в засушливых степных районах. поголовье скота состояло из овец, коз, лошадей, коров и свиней.

Наряду с оживлением сельского хозяйства первые шаги в своем развитии сделало лесное хозяйство (начало лесоустроительных работ и т. д.).

Появились также отдельные промышленные предприятия кустарного и полукустарного типа.

Таким образом, в течение длительного исторического периода (XIII—XVII вв.) имело место сокращение плотности населения впадины и деградация его хозяйственной деятельности. В связи с этим уменьшилось влияние человека на ландшафт рассматриваемой территории. Создались благоприятные условия для ее облесения. И если бы этот процесс протекал быстро, то за период пяти столетий сравнительно небольшая территория степной зоны полностью была бы покрыта лесом. Но этого не произошло. Степная зона сохранилась до конца XIX в., как сохранилось и кочевое скотоводство. Отсюда ясно, что процесс облесения степных пространств впадины развертывался исключительно медленно.

В XVIII—XIX вв. рост населения, сопровождавшийся расширением земледелия и скотоводства, вновь несколько усилил остепнение впадины. Однако не настолько, чтобы оно могло вызвать коренное изменение в ландшафтно-географических условиях. Продолжали существовать те же три зоны. Произошло некоторое расширение степной зоны за счет лесостепной, а последней — за счет подтаежной зоны.

Остепнение впадины под влиянием человека продолжалось и в течение XX в., вплоть до недавнего времени. Масштабы его быстро нарастали в связи с быстрым увеличением населения и развитием его хозяйственной деятельности. Только в последнее время стали предприниматься некоторые меры к рациональному облесению впадины (лесокультурные и лесомелиоративные мероприятия), которые нельзя еще признать удовлетворительными.

Значительное остепнение территории впадины, вызванное хозяйственной деятельностью местного населения в течение последних 50—100 лет, подтверждается рядом объективных показателей и сведениями от старожилов. Вместе с тем существует ряд известных объективных фак-

тов, свидетельствующих о том, что современному искусственному остепнению противостоит процесс естественного облесения открытых участков лесостепной и подтаежной зон. Учет и разумное использование этого естественного процесса может помочь в разрешении назревшей задачи — предупредить дальнейшее одностороннее остепнение территории впадины с помощью планового развития хозяйственной деятельности местного населения.

* * *

Каковы те общие выводы, которые вытекают из краткого очерка истории хозяйственной деятельности человека и оценки ее под углом зрения восстановления палеогеографических условий голоцена на территории Минусинской впадины?

Во-первых, представляется возможным говорить о том, что природные условия интересующей нас территории стали осложняться хозяйственной деятельностью человека по меньшей мере начиная с верхнего палеолита.

Во-вторых, в нарастающем влиянии человека на природные условия вообще и, в частности, на почвы и почвообразование (остепнение территории под влиянием нарастающей численности населения и усложнявшейся его хозяйственной деятельности) были и периоды «депрессий», когда это влияние в значительной степени ослабевало.

В-третьих, изменение природных условий под влиянием хозяйственной деятельности человека (остепнение) не всегда совпадало с направлением изменения их под влиянием естественных причин. Такое совпадение имело место лишь в течение верхнего палеолита и в начале неолита, а также в андроновскую и карасукскую эпохи бронзового века. Во все другие эпохи остепняющее влияние хозяйственной деятельности человека происходило на фоне противоположного, очень медленно развивающегося процесса естественного облесения территории — процесса наступления леса на степь.

В-четвертых, опираясь на все материалы по истории хозяйственной деятельности человека, мы можем следующим образом рисовать схему развития ландшафтно-географических условий Минусинской впадины в течение голоцена.

В начале послеледниковой эпохи (верхний палеолит) на территории Минусинской впадины существовали ландшафтно-географические условия, лишь отдаленно напоминавшие современные — степную, лесостепную и подтаежную зоны.

Своеобразие их состояло, по-видимому, в значительном развитии элементов тундрового ландшафта, т. е. вечной мерзлоты, травянистой растительности примедниковой зоны и спорадической заболоченности территории.

В течение верхнего палеолита и в начале неолита происходило прогрессивное остепнение территории впадины. На вопрос, каковы были последствия такого остепнения, археологические материалы ответа не дают. Однако, учитывая генезис покровных пород, можно сказать, что остепнение впадины в течение неолита знаменовало собой начало эпохи с резкоконтинентальным сухим климатом, в течение которой ландшафтно-географические условия сильно изменились. На месте степной, лесостепной и подтаежной зон образовались пустыни и сухие степи.

Во второй половине неолита процесс остепнения и опустынивания сменился противоположным процессом облесения впадины. В результате этого в начале бронзового века (афанасьевская эпоха) образовались

три кольцевые ландшафтно-географические зоны (степная, лесостепная и подтаежная), которые сменялись горной тайгой, окружавшей впадину.

В течение андроновской и особенно карасукской эпохи бронзового века облесение впадины вновь сменилось значительным остепнением ее. Вызвано оно было не только хозяйственной деятельностью местного населения, но и изменением, по естественным причинам, направления эволюции климата в сторону большей его сухости. В результате этого степная зона в карасукское время достигла внешних границ современной лесостепной зоны.

В тагарскую и последующие эпохи происходило становление современных зон. Естественное остепнение опять сменилось медленно развивавшимся облесением впадины, наступлением леса на степь. Этому процессу противостоял процесс остепнения впадины, вызывавшийся хозяйственной деятельностью человека. Он то усиливался, то ослабевал, в соответствии с изменением плотности населения и уровня развития его хозяйственной деятельности. При этом современные три кольцевые зоны впадины сохранялись. Происходило лишь некоторое смещение их границ в пределах нешироких полос, проходивших вдоль границ смежных зон.

В настоящее время протекают оба процесса — и остепнения и облесения. Соотношение их различно в различных районах впадины, причем оно далеко не всегда отвечает народнохозяйственным интересам. Задача состоит в том, чтобы путем научно обоснованного развития современной хозяйственной деятельности населения впадины достигнуть такого соотношения остепнения и облесения различных участков впадины, которое обеспечивало бы наиболее рациональное использование последних, повышение плодородия почв и, на основе этого, повышение производительности сельского и лесного хозяйства.

Томский государственный университет

Поступила в редакцию 8/XII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Киселев, Тагарская культура. Тр. секции археологии ин-та археологии и искусствоведения РАНИОН, вып. 4, М., 1929.
2. С. В. Киселев, Материалы археологической экспедиции в Минусинский край в 1923 г. Минусинск, 1929.
3. С. В. Киселев, Андроновские памятники близ с. Усть-Ерба в Хакасии. Сов. этнография, № 4, 1935.
4. С. В. Киселев, Афанасьевские курганы у с. Сыды и Теси. Сов. археология, № 2, 1936.
5. С. В. Киселев, Древняя история Южной Сибири. Материалы и исследования по археологии СССР, № 9, Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.
6. С. В. Киселев, Краткий очерк древней истории хакассов. Абакан, 1951.
7. Л. А. Евтюхова, К вопросу о каменных курганах на среднем Енисее. Тр. ГИМ, вып. VIII, М., 1938.
8. Л. А. Евтюхова, Археологические памятники енисейских кыргызов (хакассов). Абакан, 1948.
9. С. А. Теплоухов, Древние погребения в Минусинском крае. Материалы по этнографии, т. 3, вып. 2, Л., 1927.
10. С. А. Теплоухов, Опыт классификации древних металлических культур Минусинского края. Материалы по этнографии, т. 4, вып. 2, Л., 1929.
11. М. П. Грязнов, Древняя бронза Минусинских степей. Тр. Отдела истории первобытной культуры Гос. Эрмитажа, т. 1, Л., 1941.
12. А. Я. Тугаринов, Андроновские могилы. Сибирская живая старина, 1, 1926.
13. Д. А. Клеменц, Древности Минусинского музея. Томск, 1886.
14. В. П. Левашова, Из далекого прошлого южной части Красноярского края. Красноярск, 1939.
15. Г. П. Сосновский, Палеолитические стоянки Енисейской долины. Тр. II международного конф. АИЧПЕ, вып. 5, 1934.

16. Г. П. Сосновский. Позднепалеолитические стоянки Енисейской долины. В кн. Палеолит СССР, Л., 1935.
17. Н. К. Ауэрбах. Доисторическое прошлое Приенисейского края, Каменный период. Красноярск, 1929.
18. Н. К. Ауэрбах, Г. П. Сосновский. Материалы к изучению палеолитической индустрии и ее нахождения на стоянке Афонтова П. Тр. Комиссии по изуч. чета. периода, т. 1, Изд. АН СССР, 1932.
19. В. И. Громов. Палеонтологическое и археологическое обоснование стратиграфии четвертичного периода. Тр. ИТН, вып. 64, М., 1948.
20. С. А. Коляго. Четвертичные отложения правобережной части Минусинской впадины. Тр. ТГУ, т. 133, Томск, 1956.
21. В. Е. Писарев. К вопросу о происхождении земледелия и домашних культур Восточной Сибири. Изд. АН СССР, М.—Л., 1956.
22. П. Аргунов. Очерк сельского хозяйства Минусинского края и обязательный каталог сельскохозяйственного отдела музея. Описание Минусинского музея, вып. 1, Казань, 1892.

Т. П. СЛАВНИНА

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РАССОЛЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛУГОВЫХ СОЛОНЧАКАХ БАРАБЫ

Расширение орошаемых площадей на территории Советского Союза требует всестороннего изучения вопроса о влиянии орошения на состав и свойства почв. В работах последних лет [1—5] влияние орошения на свойства многих почв (особенно черноземов и каштановых) освещено достаточно полно. Данных же о пищевом режиме солончаков и особенно о влиянии на него процесса рассоления почти нет. Вместе с тем, вполне понятно, что изменение степени засоления и солевого состава солончаков при промывании должно неизбежно привести к изменению в содержании и подвижности питательных веществ в почвах.

Исходя из этого, мы поставили перед собой задачу изучить на первом этапе в лабораторных условиях влияние процесса рассоления на содержание и подвижность питательных веществ в луговых солончаках Барабы. С этой целью в 1953 г. нами при участии студентов М. С. Красовской и В. М. Емельяновой были проведены соответствующие лабораторные опыты. Для исследования были взяты луговые смешанные солончаки из Каргатского района Новосибирской области. Проведен анализ водной вытяжки по профилю почв. Выяснено содержание гумуса (валового по Тюрину и воднорастворимого по Кубель-Тиману). Определены также валовой азот микрохромовым методом Тюрина, легкогидролизуемый азот по Тюрину и Кононовой, аммиак с реактивом Несслера, нитраты колориметрически по Грандваль-Ляжу, нитриты по методу Грисса и Лунге, валовой фосфор обработкой почвы царской водкой с дальнейшим количественным определением по Малиюгину и Хреновой, подвижный калий по Бровкиной.

Чтобы выяснить влияние процесса рассоления на подвижность и запас питательных веществ в солончаках, в лабораторных условиях проведено промывание почв двух образцов из верхнего горизонта А дистиллированной водой. При этом одна часть почвы промывалась до отрицательной реакции на Cl^- , а в другой части почв промывание проводилось до отрицательной реакции на SO_4^{2-} (до появления первых мутных капель).

После промывания образцы почв доводились до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Исходные образцы смачивались дистиллированной водой приблизительно до влажности промытых образцов и высушивались в тех же условиях при комнатной температуре, что и промытые.

При первом промывании до отрицательной реакции на Cl^- было израсходовано около 8 л воды на каждый образец весом 200 г; при дальнейшем промывании до отрицательной реакции на SO_4^{2-} израсходовано около 14 л воды на каждый образец того же веса.

В промытых образцах определялись указанными выше методами азот валовой, азот легкогидролизуемый, аммиак, нитраты, нитриты, фосфорная

Таблица 1

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH	Сухой оста-ток, %	Минеральный остаток, %	Cl'		SO ₄ '		HCO ₃ '		Общая щелочность в HCO ₃ '		Ca*		Mg*		Na+K*		
						%	м-экв	%	м-экв	%	м-экв	%	м-экв	%	м-экв	%	м-экв	%	м-экв	%
1	A	0-10	7,5	2,58	2,09	0,383	10,78	1,004	25,10	0,015	0,25	0,041	0,68	0,282	14,10	0,095	7,83	14,63		
		15-25	7,5	2,75	2,32	0,340	9,58	0,968	24,20	0,013	0,22	0,024	0,39	0,304	15,22	0,101	8,33	10,62		
	B	30-40	7,5	2,21	1,77	0,270	7,60	0,965	24,13	0,014	0,23	0,023	0,37	0,281	14,08	0,078	6,44	11,58		
		50-60	7,6	1,90	1,56	0,220	6,20	0,820	20,50	0,007	0,11	0,013	0,21	0,251	12,54	0,062	5,14	9,23		
	C ₁	80-90	7,7	1,64	1,33	0,190	5,35	0,700	17,51	0,006	0,10	0,015	0,25	0,228	11,40	0,049	4,06	7,65		
2	A'	0-10	7,5	1,82	1,24	0,115	3,24	0,656	16,40	0,024	0,40	0,036	0,59	0,070	3,51	0,046	3,76	12,96		
		15-25	7,5	2,07	1,54	0,102	2,87	0,912	22,80	0,017	0,28	0,041	0,67	0,091	4,54	0,053	4,36	17,44		
	A''	30-40	7,6	0,93	0,49	0,085	2,39	0,376	9,40	0,015	0,24	0,041	0,67	0,029	1,43	0,022	1,80	9,23		
		B ₁	50-60	7,6	0,69	0,39	0,079	2,22	0,248	6,20	0,013	0,22	0,046	0,75	0,021	1,03	0,006	0,51	7,63	
	B ₂	70-80	7,6	0,56	0,28	0,050	1,41	0,072	1,81	0,016	0,26	0,050	0,82	0,015	0,75	0,006	0,49	2,80		
B ₃	100-110	7,6	0,20	0,18	0,031	0,87	0,068	1,70	0,011	0,30	0,051	0,84	0,011	0,57	0,005	0,39	2,45			
B ₄	140-150	7,5	0,14	0,12	0,028	0,78	0,048	1,20	0,022	0,37	0,025	0,41	0,0008	0,04	0,003	0,29	2,06			

* Натрий + калий определены путем расчета по разности между суммой миллиэквивалентов анионов и суммой миллиэквивалентов катионов.

кислота — валовая и воднорастворимая, гумус — валовой и воднорастворимый. Кроме того, определена органически связанная фосфорная кислота по Карпинскому и Замятинной. Минеральная фосфорная кислота рассчитывалась по разнице между валовой и органически связанной.

В водной вытяжке определялись сухой и минеральный остатки.

Прежде чем перейти к обсуждению результатов опыта, рассмотрим данные о солевом составе исследованных солончаков и влиянии на него промывания (табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что засоление исследованных солончаков является карбонатно-хлоридно-сульфатным. При этом степень засоления почв значительна, особенно разреза 1.

Максимальное скопление хлоридов и сульфатов отмечается в верхней части профиля солончаков. Но значительно засолены и нижние горизонты. Исследованные солончаки как по степени, так и по характеру засоления являются типичными для Барабинской низменности. Солевой профиль их отражает характерную картину распределения солей по горизонтам.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что после промывания солончаков до отрицательной реакции на хлор сухой остаток в гор. А на глубине 0—10 см уменьшался почти в 3 раза (в обеих почвах), а минеральный — в 6 раз в солончаке разреза 1 и в 10 раз в солончаке разреза 2.

Таблица 2

Сухой и минеральный остатки до и после промывания солончаков в %

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	До промывания		После промывания до отрицат. реакции на С ₁ '		После продолжит. промывания до отрицат. реакции на SO ₄ '	
			сухой	минеральный	сухой	минеральный	сухой	минеральный
1	A	0-10	2,58	2,09	0,86	0,35	0,45	0,04
		15-25	2,75	2,32	1,09	0,54	0,48	0,09
2	A'	0-10	1,82	1,24	0,70	0,12	0,19	0,01
		15-25	2,07	1,54	0,78	0,15	0,32	0,06

На глубине 15—25 см сухой остаток уменьшился после промывания в 2,5—3 раза, а минеральный в 4 раза в солончаке разреза 1 и почти в 10 раз в солончаке разреза 2.

После более продолжительного промывания (до отрицательной реакции на SO₄') количество солей в обоих солончаках исчислялось лишь соевыми долями процента.

Естественно предположить, что эти большие изменения в степени засоления и в солевом составе почв должны оказать существенное влияние на содержание и подвижность тех или иных элементов питания. Проведенные опыты подтверждают высказанное предположение.

Данные, характеризующие изменения в содержании и подвижности питательных веществ в луговых солончаках при промывании, приведены в табл. 3 и 4.

Из табл. 3 видно, что обе исследованные почвы (исходные) отличаются значительным содержанием гумуса и высокой обеспеченностью питательными веществами.

Валовое содержание гумуса в обеих почвах после промывания их до отрицательной реакции на Cl' значительно уменьшилось. Объясняется это тем, что продолжительное воздействие воды на почвенный поглощающий комплекс отчасти разрушает гумус, при этом часть гумусовых веществ

Таблица 3
Изменения в содержании гумуса, калия и различных форм азота в результате промывания солончаков

№ разреза	Горизонт и глубина, см	Варианты опыта	Гумус валовой, % на абс. сухую почву		Гумус воднорастворимый		Азот валовой, % на абс.-сухую почву	Азот легкогидролизуемый, мг на 1 кг почвы	Минеральные формы азота, мг на 1 кг почвы			Калий подвижный, мг на 100 г почвы
			мг 0,05N KMnO ₄ на 100 г почвы	%	аммиак (NH ₃)	нитраты (NO ₃)			нитриты (NO ₂)			
1	0-10 A 15-25	До промывания	6,7	148,2	0,038	0,37	227,5	73,6	6,2	6,4	10,0	
			6,3	76,0	0,020	0,35	187,5	73,2	2,2	5,4	9,0	
1	0-10 A 15-25	После промывания до отрицат. реакции на Cl ⁻	6,1	64,0	0,016	0,36	127,5	112,5	3,9	14,9	7,2	
			5,9	27,0	0,007	0,30	110,0	101,5	1,7	16,9	7,2	
1	0-10 A 15-25	После продолжит. промывания	5,9	42,0	0,011	0,34	192,5	137,8	4,2	22,1	6,0	
			5,1	26,0	0,007	0,29	285,0	145,8	2,0	19,2	6,0	
2	0-10 A' 15-25	До промывания	10,1	80,0	0,021	0,56	127,5	72,8	7,7	3,9	6,0	
			8,4	52,8	0,013	0,45	110,0	85,6	3,4	9,6	5,0	
2	0-10 A' 15-25	После промывания до отрицат. реакции на Cl ⁻	9,7	38,0	0,009	0,55	112,5	111,7	4,7	9,0	6,0	
			7,1	20,0	0,005	0,42	90,0	107,5	2,3	10,1	6,0	
2	0-10 A' 15-25	После продолжит. промывания	9,6	23,0	0,006	0,53	197,5	134,7	6,6	19,4	4,5	
			6,9	15,0	0,004	0,39	252,5	132,1	3,2	17,2	4,5	

становится подвижной и вымывается. Это подтверждается и данными об изменениях в содержании воднорастворимого гумуса.

При промывании до отрицательной реакции на хлор в исследованных солончаках уменьшается также количество азота как валового, так и подвижного, легкогидролизуемого. При этом валовой азот, будучи наиболее устойчивым, испытывает небольшие количественные изменения, содержание же легкогидролизуемого азота после промывания уменьшается заметно.

Обращают на себя внимание данные о минеральном азоте.

Количество аммиака после промывания возрастает в обоих солончаках, что указывает на довольно интенсивно идущий процесс аммонификации в этих почвах при условии длительного и усиленного увлажнения. При этом аммиак, как катион, хорошо поглощаемый почвой, вымывался, по-видимому, очень слабо.

В обоих солончаках отмечалось также увеличение содержания нитритов после промывания почвы.

Содержание нитратов в результате промывания уменьшается во всех случаях, что вполне понятно и объясняется их отрицательной адсорбцией почвами. Вместе с тем, сложившиеся при промывании почв анаэробные условия, не препятствуя течению процессов аммонификации и первой стадии нитрификации, тормозят переход нитритов в нитраты.

Таблица 4

Влияние процесса рассоления на содержание различных форм фосфорной кислоты в луговых солончаках

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Варианты опыта	Валовая фосфорная к-та (P ₂ O ₅)		Возрастываемая фосфорная к-та, мг P ₂ O ₅ на 1 кг почвы	Органическая фосфорная кислота (P ₂ O ₅)*		Минеральная фосфорная кислота (P ₂ O ₅)			
				%	мг на 1 кг почвы		%	мг на 1 кг почвы	% от валовой P ₂ O ₅	мг на 1 кг почвы	% от валовой P ₂ O ₅	
1	A	0-10 15-25	До промывания	0,0789	789	2,9	Не определялись					
				0,0711	711	1,5						
1	A	0-10 15-25	При промывании до отрицат. реакции на Cl ⁻	0,0602	602	7,5	0,0366	366	60,7	0,0236	236	39,3
				0,0587	587	6,5	0,0151	151	25,7	0,0336	336	74,3
1	A	0-10 15-25	При более продолжит. промывании	0,0441	441	2,2	0,0149	149	33,4	0,0297	297	66,6
				0,0544	544	1,8	0,0033	33	6,6	0,0511	511	93,4
2	A'	0-10 15-25	До промывания	0,0530	530	2,0	Не определялись					
				0,0480	480	0,8						
2	A'	0-10 15-25	При промывании до отрицат. реакции на Cl ⁻	0,0518	518	5,4	0,0318	318	63,3	0,0200	200	36,7
				0,0461	461	5,1	0,0140	140	30,3	0,0321	321	69,7
2	A'	0-10 15-25	При более продолжит. промывании	0,0456	456	1,4	0,0170	178	39,0	0,0439	439	60,9
				0,0432	432	1,2	0,0031	31	7,1	0,0390	390	92,9

* Фосфорная кислота, связанная с органическим веществом почвы.

При промывании солончаков до отрицательной реакции на хлор наблюдаются также изменения в содержании фосфорной кислоты и в соотношении ее различных форм. Рассматривая данные, приведенные в табл 4, можно легко заметить, что после промывания почв происходит значительное уменьшение валовой фосфорной кислоты и увеличение ее воднорастворимых форм. Под воздействием воды происходит мобилизация некоторых труднорастворимых соединений и переход их в более растворимые формы.

Еще более четко прослеживается влияние процесса рассоления на пищевой режим солончаков при продолжительном промывании их до отрицательной реакции на SO₄.

Из полученных данных следует, что продолжительное воздействие воды на солончаки приводит к значительному обеднению их органическими веществами: количество валового гумуса падает на 0,8% в разрезе 1 и на 0,5% в разрезе 2; более чем в три раза уменьшается содержание воднорастворимых форм гумуса в обоих солончаках.

Валовое содержание азота при длительном промывании почв также заметно уменьшается. Но в то же время наблюдается увеличение подвижных легкогидролизуемых форм азота.

Отсюда следует, что продолжительное промывание солончаков, сопровождающееся почти полным удалением солей, влечет за собой усиление минерализации гумуса и освобождение подвижных легкогидролизуемых форм азота. Это подчеркивается и дальнейшим значительным увеличением содержания аммиачных и нитритных соединений азота. При этом наблюдается даже некоторое увеличение количества нитратов по сравнению с первым промыванием, хотя оно все-таки не превышает содержания их в исходных почвах.

Отмечается уменьшение количества подвижного калия при продолжительном промывании, что объясняется, по-видимому, тем, что калий вытесняется из почвенного поглощающего комплекса ионом водорода и вымывается из почвы.

При более длительном промывании почв еще более уменьшается содержание валовой фосфорной кислоты, что связано не только с выносом минеральных фосфатов, но и с усиленным разложением органических форм фосфорной кислоты. Особенно большое уменьшение количества валовой фосфорной кислоты наблюдается в верхней части горизонта А на глубине 0—10 см, несмотря на то, что здесь фосфор в значительной части связан с органическим веществом.

При длительном воздействии воды на почвы наблюдается уменьшение содержания органическисвязанной фосфорной кислоты по сравнению с количеством ее в образцах почв, промытых до отрицательной реакции на СУ. Параллельно уменьшению количества органическисвязанной фосфорной кислоты после промывания почв возрастает содержание ее минеральных форм.

При продолжительном воздействии на солончаки воды наблюдается вымывание воднорастворимой фосфорной кислоты, накопленной при первом промывании почв за счет мобилизации труднорастворимых форм фосфатов.

Выводы

1. Удаление солей при промывании смешанных луговых солончаков Барабы и сам процесс промывания оказывают значительное влияние на содержание и подвижность питательных веществ в почве.
2. Наряду с уменьшением степени засоления солончаков при промывании наблюдается обеднение их гумусом и основными элементами питания — азотом, калием и фосфорной кислотой, а также переход одних форм питательных веществ в другие.
3. Продолжительное промывание солончаков приводит к мобилизации основного фонда питательных веществ и к увеличению подвижных легкогидролизуемых, а также аммиачных и нитритных соединений азота. Содержание подвижного калия и воднорастворимой фосфорной кислоты при продолжительном промывании значительно уменьшается.
4. Полученные результаты, указывая на существенное изменение пищевого режима солончаков при их промывании, подчеркивают необходимость учета этого явления в полевых условиях.

Томский государственный
университет

Поступила в редакцию
11/XII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Д. Беспалов, Влияние лиманного орошения на почвы междуречья. Торгун—Водянка. Тр. Комиссии по ирригации, сб. 10, Изд. АН СССР, М.—Л., 1937.
2. В. А. Ковда, Общие результаты изучения влияния водохранилищ и орошения Заволжья. Тр. Комиссии по ирригации, сб. 10, Изд. АН СССР, М.—Л., 1937.
3. А. П. Бирюкова, К вопросу о скорости естественного рассоления почв. Почвоведение, № 7, 1942.
4. А. П. Бирюкова, Четырнадцатилетний опыт орошения почв в Заволжье на местном стоке. Почвоведение, № 4, 1952.
5. И. Н. Антипов-Каратаев, В. Н. Филиппова, Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы Европейской части СССР, Изд. АН СССР, М., 1955.

Л. В. ПОПОВ

К ВОПРОСУ О ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЛЕСА

Вопросы лесной типологии давно занимают внимание как ученых-исследователей лесов, так и практических работников лесного хозяйства. Однако, несмотря на ряд совещаний и дискуссий по этому поводу, прошедших в последнее десятилетие в нашей стране, теоретические основы типологии лесов еще очень далеки от совершенства.

Большой интерес в этом отношении представляет доклад Б. П. Колесникова на конференции Сибирского отделения АН СССР 13 сентября 1957 г., опубликованный на страницах данного журнала [1, 2].

Применение фитоценологической классификации при исследовании лесов Сибири встречает очень большие трудности. Знакомство с документами лесоустройства для обширных лесных районов Средней Сибири показывает, что попытки применить эту классификацию к сибирским лесам быстро свелись лишь к заимствованию названий типов леса и имели очень мало общего с принципами фитоценологической классификации.

Крайне ограниченный набор сведений о лесах многих районов Сибири (причем сведений, не всегда достоверных, а нередко и просто ошибочных), с одной стороны, и быстрое вовлечение лесов в хозяйственное использование, с другой, приводят к необходимости составления упрощенных схематических классификаций. Создание таких классификаций обусловлено стремлением дать народному хозяйству в короткий срок обоснованные рекомендации по дифференциации лесного хозяйства в районах быстрого промышленного освоения лесных массивов.

Исследуя леса района строительства предприятий Братского промышленного комплекса, мы сделали попытку построения такой классификации, рассматривая ее как этап создания более детальной типологической схемы. В этой работе встретился ряд трудностей, связанных со спецификой местных лесов. Стремление преодолеть эти трудности привело к ряду выводов, во многом совпадающих с принципами генетической типологии лесов Б. П. Колесникова [1, 2].

Рассматривая указанные работы Б. П. Колесникова, особенно вторую из них, как весьма серьезный вклад в совершенствование лесной типологии, мы считаем возможным сделать некоторые замечания по этому поводу.

1. В работе Б. П. Колесникова не совсем четко разграничены длительные восстановительные и вековые смены.

Причины, вызывающие длительные восстановительные смены в лесу, одновременно служат, как правило, причинами длительных и нередко необратимых изменений экологических условий. Кроме того, сами длительные восстановительные смены в лесу являются в той или иной мере

этапами эволюции географического ландшафта, поскольку полная цикличность в таких сменах невозможна.

На фоне общей ксероморфизации Средней Сибири, наблюдающейся в современный геологический период, лесные пожары являются серьезным фактором, убыстряющим этот процесс. Вместе с тем, лесные пожары до настоящего времени остаются основной причиной кратковременных и длительных восстановительных смен на огромной территории. Нам представляется, что длительные восстановительные смены по характеру процесса более близки к вековым изменениям ландшафта, чем к кратковременным восстановительным сменам.

2. Некоторые сомнения представляет целесообразность выделения аллювиальных смен в отдельную группу.

Во-первых, подобные смены охватывают небольшую часть площади лесов, к тому же пойменных лесов, которые нередко можно рассматривать как интразональные или, во всяком случае, нехарактерные для данной зоны.

Во-вторых, трудно уловить принципиальное различие между аллювиальными и кратковременными восстановительными сменами (в той трактовке аллювиальных смен, которая приведена в докладе Б. П. Колесникова). Скорее можно думать, что различие это лишь количественное.

В целях упрощения теоретической основы генетической классификации было бы целесообразней считать аллювиальные смены частным случаем кратковременных восстановительных смен.

3. Следует сделать несколько замечаний по поводу понятия «главная лесобразующая порода». Здесь может быть несколько вариантов в зависимости от масштаба этого понятия:

- а) порода, являющаяся экологически доминирующей на данном этапе возрастных или кратковременных восстановительных смен, т. е. главная лесобразующая порода типа насаждения;
- б) главная лесобразующая порода типа леса, т. е. экологически доминирующая на данном этапе длительных восстановительных смен;
- в) порода, дающая устойчивые неменяющиеся типы леса в конкретных лесорастительных условиях на данном этапе вековых смен, т. е. главная для генетического ряда типов леса;
- г) главная лесобразующая порода для разных экологических условий, т. е. главная для лесной формации.

Принимая тип леса за основную единицу классификации, следует, очевидно, считать главной лесобразующей породой породу, экологически доминирующую в пределах типа леса.

Практическое применение этого понятия связано с известными трудностями. Дело в том, что в лесном хозяйстве существует термин «главная порода», под которым понимается древесная порода, являющаяся объектом хозяйственной деятельности на конкретной совокупности участков леса (в данном хозяйстве). Она далеко не всегда является преобладающей в древостоях и экологически доминирующей. Лесоводы имеют дело именно с этой, хозяйственно главной породой и для нее находят основные показатели роста, смен и пр. В противоположность им ботаники имеют дело с преобладающей породой, причем чаще всего с преобладающей не по запасу древесины, а по числу особей на единице площади. Такое различие в методике сильно затрудняет взаимное использование данных указанными специалистами.

Вместе с тем, весьма трудно в ряде случаев определить, какая порода экологически доминирует на конкретном участке. Для обоснованного суждения об этом нужно довольно длительное инструментальное исследование

дование. Визуальные наблюдения нередко могут оказаться субъективными, разноречивыми и потому несоместимыми и ошибочными.

Очевидно, нужно иметь какой-то практически достаточно определенный признак (или группу признаков) для установления «главной лесобразующей породы» на каждом конкретном участке леса.

Для предварительных схематических классификаций в качестве главной лесобразующей породы можно условно принять преобладающую по запасу в спелых древостоях данного типа леса (в возрасте кульминации текущего прироста по запасу для основного возрастного поколения этой породы).

4. Трудно согласиться с тем, что в качестве основного критерия лесорастительных условий следует принять рельеф участка (Б. П. Колесников подчеркивает, что именно рельеф, а не почвенные условия).

По нашему мнению, правильнее было бы считать основным показателем типа лесорастительных условий род или подрод почвы.

Положение по рельефу еще далеко не определяет комплекса экологических условий. На очень ограниченном участке местности на одних и тех же элементах рельефа и одной высоте над уровнем моря нередко встречаются совершенно различные по составу геологические наносы, что ведет к резкому различию в типе лесорастительных условий. Если учитывать только рельеф и геологическое строение, т. е. лишь два из ряда факторов почвообразования, то оценка опять будет неполной и нередко ошибочной.

Беря в качестве критерия комплекс условий почвообразования и оценивая его по результату — характеру почвы в каждом конкретном случае, мы не только достаточно определенно устанавливаем особенности экологических условий в настоящее время, но и создаем возможность судить об общем направлении процесса изменения этих условий. В качестве дополнительного признака, характеризующего тип лесорастительных условий, следует принять положение по рельефу. Безусловно, что для лесов горных районов этот признак более важен и может считаться главным, для равнинных же лесов, в том числе и на сравнительно сильно пересеченной местности, этот фактор теряет свое главенствующее значение.

В условиях Средней Сибири существенные изменения температурного и водного режимов почвы происходят в результате лесных пожаров. Например, после повальных лесных пожаров заметно сокращаются сроки и интенсивность сезонной мерзлоты почв. Этот серьезный для Средней Сибири фактор нельзя не учитывать при определении типа лесорастительных условий. Нельзя не заметить, что практическое определение типа лесорастительных условий в конкретных случаях может представлять значительные трудности на огромной территории Сибири.

Если в качестве основного критерия для установления типа лесорастительных условий принять характер почвы (точнее, ее род или подрод), то эти трудности будут обусловлены специфичностью и очень слабой изученностью сибирских таежных почв. Однако типологическое и инвентаризационное исследование лесов обычно сопровождается хотя бы ориентировочным знакомством с особенностями почвенного покрова. При достаточно квалифицированном выполнении (и некоторой детализации) этого знакомства указанная трудность может быть преодолена.

Если принять в качестве основного критерия особенности рельефа, то трудности, по нашему мнению, усугубляются.

Очевидно, что экспозиция, крутизна склона и расположение лесорастительности в его частях еще не характеризуют экологических условий. Необходимо знать также зависимости гидрологических условий,

геологического строения и характера почв от особенностей рельефа. Зависимости эти сложны и неодинаковы в пределах даже сравнительно небольших территорий.

Показателем всех этих условий (с известными приближениями) могут быть формы эрозионного, аккумулятивного или тектонического расчленения местности. Однако такие формы и их связь с геологическим строением, гидрологическими и почвенными условиями изучены лишь для Европейской части нашей страны (да и то неполностью). Для обширных районов Сибири таких данных не имеется.

5. Слабо объясненным в работе Б. П. Колесникова остается понятие лесной формации.

В очень многих случаях в один генетический ряд войдут типы леса с разными главными породами. Что в таких случаях даст объединение типов леса разных генетических рядов по принципу единства главной породы? В разных генетических рядах эти типы леса будут являть собой отнюдь не одинаковые стадии лесообразовательного процесса. В хозяйственном отношении такие формации также не будут представлять какого-либо единства (кроме частных случаев в экстенсивных хозяйствах), так как в них войдут участки с резко различными лесорастительными условиями.

В своей более ранней и подробной работе по лесной типологии [3] Б. П. Колесников склонен придавать большое хозяйственное значение понятию «лесная формация», ассоциируя его в сильной степени с известным в лесоустройстве и лесном хозяйстве понятием «хозяйство».

Это представляется нам несколько преувеличенным. Во-первых, хозяйственное понятие «главная порода» и понятие «главная лесобразующая порода» не синонимы. Поэтому формации по «главной породе» (т. е. «хозяйства») и формации по «главной лесобразующей породе» (т. е. «лесные формации») далеко не всегда будут совпадать.

Если принять во внимание, что в лесах различных эксплуатационных групп и лесах специального назначения хозяйственные «главные» породы совершенно аналогичных участков леса могут быть различными, то понятие «лесная формация» заметно теряет свое хозяйственное значение.

Во-вторых, в лесах одной и той же эксплуатационной группы (предположим, III группы) довольно часты случаи образования двух различных хозяйств с одинаковыми главными породами: например, хозяйства на крупнотоварную сосновую древесину и мелкотоварного соснового хозяйства. Наоборот, нередко одно хозяйство объединяет леса с двумя или несколькими главными породами, например, «лиственное хозяйство» с включением в него березовых и осиновых, а зачастую также тополевых и ольховых лесов.

В подобных, довольно широко распространенных случаях разделение лесов по «лесным формациям» не используется в практике лесоустройства.

Нам представляется, что выделять лесные формации в масштабах регионов низших порядков нет необходимости. В масштабах крупных географических регионов (зон, провинций, областей) выделение лесных формаций как зонально-географических единиц, безусловно, имеет определенное значение. Последнее было ранее отмечено Б. П. Колесниковым [3], но не отражено должным образом в его докладе [1, 2].

6. Нельзя согласиться с высказыванием Б. П. Колесникова о том, что наличие естественных классификаций является необходимой предпосылкой составления классификации генетической.

Как же тогда быть с обширными районами Сибири, где не составле-

не никаких классификаций леса (мы имеем в виду классификации, которые хотя бы в слабой степени были научно обоснованы)? Если следовать мнению Б. П. Колесникова, то составление генетической классификации для многих районов Сибири может быть делом лишь довольно отдаленного будущего, поскольку эту работу можно будет начать лишь после составления естественных классификаций.

Вместе с тем естественная классификация далеко не всегда может быть достаточно хорошей основой генетической классификации. Некоторые стадии двух различных генетических рядов типов леса могут быть весьма сходны по составу растительности, и поэтому по фитоценологической классификации они будут отнесены к одному типу леса.

Чтобы ускорить и облегчить создание генетической классификации, следует предварительно составить упрощенные генетические классификационные схемы, уточняя и усложняя их по мере накопления данных.

Эту работу нужно начинать, по нашему мнению, с выделения наиболее крупных таксономических единиц, переходя затем по мере накопления материалов к более малым единицам.

Нередко применительный порядок классифицирования путем разделения природного разнообразия на элементарные (или основные) единицы и последующего слияния их в более крупные стадии, по нашему мнению, существенно неадекватен, из которых отметим следующие:

а) для всесторонне обоснованного разделения на малые таксономические единицы нужно иметь большой фактический материал. Само же накопление этого материала требует предварительного систематического типизирования объекта. За возможным достаточным количеством сведений разделение на малые единицы проводят нередко по одному или нескольким (и тому же не всегда ведущим) признакам. Отсюда возникают серьезные затруднения и необходимость вводить крупные единицы в типологические схемы;

б) синтез как метод в общем труднее анализа, поэтому движение от низших единиц к высшим труднее обратного процесса. Научное знание идет не от абстракций, а так же направление развивается извещенное использование природных богатств. В связи с этим и классифицирование удобно проводить в этом же направлении, учитывая, что для составления генетической классификации лесов слабоизученных районов Сибири потребуется довольно длительное время.

Последнее знание складывается с высказыванием Б. П. Колесникова [2] о том, что детальность классификации должна соответствовать потребностям хозяйства (в настоящем и в перспективе).

Для выделения крупных генетических единиц внутри элементарного диапазона лучшим критерием служит тип лесорастительных условий, определяемый наряду почва с учетом положения по рельефу и степени воздействия лесных пожаров.

Все разновозрастные леса, вырастающие в одном типе лесорастительных условий, являются генетическим рядом типов леса. Более детальное изучение этого разновозрастного ряда может показать, что здесь не одна, а две или несколько таксономических рядов (т. е. группа родственных генетических рядов). Подобный случай мы считаем вполне закономерным в процессе исследования.

Следующей таксономической единицей — тип леса — удобно выделять не главную породу в данном типе лесорастительных условий. Наличие той или иной главной породы указывается, во-первых, на определенных стадиях лесорастительного процесса в данном ряду и, во-вторых, наличием ее специфичной экологической обстановки в лесу, поскольку главная

порода и ей сопутствующие создают свойственные им изменения среды, т. е. условия местопрорастания.

Класс бонитета главной породы должен служить признаком для выделения типа леса. Однако в пределах одного типа лесорастительных условий класс бонитета данной породы может варьировать в довольно узких пределах. Вместе с тем, в течение одной генерации древесной породы нередко изменяется ее класс бонитета. Поэтому не следует считать этот признак основным.

Выделение низших таксономических единиц — типов насаждений — удобнее производить на основании комплексной оценки состава сопутствующих пород древостоя и строения и состава нижних ярусов растительности при определенном возрасте главной породы.

Мы акцентируем внимание на необходимости исходить из возраста главной породы, так как только учет этого важного показателя позволит разобраться в динамике смен растительности в пределах одного типа леса. Состав растительности различных возрастных стадий близких типов леса может быть очень сходным. Если не принимать во внимание возраст главной породы, то может получиться серьезная путаница в определении динамики смен.

В качестве градаций возраста главной породы, очевидно, удобнее использовать возрастные стадии древостоев, принятые в лесном хозяйстве: молодняки, жердняки, средневозрастные, припевающие, спелые, перестойные.

Понимать эти стадии следует не шаблонно, как это иногда делается, — по классам возраста, а с учетом биологических свойств конкретной древесной породы. Физиономические признаки этих градаций известны лесоводам. Нет необходимости учитывать все указанные стадии, можно взять лишь наиболее характерные из них.

7. Остановимся на вопросе о названиях таксономических единиц.

Не подлежит сомнению, что полное научное название таксономической единицы должно основываться на признаках, по которым она выделяется. Предлагаемые нами признаки не полностью совпадают с таковыми у Б. П. Колесникова, поэтому рассмотрим этот вопрос несколько подробнее.

Поскольку генетический ряд типов леса мы предлагаем выделять по общности почв и рельефа с учетом воздействия лесных пожаров, то и в названии генетического ряда эти признаки должны быть охарактеризованы. Приведем пример такого названия: «Темнохвойная тайга на дерново-лесных суглинистых почвах склонов и водоразделов». В данном случае нет необходимости вводить указание на периодичность и интенсивность лесных пожаров, поскольку леса этой группы очень чувствительны к действию огня и не встречаются на площадях, пройденных лесными пожарами в течение периода последней генерации древостоя. Второй пример: «Светлохвойные леса на дерново-лесных суглинистых почвах склонов и водоразделов с периодическим воздействием беглых низовых пожаров».

В названии типа леса, очевидно, нет необходимости повторять признаки генетического ряда, к которому он относится, а достаточно лишь кратко назвать этот ряд, например: «Кедрово-пихтовый лес ряда темнохвойной тайги» или «Лиственнично-сосновый лес ряда светлохвойных лесов на дерново-лесных суглинистых почвах».

Название типа насаждения может быть близко к тому, какое принято давать в фитоценологической классификации для типа леса, с добавлением лишь типа леса, к которому это насаждение относится, например: «Средневозрастный ельник-черничник типа еловых лесов». Краткое на-

звание типа леса может быть заменено сокращенным названием генетического ряда, если это окажется более удобным.

8. До сих пор не обращалось внимания на важность количественной характеристики древостоев выделяемых таксономических единиц. Б. П. Колесников совершенно справедливо обращает внимание на это обстоятельство и рекомендует применять статистические методы в лесной типологии.

В связи с этим необходимо остановиться на одном существенном для характеристики древостоев моменте.

Для генетической классификации лесов крайне важно знать возрастную структуру древостоев, количественную характеристику отдельных возрастных поколений и динамику возрастного состава древостоев. Вместе с тем в нашей стране не нашло еще всеобщего признания учение об «элементе леса», развиваемое таксационной школой Н. В. Третьякова (Н. В. Третьяков, П. В. Горский, Г. Г. Самойлович [4], П. В. Горский [5]). Часть лесоустроительных организаций продолжает учитывать леса не по возрастным группам древесных пород, а обобщенно по породам. Занимающиеся лесной типологией ботаники, не будучи, как правило, достаточно компетентными в лесной таксации, имеют возможность дать только самую общую количественную характеристику древостоев, причем зачастую даже без самого слабого намека на математическую обоснованность приводимых данных.

Особенно большое значение приобретает учение об элементе леса для таксации лесов Сибири. Породный состав и, в особенности, возрастная структура лесов Сибири в общем значительно сложнее, чем таежных лесов Европейской части нашей страны. Даже сравнительно простые по структуре сосняки центральной части Иркутской области состоят нередко из 4—6 элементов леса сосны. Таксирование их как единого целого (что пока еще очень распространено) приводит к ошибкам в определении запаса и сортиментной структуры на 50% и более и ничего не дает для выяснения направления процессов смен древостоя в них.

Поэтому необходимо подчеркнуть, что для генетической классификации нужна количественная характеристика древостоев с обязательным учетом их возрастной структуры.

Изложенное выше следовало бы пояснить примером развернутой схемы классификации лесов какого-либо района с обоснованием и полной характеристикой выделенных таксономических единиц. Однако размеры журнальной статьи не представляют такой возможности. Поэтому ограничимся перечислением выделенных генетических рядов типов леса левобережной части Братского района Иркутской области; для одного из рядов укажем типы леса и для одного из типов леса — типы насаждений.

Генетические ряды типов леса

I. Темнохвойная тайга на дерново-лесных суглинистых почвах склонов и водоразделов.

II. Светлохвойные леса на дерново-лесных суглинистых почвах склонов и водоразделов с периодическим воздействием беглых низовых пожаров.

III. Светлохвойные леса на дерново-карбонатных глинистых и тяжело-суглинистых почвах водораздельных плато и склонов с короткопериодическим воздействием низовых пожаров.

IV. Сосняки на свежих подзолистых почвах легкого механического

состава склонов и водораздельных плато с периодическим воздействием низовых пожаров.

V. Сосняки на сухих подзолистых песчаных почвах высоких водоразделов и мест с резко выраженным рельефом, с периодическим воздействием низовых пожаров.

VI. Светлохвойные леса на щебневатых смытых дерново-лесных суглинистых почвах траптовых холмов.

VII. Заболоченные леса на перегнойно-глеевых и торфяно-глеевых почвах пойм рек и ручьев и плоских заболоченных водоразделов.

В генетическом ряду темнохвойной тайги можно выделить следующие типы леса в генетической их последовательности (повторять название генетического ряда при данном перечислении нет необходимости):

A. Еловый лес.

B. Кедровый лес.

B. Кедрово-пихтовый лес.

Г. Пихтовый лес.

В типе елового леса, как, впрочем, и в последующих типах леса данного генетического ряда, можно выделить экспозиционные варианты в понимании Б. П. Колесникова [3]:

1) еловый лес дренированных водоразделов и верхних и средних частей склонов всех экспозиций;

2) еловый лес нижних частей склонов.

В типе кедрового леса, кроме вариантов, аналогичных указанным для елового леса, необходимо выделить кедровые леса северных склонов, резко отличающиеся по условиям местопрорастания.

Дальнейшее исследование, возможно, покажет, что отмеченные экспозиционные варианты типов леса составляют самостоятельные генетические ряды, однако для подобного разделения пока еще нет оснований.

Укажем последовательно сменяющиеся типы насаждений леса по экспозиционным его вариантам:

Вариант 1. Еловый лес дренированных водоразделов и верхних и средних частей склонов:

а) березовые молодняки злаково-разнотравные;

б) березовые жердняки с подростом ели, разнотравные;

в) смешанные лиственно-еловые средневозрастные леса, разнотравно-черничные;

г) ельники-черничники приспевающие, спелые и перестойные.

Вариант 2. Еловый лес нижних частей склонов:

а) осиновые молодняки злаково-широкотравные;

б) осиновые жердняки с подростом ели, кислично-широкотравные;

в) осиново-еловые средневозрастные широколиственно-кисличные;

г) ельники-кисличники приспевающие, спелые и перестойные.

Мы намеренно приводим здесь типы насаждений для первого в генетическом ряду типа леса, так как в этом типе леса наиболее резко проявляются кратковременные восстановительные смены.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
23/XII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Колесников, Состояние советской лесной типологии и проблема генетической классификации типов леса. Изв. СО АН СССР, № 2, 1958.

2. Б. П. Колесников, О генетической классификации типов леса и задачах лесной типологии в восточных районах СССР. Изв. СО АН СССР, № 4, 1958.
3. Б. П. Колесников, Кедровые леса Дальнего Востока. Тр. ДФВАН СССР, II (IV), Изд. АН СССР, М.—Л., 1956.
4. Н. В. Третьяков, П. В. Горский, Г. Г. Самойлович, Справочник таксатора. М.—Л., 1952.
5. П. В. Горский, Элементы леса и закономерности строения древостоев элементов леса. Сб. Учет лесосырьевых ресурсов и устройство лесов, № 1, 1957, № 2, 1958. НТО лесн. пром., Ленингр. обл. правление.

В. Н. КОВАЛЕВ

ФОТОПЕРИОДИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ФАСОЛИ

Влияние на растения соотношения продолжительности дня и ночи получило название фотопериодизма [1]. Отношение растений к продолжительности дня в значительной мере связано с их географическим происхождением [2, 3]. Многие исследователи фотопериодизмом объясняют время зацветания растений в природе [1, 4—7] и распределение их по территории земного шара [3].

В многочисленных работах по фотопериодизму растениям дозируются светлый и темный периоды суток. Физиологическая значимость каждого из этих периодов в фотопериодической реакции не выяснена, и только в последнее время появились работы, направленные на выяснение этого вопроса [8—10].

Гарнер и Аллард [11] установили, что для получения эффекта от укороченного дня необходимо темный промежуток в течение суток давать растению одним сплошным отрезком времени, не прерывая его светлыми промежутками. Так, если в сутки растение получает непрерывно 12-часовую ночь и 12-часовой день, то в результате имеем обычный короткодневный эффект. Если же 12 темных часов дать растению в течение суток так, чтобы каждый темный час чередовался со светлым, то в этом случае будем иметь длиннодневную реакцию.

Академик Т. Д. Лысенко [6] явление фотопериодизма объясняет с точки зрения стадийности развития растений. Согласно этому представлению, после стадии яровизации наступает следующая стадия развития, которую он называет световой. Для прохождения ее одни растения нуждаются в определенном сроке пребывания на свету, так как у них свет ускоряет наступление плодоношения, другие же растения нуждаются в определенном сроке пребывания в темноте, так как у них свет задерживает плодоношение. Первые являются растениями длинного дня, а вторые растениями короткого дня. У последних именно в темные промежутки времени осуществляются процессы, обуславливающие плодоношение, и они протекают тем быстрее (при прочих равных условиях), чем более сжато во времени дается темный промежуток; там, где темнота может быть дана растению 24 часа в сутки, процессы подготовки к плодоношению протекают более быстро [12]. Но так как в непрерывной темноте растения не могут существовать из-за прекращения фотосинтеза, то необходима периодическая смена света и темноты, причем в течение светлого периода суток в растениях идут процессы питания, а в течение темного периода — стадийные изменения [13].

Таким образом, в наше представление, что за ночные часы в растениях идет отток накопленных за день пластических веществ и усиленно развиваются ростовые процессы, должны быть внесены коррективы: у растений короткого дня в ночные часы развиваются, кроме того, и процессы подготовки к плодоношению.

В отличие от стадии яровизации, которая может проходить в едва тронувшихся в рост зародышах семени, для прохождения световой стадии необходимо наличие листьев, так как большинство растений только посредством их воспринимает изменения в длине дня. К моменту окончания световой стадии у растений короткого дня в точках роста видимых морфологических изменений обычно не происходит. У растений длинного дня окончание световой стадии сопряжено с первыми этапами формирования органов плодоношения [14].

Большое значение для прохождения световой стадии имеют температурные условия. У всех без исключения растений световая стадия проходит при повышенной температуре [6, 15—17].

Фасоль обыкновенная — *Phaseolus vulgaris* (L.) Savi, — растение тропического происхождения. Все исторические документы указывают на то, что она происходит из Мексики, Перу и Гватемалы [18—22]. Испанцы доставили фасоль в Европу после Колумба. В Россию она попала в XVII в. [21, 23].

Гарнер и Аллард [1, 24, 25] по реакции на длину дня относят фасоль к типичным растениям короткого дня. Однако изучение стадийного развития различных форм и экотипов *Ph. vulgaris* рядом советских и зарубежных авторов [3, 26—28] показало, что по реакции на короткий день все формовое разнообразие этого вида распределяется на три группы, связанные с происхождением:

I. Формы короткого дня, у которых световая стадия быстрее всего проходит при коротком, 8—12-часовом дне. Сюда относятся формы Южной и Центральной Америки, Мексики, Экваториальной Африки, закавказские и ряд северокавказских, украинских, германских и французских. Из сортов, культивируемых в СССР, сюда относятся Триумф, Щедрая, Довжик, Жемчужная, Широкостручная и др.

II. Формы длинного дня, цветение которых ускоряется на непрерывном свете. В эту группу отнесены формы южной и центральной части СССР и некоторые формы Мексики, Гватемалы, Колумбии и Боливии. Из сортов, возделываемых в СССР, сюда входят Восковая Дэвиса, успешно вызревающая в защищенном грунте на широте Хибин [29], и германский сахарный сорт Консервная.

III. Формы нейтральные или слабо реагирующие на короткий день. Это довольно пестрая группа форм, включающая сорта, возделываемые в северной части СССР, в УССР и Северной Европе, а также в Японии, советском Приморье, Египте и Палестине. Из сортов, возделываемых в СССР, сюда относятся Розово-пестрая, зацветающая при любой длине дня, Гороховидная, Изумрудная, Золотая гора, Рефюджи, Курская спаржевая, Оливки, Бомбы и др.

Установлено [3—5, 22, 26, 29, 30], что в зависимости от условий прохождения световой стадии одни и те же сорта фасоли становятся то раннеспелыми, то позднеспелыми, резко меняют свой габитус, анатомическое строение листьев и продуктивность.

По реакции на качественный состав света формы длинного и короткого дня также резко различны. Так, по наблюдениям В. И. Разумова [31—33], у длиннодневных форм цветение наступает почти одновременно при любой длине волны светового луча, образование же бобов стимулируется длинным днем и красными лучами. Синезеленый свет действует как укороченный день, подавляет рост растений, превращая вьющиеся формы в кустовые. Короткодневные формы не зацветают при длинном дне и красном свете и запаздывают с цветением на желтом свете. Синезеленый свет стимулирует у них как зацветание, так и образование бобов. Таким образом, знание природы световой стадии сортов фасоли име-

ет большое практическое значение. На основании особенностей стадийного развития сортов можно более разумно подбирать исходные родоначальные формы для получения новых сортов, а также заранее предвидеть их правильное районирование [34]. Поэтому всякий новый сорт, перед тем, как пускать его в массовое размножение, необходимо подвергнуть стадийному изучению.

Эти соображения и побудили нас заняться изучением фотопериодической природы некоторых сортов фасоли, выведенных нами в условиях Киргизии. При постановке опытов нами преследовался и некоторый теоретический интерес. Известно, что ареал естественного местообитания и первичной культуры *Ph. vulgaris* находится примерно между 0° и 25° с. ш. и ю. ш., где продолжительность дня не более 12—14 часов [18, 19]. Территория вторичной культуры различных форм этого вида — Украина — расположена примерно между 46° и 52° с. ш., Киргизия, куда фасоль завезена переселенцами в конце XIX — начале XX вв., расположена между 40° и 43° с. ш. Поэтому очень важно было установить фотопериодическую природу сложившихся форм фасоли в условиях Киргизии, а также изучить и некоторые другие вопросы, связанные с фотопериодизмом.

Таким образом, основной целью исследований являлось:

- 1) изучить фотопериодическую природу сортов фасоли, выведенных нами путем гибридизации и путем отбора из местных и инорайонных популяций;
- 2) установить возраст растений, в котором они лучше всего реагируют на фотопериодическое воздействие;
- 3) определить продолжительность темнового периода, после которого растения вступают в фазу цветения.

Методика исследований

Исследования производились в полевых условиях и в вегетационных сосудах. В 1950 г. опыты ставились на опытном поле Киргизского сельскохозяйственного института, а в 1951 г. в Ботаническом саду Киргизской Академии наук, расположенных рядом на совершенно одинаковых почвах (суглинистый серозем) предгорной части Чуйской долины (г. Фрунзе) на высоте около 800 м над ур. м.

Как в полевых опытах, так и в опытах с вегетационными сосудами изучалось 12 сортов фасоли, в том числе один старый сорт Триумф луцильный (Грибовской овощной опытной станции), репродуцировавшийся нами в течение 10 лет с применением массового отбора в условиях Киргизии, и 11 сортов нашей селекции, из которых 8 выведено методом индивидуального отбора и 3 — путем гибридизации.

Из сортов, выведенных методом индивидуального отбора, изучались следующие: Бомба белая 40, Бомба белая 42, Бомба пестрая — К, Пестросемянная — К, Белая 645, Плоскосемянная — К, Ласточка — К, Белозерная — К. Для первых семи сортов исходным материалом служили местные, киргизские популяции фасоли, а для последнего сорта — воронежский образец.

Из гибридных сортов изучались Триумф круглозерный 85, Круглозерная 39 и Телесная 644. Первые два сорта получены от скрещивания сортов Триумф луцильный и Белозерная — К, а последний — от скрещивания сортов Триумф луцильный и Красносемянная — К (сорт выведен методом индивидуального отбора из местной популяции).

Для полевых опытов была принята такая схема:

1. Контроль — естественный день;

В отличие от стадии яровизации, которая может проходить в едва тронувшихся в рост зародышах семени, для прохождения световой стадии необходимо наличие листьев, так как большинство растений только посредством их воспринимает изменения в длине дня. К моменту окончания световой стадии у растений короткого дня в точках роста видимых морфологических изменений обычно не происходит. У растений длинного дня окончание световой стадии сопряжено с первыми этапами формирования органов плодоношения [14].

Большое значение для прохождения световой стадии имеют температурные условия. У всех без исключения растений световая стадия проходит при повышенной температуре [6, 15—17].

Фасоль обыкновенная — *Phaseolus vulgaris* (L) Sav., — растение тропического происхождения. Все исторические документы указывают на то, что она происходит из Мексики, Перу и Гватемалы [18—22]. Испанцы доставили фасоль в Европу после Колумба. В Россию она попала в XVII в. [21, 23].

Гарнер и Аллард [1, 24, 25] по реакции на длину дня относят фасоль к типичным растениям короткого дня. Однако изучение стадийного развития различных форм и экотипов *Ph. vulgaris* рядом советских и зарубежных авторов [3, 26—28] показало, что по реакции на короткий день все формовое разнообразие этого вида распределяется на три группы, связанные с происхождением:

I. Формы короткого дня, у которых световая стадия быстрее всего проходит при коротком, 8—12-часовом дне. Сюда относятся формы Южной и Центральной Америки, Мексики, Экваториальной Африки, закавказские и ряд северокавказских, украинских, германских и французских. Из сортов, культивируемых в СССР, сюда относятся Триумф, Щедрая, Довжик, Жемчужная, Широкостручная и др.

II. Формы длинного дня, цветение которых ускоряется на непрерывном свете. В эту группу отнесены формы южной и центральной части СССР и некоторые формы Мексики, Гватемалы, Колумбии и Боливии. Из сортов, возделываемых в СССР, сюда входят Восковая Дэвиса, успешно вызревающая в защищенном грунте на широте Хибин [29], и германский сахарный сорт Консервная.

III. Формы нейтральные или слабо реагирующие на короткий день. Это довольно пестрая группа форм, включающая сорта, возделываемые в северной части СССР, в УССР и Северной Европе, а также в Японии, советском Приморье, Египте и Палестине. Из сортов, возделываемых в СССР, сюда относятся Розово-пестрая, зацветающая при любой длине дня, Гороховидная, Изумрудная, Золотая гора, Рефюджи, Курская спаржевая, Оливки, Бомбы и др.

Установлено [3—5, 22, 26, 29, 30], что в зависимости от условий прохождения световой стадии одни и те же сорта фасоли становятся то раннеспелыми, то позднеспелыми, резко меняют свой габитус, анатомическое строение листьев и продуктивность.

По реакции на качественный состав света формы длинного и короткого дня также резко различны. Так, по наблюдениям В. И. Разумова [31—33], у длиннодневных форм цветение наступает почти одновременно при любой длине волны светового луча, образование же бобов стимулируется длинным днем и красными лучами. Синезеленый свет действует как укороченный день, подавляет рост растений, превращая выющиеся формы в кустовые. Короткодневные формы не зацветают при длинном дне и красном свете и запаздывают с цветением на желтом свете. Синезеленый свет стимулирует у них как зацветание, так и образование бобов. Таким образом, знание природы световой стадии сортов фасоли име-

ет большое практическое значение. На основании особенностей стадийного развития сортов можно более разумно подбирать исходные родоначальные формы для получения новых сортов, а также заранее предвидеть их правильное районирование [34]. Поэтому всякий новый сорт, перед тем, как пускать его в массовое размножение, необходимо подвергнуть стадийному изучению.

Эти соображения и побудили нас заняться изучением фотопериодической природы некоторых сортов фасоли, выведенных нами в условиях Киргизии. При постановке опытов нами преследовался и некоторый теоретический интерес. Известно, что ареал естественного местообитания и первичной культуры *Ph. vulgaris* находится примерно между 0° и 25° с. ш. и ю. ш., где продолжительность дня не более 12—14 часов [18, 19]. Территория вторичной культуры различных форм этого вида — Украина — расположена примерно между 46° и 52° с. ш., Киргизия, куда фасоль завезена переселенцами в конце XIX — начале XX вв., расположена между 40° и 43° с. ш. Поэтому очень важно было установить фотопериодическую природу сложившихся форм фасоли в условиях Киргизии, а также изучить и некоторые другие вопросы, связанные с фотопериодизмом.

Таким образом, основной целью исследований являлось:

- 1) изучить фотопериодическую природу сортов фасоли, выведенных нами путем гибридизации и путем отбора из местных и инорайонных популяций;
- 2) установить возраст растений, в котором они лучше всего реагируют на фотопериодическое воздействие;
- 3) определить продолжительность темнового периода, после которого растения вступают в фазу цветения.

Методика исследований

Исследования производились в полевых условиях и в вегетационных сосудах. В 1950 г. опыты ставились на опытном поле Киргизского сельскохозяйственного института, а в 1951 г. в Ботаническом саду Киргизской Академии наук, расположенных рядом на совершенно одинаковых почвах (суглинистый серозем) предгорной части Чуйской долины (г. Фрунзе) на высоте около 800 м над ур. м.

Как в полевых опытах, так и в опытах с вегетационными сосудами изучалось 12 сортов фасоли, в том числе один старый сорт Триумф луцильный (Грибовской овощной опытной станции), репродуцировавшийся нами в течение 10 лет с применением массового отбора в условиях Киргизии, и 11 сортов нашей селекции, из которых 8 выведено методом индивидуального отбора и 3 — путем гибридизации.

Из сортов, выведенных методом индивидуального отбора, изучались следующие: Бомба белая 40, Бомба белая 42, Бомба пестрая — К, Пестросемянная — К, Белая 645, Плоскосемянная — К, Ласточка — К, Белозерная — К. Для первых семи сортов исходным материалом служили местные, киргизские популяции фасоли, а для последнего сорта — воронежский образец.

Из гибридных сортов изучались Триумф круглозерный 85, Круглозерная 39 и Телесная 644. Первые два сорта получены от скрещивания сортов Триумф луцильный и Белозерная — К, а последний — от скрещивания сортов Триумф луцильный и Красносемянная — К (сорт выведен методом индивидуального отбора из местной популяции).

Для полевых опытов была принята такая схема:

1. Контроль — естественный день;

2. Короткий, 10-часовой день в течение 10 суток;
3. Короткий, 10-часовой день в течение 15 суток;
4. Короткий, 10-часовой день в течение 20 суток;
5. Короткий, 10-часовой день в течение 25 суток.

В каждом варианте опыта выращивалось по 10 растений каждого сорта, которые размещались в один рядок. Повторность опыта трехкратная.

Посев в 1950 г. производился 16 мая, в 1951 г. — 10 мая. Такие относительно поздние сроки сева для местных условий устанавливались с той целью, чтобы поставить контрольные растения при прохождении световой стадии в условия 14—15-часового освещения, близкие к тем, в которых фасоль проходит световую стадию на Украине. Ширина междурядий равнялась 50 см, а расстояние между растениями в рядках 10 см. Семена высевались сухие, заделка их в почву производилась на глубину 5—6 см.

В 1950 г. затемнение опытных растений было начато 10 июня, в 1951 г. — 3 июня, т. е. на 13—14-й день после всходов. К этому времени растения имели нормально развитые примордиальные листочки и достаточно развитый первый настоящий тройчатый лист; у них имелся уже и второй настоящий лист. Длина дня укорачивалась для растений путем затемнения их с 6 часов вечера до 8 часов утра светонепроницаемыми ящиками, сделанными из деревянного каркаса, обтянутого с трех сторон и торцов толстым картоном. Длина ящика — 6 м, высота — 0,6 м, ширина — 0,4 м. Каждым таким ящиком одновременно затемнялось 60 растений — по 10 от каждого сорта фасоли.

В 1951 г. проводился опыт с теми же сортами фасоли и в вегетационных сосудах с целью проверить результаты полевых исследований и изучить реакцию сортов на круглосуточное освещение.* Была принята такая схема:

1. Контроль — естественный день;
2. Короткий, 10-часовой день до начала зацветания растений;
3. Круглосуточное освещение до начала зацветания растений.

Опыт проводился в двух повторностях. В качестве сосудов использовались глиняные горшки 16×18 см, которые набивались почвой с того же участка, на котором ставился полевой опыт. Посев фасоли в горшки производился 13 июня сухими семенами. В каждый горшок высевалось по 6 всхожих семян. После появления всходов в сосудах оставлялось по 3 наиболее развитых растения. Всего в опыте было 72 сосуда, из которых 24 являлись контрольными, 24 подвергались затемнению и 24 — круглосуточному освещению. Затемнению и круглосуточному освещению растения начали подвергаться на 6-й день после всходов. Укорочение дня достигалось с помощью ящика, которым растения укрывались с 6 часов до наступления темноты. Непрерывный 24-часовой день создавался на световой площадке, где опытные растения в ночные часы (от заката до восхода солнца) освещались электрическими лампочками по 150 ватт. На каждый квадратный метр световой площадки устанавливалось по 4 таких лампочки на высоте 1 м от растений.

В полевых условиях фасоль во все годы проведения опытов выращивалась при орошении, получая за вегетационный период 4—5 бороздковых полива; в вегетационных сосудах растения поливались ежедневно (по весу). В полевых и вегетационных опытах ежедневно велись наблюдения за началом цветения растений.

Одновременно с этим ежедневно (три раза в сутки) измерялась

* Опыт проводился аспирантом А. Кайкиевым.

температура приземного слоя воздуха возле растений на открытой поверхности и под укрытиями.

Реакция сортов на длину дня отменялась по зацветанию контрольных и опытных растений. Наблюдения велись за каждым растением в отдельности, после чего определялась средняя дата зацветания для каждого сорта, которая, как правило, совпадала с датой зацветания 50% растений. Ускорение (+) и запаздывание (—) сортов в цветении определялись по разнице в числе дней между средними датами зацветания контрольных и опытных растений.

Результаты исследований и их обсуждение.

Данные полевых опытов (табл. 1 и 2) показывают, что растения фасоли сортов Триумф круглозерный 85, Бомба белая 42, Бомба пестрая — К, Ласточка — К, Белая 645 и Белозерная — К при коротком дне в 1950 г. ускорили цветение на 1—4 дня, а в 1951 г. на 2—8 дней по сравнению с контролем; у сортов Круглозерная 39 и Телесная 644 отмечалось запаздывание с цветением при коротком дне соответственно на 2—5 и 5—8 дней против контроля. Сорта же Пестросемянная — К, Триумф луцильный, Бомба белая 40 и Плоскосемянная — К оказались нейтральными по отношению к короткому дню, так как опытные и контрольные растения этих сортов как в 1950 г., так и в 1951 г. зацвели одновременно. При этом отмечено, что сортам Бомба пестрая — К, Белозерная — К, Ласточка — К для ускорения зацветания достаточно было

Таблица 1

Влияние короткого дня на скорость зацветания фасоли в полевом опыте 1950 г.

Сорта	Средняя дата начала цветения					Среднее число дней от всходов до начала цветения					Ускорение (+) или запаздывание (—) с цветением против контроля (в днях) при 25-суточном затемнении
	контроль	10-часовой день в течение				контроль	10-часовой день в течение				
		10 суток	15 суток	20 суток	25 суток		10 суток	15 суток	20 суток	25 суток	
Триумф круглозерный 85	28/VI	28/VI	28/VI	28/VI	25/VI	32	32	32	32	29	+3
Бомба белая 42	3/VII	3/VII	3/VII	3/VII	1/VII	37	37	37	37	35	+2
Белая 645	6/VII	6/VII	6/VII	5/VII	5/VII	40	40	40	39	39	+1
Бомба пестрая — К	4/VII	4/VII	4/VII	4/VII	2/VII	38	38	38	38	36	+2
Ласточка — К	30/VI	28/VI	28/VI	28/VI	26/VI	34	32	32	32	30	+4
Белозерная — К	9/VII	8/VII	8/VII	8/VII	7/VII	43	42	42	42	41	+2
Круглозерная 39	23/VI	24/VI	27/VI	27/VI	28/VI	27	28	31	31	32	-5
Телесная 644	24/VI	24/VI	24/VI	26/VI	26/VI	28	28	28	30	30	-2
Бомба белая 40	4/VII	4/VII	4/VII	4/VII	4/VII	38	38	38	38	38	0
Пестросемянная — К	5/VII	5/VII	5/VII	5/VII	5/VII	39	39	39	39	39	0
Плоскосемянная — К	6/VII	6/VII	6/VII	6/VII	6/VII	40	40	40	40	40	0
Триумф луцильный	23/VI	23/VI	23/VI	23/VI	23/VI	27	27	27	27	27	0

Таблица 2

Влияние короткого дня на скорость зацветания фасоли в полевом опыте 1951 г.

Сорта	Средняя дата начала цветения					Среднее число дней от всходов до цветения					Ускорение (+) или запаздывание (-) с цветением по сравнению с контролем (в днях) при 24-часовом затемнении
	контроль	10-часовой день в течение				контроль	14-часовой день в течение				
		10 суток	15 суток	20 суток	25 суток		10 суток	15 суток	20 суток	25 суток	
Триумф круглозерный 85	28/VI	28/VI	28/VI	28/VI	25/VI	38	33	38	38	35	+3
Бомба белая 42	2/VII	2/VII	2/VII	2/VII	28/VI	42	42	42	42	38	+4
Белая 645	8/VII	8/VII	8/VII	6/VII	6/VII	48	48	48	46	46	+2
Бомба пестрая — К	10/VII	6/VII	2/VII	2/VII	2/VII	50	46	42	42	42	+8
Ласточка — К	2/VII	28/VI	28/VI	28/VI	28/VI	42	38	38	38	38	+4
Белозерная — К	8/VII	6/VII	6/VII	6/VII	2/VII	48	46	46	46	42	+6
Круглозерная 39	28/VI	2/VII	2/VII	2/VII	6/VII	38	42	42	42	46	-8
Телесная 644	23/VI	23/VI	23/VI	28/VI	28/VI	33	33	33	38	38	-5
Бомба белая 40	2/VII	2/VII	2/VII	2/VII	2/VII	42	42	42	42	42	0
Пестросемянная — К	6/VII	6/VII	6/VII	6/VII	6/VII	46	46	46	46	46	0
Плоскосемянная — К	2/VII	2/VII	2/VII	2/VII	2/VII	42	42	42	42	42	0
Триумф лучильный	28/VI	28/VI	28/VI	28/VI	28/VI	38	38	38	38	38	0

10—20-дневного периода затемнения; сортам же Белая 645, Триумф круглозерный 85, Бомба белая 42 для вступления в фазу цветения потребовался 20—25-дневный темновой период. Это указывает на то, что развитие первых трех сортов быстрее проходит в темноте, при этом они удовлетворяются очень малым количеством темноты. Последние же два сорта этой группы для вступления в фазу цветения нуждаются в относительно большем количестве темноты.

Из группы длиннодневных сортов, запаздывающих с цветением при коротком дне, сорт Круглозерная 39 для вступления в пору плодоношения требует большего количества света, чем другие, так как уже после 10-дневного периода затемнения у него началось запаздывание с цветением на 5—8 дней. Сорт Телесная 644 из этой группы начал запаздывать с цветением при коротком дне на 2—5 дней только после 20-дневного периода затемнения, т. е. оказался менее требовательным к количеству света для вступления в фазу цветения.

Поведение сортов при коротком дне в вегетационных опытах было аналогичным их поведению в полевых опытах (табл. 3). Для установления фотопериодической реакции у испытывавшихся сортов фасоли вполне достаточным оказался 25-дневный период затемнения, так как удлинение срока темнового периода до момента зацветания растений не ускоряло начала их цветения.

Результаты вегетационных опытов показали также, что при круглосуточном освещении короткодневные сорта, как правило, запаздывают

с цветением на 1—11 дней, а длиннодневные, наоборот, ускоряют цветение на 2—3 дня против контроля. Исключением оказался короткодневный гибридный сорт Триумф круглозерный 85, растения которого зацвели почти одновременно на естественном, 14—15-часовом и длинном, 24-часовом дне.

Таблица 3

Влияние длины дня на скорость зацветания фасоли в вегетационном опыте 1951 г. (по данным А. Койкиева)

Сорта	Дата начала цветения			Число дней от всходов до цветения			Ускорен. (+) или запаздывание (-) с цветением против контроля (в днях)	
	контроль	10-часовой день от всходов до цветения	24-часовой день от всходов до цветения	контроль	14-часовой день от всходов до цветения	24-часовой день от всходов до цветения	10-часовой день от всходов до цветения	24-часовой день от всходов до цветения
Триумф круглозерный 85	22/VII	20/VII	22/VII	32	30	32	+2	0
Бомба белая 42	25/VII	23/VII	26/VII	35	33	36	+2	-1
Белая 645	8/VII	6/VII	16/VII	49	36	57	+13	-8
Бомба пестрая — К	24/VII	23/VII	26/VII	34	33	36	+1	-2
Ласточка — К	23/VII	22/VII	26/VII	33	32	36	+1	-3
Белозерная — К	30/VII	26/VII	18/VII	40	36	51	+4	-11
Круглозерная 39	18/VII	19/VII	16/VII	28	29	26	-1	+2
Телесная 644	19/VII	20/VII	16/VII	29	30	26	-1	+3
Бомба белая 40	21/VII	21/VII	24/VII	31	31	34	0	-3
Пестросемянная — К	26/VII	26/VII	25/VII	36	36	35	0	+1
Плоскосемянная — К	22/VII	22/VII	30/VII	32	32	40	0	-8
Триумф лучильный	19/VII	19/VII	21/VII	29	29	31	0	-2

Поведение нейтральных сортов в отношении короткого дня при 24-часовом освещении было различным. Так, сорт Пестросемянная — К при круглосуточном освещении ускорил цветение на 1 день, а остальные сорта этой группы — Триумф лучильный, Бомба белая 40, Плоскосемянная — К — запаздывали с цветением на 2—8 дней против контрольных растений. Это свидетельствует о том, что для последних оптимальным является 14—15-часовой день.

Сводные данные полевых и вегетационных опытов, приведенные в табл. 4, показывают, что все изучавшиеся нами сорта по реакции на длину дня можно разбить на следующие 5 групп:

I. Группа сортов короткого дня, ускоряющих цветение на 1—13 дней при коротком, 10-часовом дне и запаздывающих с ним на 1—11 дней при круглосуточном освещении, по сравнению со сроками цветения при естественном, 14—15-часовом дне (контроль). Это, по всей вероятности, формы, сложившиеся в условиях короткого дня тропиков. Сюда относятся: Бомба белая 42, Бомба пестрая — К, Ласточка — К, Белая 645 и Белозерная — К;

II. Группа сортов короткого дня, ускоряющих цветение на 2—3 дня при коротком, 10-часовом дне, по сравнению с естественным, 14—15-часовым днем, и совершенно не реагирующих на длинный, 24-часовой день. Эта группа в наших опытах была представлена всего лишь одним

сортом Триумф круглозерный 85, полученным от скрещивания короткодневного сорта Белозерная — К с не реагирующим на короткий день сортом Триумф луцильный;

Таблица 4

Распределение сортов фасоли на группы по реакции на длину дня

Группа	Сорта	Ускорение (+) или запаздывание (—) с цветением против контроля (в днях)			
		полевые опыты		вегетационные опыты (1951 г.)	
		10-часовой день в течение 25 суток		10-часовой день от недельных всходов до цветения	24-часовой день от недельных всходов до цветения
		1950 г.	1951 г.		
I	Бомба белая 42	+2	+4	+ 2	- 1
	Бомба пестрая — К	+2	+8	+ 1	- 2
	Ласточка — К	+4	+4	+ 1	- 3
	Белая 645	+1	+2	+13	- 8
	Белозерная — К	+2	+6	+ 4	-11
II	Триумф круглозерный 85	+3	+3	+2	0
III	Круглозерная 39	-5	-8	-1	+2
	Телесная 644	-2	-5	-1	+3
IV	Пестросемянная — К	0	0	0	+1
V	Триумф луцильный	0	0	0	-2
	Бомба белая 40	0	0	0	-3
	Плоскосемянная — К	0	0	0	-8

III. Группа сортов длинного дня, ускоряющих цветение на 2—3 дня при длинном, 24-часовом дне и запаздывающих с цветением на 1—8 дней при коротком, 10-часовом дне. Сюда вошли два гибридных сорта: Круглозерная 39 и Телесная 644, полученных от скрещивания сорта Триумф луцильный киргизской репродукции с короткодневными сортами — соответственно с Белозерной — К и Красносемянной — К;

IV. Группа нейтральных по отношению к короткому дню сортов, слабо реагирующих положительно на 24-часовой день. Сюда отнесен сорт Пестросемянная — К, выделенный методом индивидуального отбора из местной пестросемянной популяции фасоли;

V. Группа нейтральных по отношению к короткому дню сортов, запаздывающих с цветением при 24-часовом непрерывном освещении на 3—8 дней против естественного, 14—15-часового дня. Сюда вошли сорта: Триумф луцильный киргизской репродукции, Бомба белая 40 и Плоскосемянная — К. По всей вероятности, исходные формы этих сортов сложились либо в высокогорных долинах южных широт, либо на крайних границах естественного ареала местообитания. Не исключена также возможность их формирования в более умеренных широтах вторичной культуры фасоли.

Таким образом, общепринятое деление форм вида *Ph. vulgaris* по их реакции на длину дня на 3 группы — короткодневную, длиннодневную и нейтральную — является слишком схематичным, не охватывающим всего разнообразия биологических форм по данному признаку.

Наши исследования показали, что имеются короткодневные формы, развитие которых ускоряется при коротком, 10-часовом дне; из них одни

запаздывают с цветением при длинном, 24-часовом дне, а другие остаются нейтральными по отношению к длинному дню. Далее, имеются типичные формы длинного дня, запаздывающие с цветением при коротком дне и ускоренно цветущие при длинном, 24-часовом дне. Кроме этого, имеются формы, нейтральные по отношению к короткому дню, причем одни из них ускоренно цветут, а другие, наоборот, запаздывают с цветением при 24-часовом непрерывном дне, против естественного, 14—15-часового дня. В наших опытах мы не обнаружили сортов, нейтральных по отношению к изменяющейся длине дня, так как нейтральными сорта оказались только по отношению либо к короткому дню, либо к длинному.

Наши исследования также показали, что фотопериодическая природа сортов фасоли является свойством довольно консервативным, зависящим от места происхождения сортов, где они сложились под влиянием естественных условий, а также естественного и искусственного отбора в течение тысячелетий. Однако здесь уместно отметить, что сорт Триумф луцильный, который всеми авторами относится к группе растений короткого дня, в наших опытах не реагировал на укорочение дня. Такими же свойствами отличались и наши сорта Пестросемянная — К, Бомба белая 40 и Плоскосемянная — К. Можно допустить, что фотопериодическая природа исходных форм этих сортов выработалась в переходных условиях.

Считаем весьма важным отметить то обстоятельство, что гибридные сорта фасоли в отношении световой стадии ведут себя совершенно самостоятельно, т. е. независимо от свойств световой стадии исходных родительских форм. Так, например, наш гибридный сорт Телесная 644, полученный в результате скрещивания короткодневного сорта Красносемянная — К с нейтральным по отношению к короткому дню сортом Триумф луцильный киргизской репродукции, оказался типичным сортом длинного дня. Гибридные сорта Триумф круглозерный 85 и Круглозерная 39, полученные от скрещивания того же сорта Триумф луцильный с короткодневным сортом Белозерная — К, оказались первый — короткодневным, совершенно не реагирующим на длинный день а второй — типичным длиннодневным сортом, ускоренно развивающимся при 24-часовом дне и запаздывающим с цветением при коротком, 10-часовом дне. Следовательно, ни один из наших гибридных сортов не унаследовал свойств световой стадии родительских форм.

Таким образом, у гибридных форм доминирование «короткого» или «длинного» дня, т. е. скороспелости и позднеспелости, исходных форм наследственно сохраняется при осуществлении стадии яровизации, но нарушается при осуществлении световой стадии. Очевидно, организмы, обладающие гетерозиготной наследственностью, по-разному реагируют на условия окружающей среды, что отмечалось также и другими исследователями [35].

Казалось бы, что все наши гибридные сорта, сформировавшиеся в условиях Киргизии, должны были наследовать короткодневную световую стадию, но фактически этого не произошло. Т. Д. Лысенко [34] также указывает, что у гибридных форм не всегда развиваются те родительские свойства, которым больше соответствуют внешние условия.

Результаты наших исследований вполне согласуются с выводами В. Л. Менабде [35] о том, что формообразовательный процесс в гибридных потомствах не всегда носит направленный характер, чаще всего он имеет множественный характер, который, согласно Ч. Дарвину [36], направляется естественным и искусственным отбором, усиливающим и сохраняющим те организмы, которые обладают адаптивными свойствами, и отбрасывающим те из них, которые лишены этих свойств.

Т. Д. Лысенко [6], Е. Малиновский [27] и некоторые другие авторы считают, что в основе фотопериодической реакции лежат наследственные свойства растительного организма. Однако Э. Э. Дитмер [21] рассматривает фотопериодическую реакцию растений как функцию эколого-географических и климатических условий. Свой взгляд этот автор основывает на том, что одни и те же сорта фасоли в разных географических пунктах различно сокращают световую стадию при коротком дне. По нашему мнению, это указывает лишь на то, что фотопериодическая природа сорта, выработавшаяся в процессе филогенеза, может проявляться в различной степени в зависимости от условий и, в первую очередь, от светового и температурного факторов. Наши исследования показали, что фотопериодическая реакция различных эколого-географических форм *Ph. vulgaris* обуславливается как наследственными свойствами самой формы, так и условиями, в которых она подвергается фотопериодическому воздействию. Формы южных широт, где очень высокая температура и самый короткий день, представлены теплолюбивыми короткодневными биологическими типами. Формы более умеренных широт и южных нагорий, где наиболее благоприятным временем для цветения и плодоношения является середина лета, наоборот, представлены длиннодневными, менее теплолюбивыми биотипами. Нейтральные формы, по всей вероятности, выработались в переходных условиях.

Анализ температурных данных показал, что температура приземного слоя воздуха возле контрольных и опытных растений в опыте 1951 г. была на протяжении всего периода опыта на 2—3° ниже, чем в опыте 1950 г. Относительно пониженный температурный режим в 1951 г. способствовал тому, что контрольные и опытные растения всех изучавшихся сортов фасоли в данном году несколько задержались с цветением по сравнению с 1950 г. (см. табл. 1 и 2). Однако, несмотря на это, закономерности в проявлении фотопериодической реакции у всех сортов фасоли сохранились одни и те же.

Подходя к практической оценке сортов фасоли по их реакции на длину дня, следует отметить, что как нейтральные, так и длиннодневные, нетребовательные к теплу, лучше всего подходят для южных высокогорных долин и районов центральной части умеренной зоны СССР. Из сортов нашей селекции такими качествами отличается гибридный сорт Телесная 644, а из других сортов — Восковая Дэвиса и Триумф лучильный киргизской репродукции. Наш опыт выращивания этих сортов в 1952—1953 гг. в условиях Подмосквья это полностью подтвердил (табл. 5).

Таблица 5

Урожайность некоторых сортов фасоли в условиях полевой опытной станции ТСХА

Сорта	Урожай зерна в ц/га	
	1952 г.	1953 г.
Телесная 644	16,00	42,80
Триумф лучильный	22,01	38,88
Восковая Дэвиса	22,80	-

Таким образом, знание природных качеств сортов фасоли в отношении требовательности их к продолжительности светового дня и к теплу необходимо для правильного их районирования.

Заключение

Сопоставляя данные полевых и вегетационных опытов по фотопериодизму фасоли, нетрудно убедиться в том, что фотопериодическому воздействию растения изучаемых сортов фасоли в равной степени легко поддаются при затемнении их как в недельном, так и в двухнедельном возрасте после появления всходов.

Для выявления фотопериодической реакции у большинства изученных сортов фасоли предельным промежуток продолжительности затемнения оказался 20—25-суточный темновой период.

Однако некоторые сорта фасоли, например Ласточка — К, Белозерная — К, Круглозерная 39, реагируют уже на 10-суточное затемнение. Это указывает на то, что подготовительные процессы к цветению у этих сортов осуществляются при относительно малом количестве темноты.

Изучение реакции различных сортов фасоли на длину дня показало, что фотопериодическая их природа является свойством специфическим, сложившимся в процессе филогенеза в определенных эколого-географических условиях, и обуславливается она как наследственными свойствами сорта, так и условиями выращивания и вовсе не является только функцией этих условий, как это утверждала Э. Э. Дитмер [22].

Наши исследования показали, что гибридные сорта фасоли, сформировавшиеся в условиях короткого дня, в наследственном осуществлении фотопериодической природы ведут себя самостоятельно, т. е. независимо от свойств родительских форм.

Знание закономерностей фотопериодической природы сортов фасоли имеет огромное значение для их правильного районирования на территории СССР. Наши исследования показали, что принятое в современной литературе деление сортов фасоли вида *Phaseolus vulgaris* (L) Sav i по их фотопериодической реакции на три группы (короткодневную, длиннодневную и нейтральную) является слишком схематичным и не охватывает всего разнообразия биологических форм этого вида. По этому признаку нами выделено пять биологических групп и показано, что нейтральных форм фасоли в природе вообще не существует, так как сорта могут являться нейтральными либо только в отношении короткого дня, либо в отношении длинного дня.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
13/IV 1959 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. W. Garner, H. A. Allard, Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction. Journ. of Agr. Res., 18, 1920.
2. А. В. Дорошенко, Фотопериодизм некоторых культурных форм в связи с их географическим происхождением. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. 17, вып. 1, 1927.
3. А. В. Дорошенко, В. И. Разумов, Фотопериодизм некоторых культурных форм растений в связи с их географическим происхождением. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXII, вып. 1, 1929.
4. Е. С. Кузнецова, Географическая изменчивость вегетационного периода культурных растений. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXI, вып. 1, 1928—1929.
5. Е. С. Кузнецова, Некоторые закономерности географической изменчивости вегетационного периода культурных растений. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXIX, вып. 3, 1952.
6. Т. Д. Лысенко, Стадийное развитие растений. Сельхозгиз, М., 1952.
7. А. И. Молозев, О влиянии температуры и света на сроки цветения растений. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXII, вып. 1, 1929.
8. В. Н. Любименко, О. А. Щеглова, О фотопериодической адаптации. Журн. Русского бот. об-ва, т. 12, 1927.
9. В. Н. Любименко, О. А. Щеглова, О фотопериодической индукции в процессе развития растений. Изв. Бот. сада АН СССР, т. 30, вып. 1—2, 1932.
10. В. Н. Любименко, Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Сельхозгиз, М., 1935.
11. W. W. Garner, H. A. Allard, Effect of abnormally long and short alternations of light and darkness on growth and development of plants. Journ. of Agr. Res., 52, 1931.
12. Журнал США. Физиология растений, т. 24, № 3, 1949.

13. Н. А. Максимов, Краткий курс физиологии растений. Сельхозгиз, М., 1958.
14. Ф. М. Куперман и др., Этапы формирования органов плодоношения злаков. М., 1955.
15. J. Adams, The effect on certain plants of altering the daily period of light. *Am. Journ. of Bot.*, 37, 1923.
16. I. Adams, The effect on tomato, soy bean and other plants of altering the daily period of light. *Am. Journ. of Bot.*, 11, 1924.
17. J. Adams, Some further experiments on the relation of light to growth. *Am. Journ. of Bot.*, 12, 1925.
18. С. М. Букасов, Возделываемые растения Мексики, Гватемалы и Колумбии. Прилож. 47 к Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., 1930.
19. Н. И. Вавилов, Центры происхождения культурных растений. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. 14, вып. 2, Л., 1926.
20. Н. И. Вавилов, Мексика и Центральная Америка как основной центр происхождения культурных растений Нового Света. Тр. по прикл. бот., ген. селекц., т. 26, вып. 3, Л., 1931.
21. Э. Э. Дитмер, К вопросу о происхождении культурных фасолей. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXIII, вып. 5, 1930.
22. Э. Э. Дитмер, Н. Р. Иванов, Г. М. Попова, Фасоль. В кн. *Культурная флора СССР*, т. IV, 1937.
23. П. М. Жуковский, Культурные растения и их сородичи. М., 1950.
24. W. W. Garner, H. A. Allard, Further studies in photoperiodism, the response of plant to relative length of day and night. *Journ. of Agr. Res.*, 23, 1923.
25. W. W. Garner, H. A. Allard, Photoperiodism in relation to hydrogenion concentration of the cell sap and carbonyl content of the plant. *Journ. of Agr. Res.*, 27, 1927.
26. А. С. Васильев, Выведение сортов фасоли для северных районов СССР. Социалистическое растениеводство, № 8, 1936.
27. E. Malinowski, Lesphenomenes de l'heterosis et la relation photoperiodique chez *Phaseolus vulgaris* (L) Sav. *Compt. Rend. Soc. Biol.*, 119, 21, 1935.
28. W. Rudorff, Untersuchungen über den Einfluss veränderten Tageslängen von Sorten von Sojabohnen und Buschbohnen. *Zeitschr. für Zuchtung, Reiche A.*, Bd. XX, № 2, 1935.
29. Ю. Г. Якобсон, Сорты фасоли для Крайнего Севера. Плодоовощное хозяйство, № 3, 1937.
30. В. И. Эдельштейн, Овощеводство. Сельхозгиз, М., 1944.
31. В. И. Разумов, О фотопериодическом последствии в связи с влиянием на растения различных сроков посева. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., т. XXIII, вып. 2, 1929.
32. В. И. Разумов, Значение качественного состава света в фотопериодической реакции. Тр. по прикл. бот., ген. и селекц., сер. III, № 3, 1933.
33. В. И. Разумов, Формирующая роль среды в выработке требований растения на отдельных стадиях развития. Изд. АН СССР, М., 1950.
34. Т. Д. Лысенко, Агробиология. Сельхозгиз, М., 1948.
35. В. Л. Менабде, К изучению наследственности вегетационного периода у однолетних растений. Тр. Тбилисского бот. сада, XVIII, 1956.
36. Ч. Дарвин, Происхождение видов. Сельхозгиз, М., 1952.

И. П. САВОСЬКИН

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТОЧНЫХ ОБОЛОЧЕК

Клеточные оболочки, как составные части клеток, привлекают все большее внимание исследователей. В настоящее время хорошо изучена их анатомическая структура [1—3 и др]. Что же касается изменения их химического состава в процессе онтогенеза и особенно в зависимости от влияния различных внешних факторов среды, то эти вопросы освещены слабо.

А. М. Палеев [4—6] установил, что химический состав клеточных оболочек растений с возрастом меняется и что полегание некоторых злаковых растений связано с раздревеснением стеблей (оттоком веществ из них) в фазу молочной спелости.

Н. И. Никитин, Т. И. Руднева, А. Ф. Зайцева и М. М. Чочиева [7] выявили различия в химическом составе древесины дуба в зависимости от индивидуальных условий роста деревьев (свет, сомкнутость и т. д.).

Усиление одревеснения лубяных волокон под влиянием избытка в почве солей кальция показано Т. В. Щепкиной [8].

Поскольку клеточные оболочки растений играют важную роль в жизни растений и тесно связаны с протоплазмой клеток, а влияние внешних условий на их состав мало изучен, мы сделали попытку выделить их в более или менее чистом виде и изучить изменение их химического состава в зависимости от влияния некоторых факторов среды.

В задачу работы входило:

1) разработка методики выделения оболочек и химического анализа их на содержание липоидов, пектинов, гемипеллюлозы, клетчатки, лигнина;

2) выяснение влияния затемнения и почвенной засухи на химический состав клеточных стенок.

Выделение оболочек достигалось путем механического растирания в фарфоровой ступке в течение 1,5 часа мелко изрезанных свежих листьев с сахарным песком* при постепенном добавлении воды до образования мелковолоконистой кашицы. В результате происходил разрыв оболочек и вымывалось содержимое клеток. Остаток от растирания переносился на полотняный фильтр и промывался сначала холодной, а затем горячей кипяченой водой 8 раз. Для лучшей фильтрации промывных вод остаток на фильтре перемешивался стеклянной палочкой.

С полотняного фильтра оболочки переносились на бумажный фильтр и высушивались сначала при 30—40°, затем при 70—80° до постоянного веса. Последующее их досушивание производилось в стеклянных бюк-

* Кристаллы сахара облегчают разрыв оболочек при растирании; при промывании остатков они легко растворяются и не влияют на результаты дальнейших анализов.

сах. Высушенные до постоянного веса оболочки готовы для дальнейшего химического анализа.

Методика химического анализа основывалась на последовательном воздействии на оболочки реактивами для извлечения сначала липоидов, затем пектинов, гемицеллюлозы, белков, клетчатки. В остатке остается лигнин. Убыль в весе после каждой обработки определяла количество находившегося в оболочках вещества.

Липоиды извлекались серным эфиром путем настаивания в нем измельченных и заключенных в бумажные пакетики оболочек в течение 3 суток.

Затем остаток оболочек переносился в стеклянный пористый фильтр, где проводился анализ на содержание всех остальных веществ.

Пектины и протопектин извлекались 0,5% щавелевокислым аммонием при нагревании в течение 24 часов при 80°.

Гемицеллюлоза гидролизовалась 2% HCl на кипящей водяной бане в течение 3 часов.

Выделение белков достигалось воздействием на оболочки 0,2% КОН на кипящей водяной бане в течение 1 часа.

Количество клетчатки определялось путем обработки остатка оболочек 80% H₂SO₄ в течение 8 часов при комнатной температуре. В этих условиях клетчатка полностью гидролизуеться и переходит в раствор.

При каждой обработке реактивом извлекаемое вещество переходит в фильтрат. Последний отфильтровывался через стеклянный пористый фильтр, а остаток оболочек промывался горячей дистиллированной водой, вместе со стеклянным фильтром высушивался до постоянного веса и взвешивался. Убыль в весе составляла количество извлекаемого вещества.

Работа проводилась с 28-дневными проростками яровой пшеницы Нарымская I. Растения выращивались в вегетационных сосудах на свету, в темноте и в условиях почвенной засухи. В темноте растения находились с момента всходов до взятия их на анализ. Почвенная засуха создавалась путем прекращения полива начиная с 14-го дня произрастания. Остальные условия жизни во всех вариантах были относительно одинаковыми.

Наибольший прирост дали растения, находящиеся в темноте, затем растения, растущие на свету, и меньше всего — растения, произраставшие в условиях почвенной засухи.

Результаты анализа по ранее описанной методике представлены в табл. 1.

Таблица 1
Влияние света, темноты, почвенной засухи
на химический состав оболочек клеток
пшеницы

Наименование веществ	К-во веществ в оболочках растений пшеницы (в % от сухого веса оболочек), произраставших в условиях		
	света	темноты	почвенной засухи
Липоиды . . .	9	8	5,7
Пектины . . .	4,3	6,2	7,1
Белки . . .	3,2	1,1	2,9
Гемицеллюлоза . . .	32,3	32,9	32,6
Клетчатка . . .	40,4	45,2	34,7
Лигнин . . .	10,8	6,6	17,2

Из таблицы видно, что наибольшая разница наблюдается в содержании пектинов, клетчатки и лигнина.

Полученные данные с убедительностью говорят о том, что химический состав клеточных стенок непостоянен. Он изменяется в зависимости от обмена веществ растения, который, в свою очередь, зависит от среды обитания. А изменение химического состава оболочек, безусловно, отражается на их эластичности.

Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
10/II 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Костычев, Строение и утолщение стебля двудольных. Журн. Русск. бот. об-ва, № 5, 1920.
2. В. Г. Александров, Анатомия растений. Изд. Сов. наука, М., 1954.
3. А. Фрей-Висслинг, Субмикроскопическое строение протоплазмы и ее производных. ИЛ, М., 1950.
4. А. М. Палеев, Динамика образования различных компонентов клеточной стенки ржаной соломы (*Secale cereale*). Биохимия, т. 2, вып. 1, 1937.
5. А. М. Палеев, К вопросу о полегании зерновых культур. ДАН СССР, т. ХСII, № 2, 1953.
6. А. М. Палеев, Роль компонентов клеточных оболочек в обмене веществ растений. Автореф. докт. дисс. Ин-та физиологии растений им. К. А. Тимирязева, М., 1955.
7. Н. И. Никитин, Т. И. Руднева, А. Ф. Зайцева, М. М. Чочиева, Химический состав древесины дуба разных типов леса и географических областей. Тр. Ин-та леса АН СССР, т. 3, 1950.
8. Т. В. Щепкина, Влияние различных удобрений и влажности воздуха на структуру волокон льна и влияние структуры волокна на качество льна. Бот. журнал, т. 22, № 3, 1937.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А. С. ЧЕРНЯК.

О ВАНАДИЕВОМ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

В связи с созданием в Восточной Сибири крупных предприятий черной металлургии весьма актуальным становится вопрос о получении ванадия — важнейшего легирующего элемента — из местного сырья.

Известно, что черная металлургия потребляет 95% всего производимого ванадия. Этот элемент содержат 50% выпускаемых легированных сталей; он повышает их твердость, сопротивление истиранию и динамической нагрузке, а также предел текучести, улучшает пластические свойства. Ванадиевые инструментальные и конструкционные стали широко применяются в различных отраслях машиностроения. Чугун с присадкой 0,10—0,35% ванадия используется для изготовления многих ответственных отливок.

Одним из возможных местных источников ванадия могут явиться ванадиевые руды центральной части восточных склонов Кузнецкого Алатау, находящиеся в достаточно освоенном экономическом районе. В Иркутском институте редких металлов несколько лет назад исследовались многочисленные образцы указанных руд и две крупные технологические пробы (каждая весом более 1 т).

Ванадиевые руды представлены главным образом плотными кварцитами. В меньшем количестве встречаются штуфы графитизированных и измененных лимонитизированных пород. Первичный ванадиевый минерал — патронит — наблюдается в рудах редко и связан с графитизированными и обогащенными сульфидной минерализацией участками вмещающих пород. Широкое распространение ванадия в руде обусловливается наличием вторичных ванадиевых минералов, отложившихся из нисходящих водных растворов по многочисленным трещинам и зонам дробления. Ванадий содержится в рудах в виде ванадиевой слюдки (роскоэлит) и комплекса ванадатов (с катионами кальция, железа, меди, никеля, алюминия и магния) типа узбекита, пухарита, кальциофольбортита, хьюэтита и др. [1]. Кроме того, ванадий является постоянной примесью в ряде минералов-спутников.

Роскоэлит приурочен преимущественно к углистым кварцитам и находится в виде тонких прозрачных пластинок светло-зеленого цвета с интенсивным перламутровым блеском, тесно ассоциируя со скоплениями, корками и налетами ванадатов мощностью не более нескольких миллиметров. Отчетливо различимые кристаллические агрегаты ванадатов встречаются редко; обычно ванадаты тесно ассоциируют друг с другом и с минералами-спутниками (лимонит, гяалит, карбонаты, гипс, аллофан и др.).

В табл. 1 приводятся результаты химического анализа технологических проб, изучавшихся в Иргиредмете. Содержание ванадия в пробах выше кондиций (0,7% V₂O₅), существующих для ванадиевого сырья [2].

Таблица 1
Химический состав руды

Компоненты	Содержание в технологических пробах, %		Компоненты	Содержание в технологических пробах, %	
	проба № 1	проба № 2		проба № 1	проба № 2
V ₂ O ₅	0,88	0,93	Al ₂ O ₃	4,24	6,76
SiO ₂	85,14	82,66	MnO	нет	нет
CaO	0,27	0,58	As	0,01	0,20
MgO	0,34	0,50	S	0,14	0,30
FeO	3,22	2,50	P	нет	нет
Fe ₂ O ₃	3,41	1,82	Cu	0,06	0,07

Нами проведены подробные изыскания рационального способа вскрытия руд. Изучались различные варианты непосредственной щелочной и кислотной обработки, обжига и спекания руд с последующим выщелачиванием огарков и спеков. Установлена возможность эффективного извлечения ванадия из руды после обжига с хлористым натрием при 700°. Выщелачивание огарка водой переводит в раствор 83—85% ванадия. Перед обжигом руда измельчалась до —0,2 мм. Достаточной является присадка хлористого натрия в пределах 4% к руде.

Аналогичные данные получены при обжиге руды с сульфатом натрия, хотя в этом случае требуется доизвлекать часть ванадия из огарка слабыми растворами серной кислоты.

Результаты опытов (табл. 2) показывают, что при дальнейшем увеличении температуры обжига извлечение ванадия в растворы снижается, так как руда содержит много кремнекислоты, на взаимодействие с которой начинают расходоваться натровые соли.

Таблица 2

Извлечение ванадия после обжига руды с натровыми солями

Реагент, добавляющийся при обжиге	Температура обжига, °С	Продолжительность обжига, час.	Твердый остаток после выщелачивания огарка		Извлечение ванадия при выщелачивании огарка, % от руды		
			выход, % от руды	содержание V ₂ O ₅ , %	водой	5% H ₂ SO ₄	итого
NaCl	500	6	92,7	0,46	51,5	—	—
	600	6	91,2	0,23	76,1	—	—
	700	4	91,0	0,23	76,2	—	—
	700	6	93,2	0,14	85,2	—	—
	700	6	94,0	0,16	82,9	—	—
	700	8	93,5	0,23	75,5	—	—
800	6	93,2	0,47	10,1	—	—	
Na ₂ SO ₄	750	4	92,4	0,18	70,9	10,2	81,1
	850	4	89,1	0,14	75,6	10,2	85,8
	950	4	89,1	0,23	57,7	19,0	76,7

Осаждение ванадия из щелоков после обжига руды с NaCl и Na₂SO₄ проходит вполне успешно. Железный купорос при небольшом расходе практически полностью осаждает ванадий из раствора. Осадки пригодны для переработки на феррованадий. Для щелоков, полученных после обжига с NaCl, можно также применять осаждение в форме ванадата кальция.

Таким образом, уже несколько лет назад был разработан простой и экономичный метод извлечения ванадия из данных руд. Однако ввиду отсутствия в Восточной Сибири спроса на этот металл не была завершена оценка запасов ванадия и руды не применяются как промышленное сырье.

Сейчас в связи с созданием третьей металлургической базы необходимо провести тщательную оценку местного ванадиевого сырья, поставить технологические исследования других ванадиевых руд, известных в Восточной Сибири. Производство легированных сталей на востоке страны должно и может быть обеспечено легирующими металлами, в том числе ванадием, из местного сырья.

Иркутский государственный институт редких металлов

Поступила в редакцию 20/XII 1958

ЛИТЕРАТУРА

- Г. А. Михайлова, Вторичная ванадиевая минерализация в Кузнецком Алатау. Тр. Иргиредмета, вып. 7, 1958.
- Требования промышленности к качеству минерального сырья (Справочник для геологов), вып. 63. Ванадий. Госгеолыздат, М., 1948.

Г. В. ДЕЛОВА

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕВОДОВ И АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ
В НЕКОТОРЫХ ДИКОРАСТУЩИХ ВИДАХ ЛУКА

Изучение дикорастущих луков из флоры Алтая в Центральном ботаническом саду Сибирского отделения АН СССР показало, что многие их виды в ряде случаев могут явиться заменителями культурных видов лука и чеснока как существенный источник витаминного питания. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях и луковичках таких видов, как *Allium nutans* L., *A. altaicum* Pall., *A. schoenoprasum* L. в 3—6 раз выше, чем у репчатого лука *A. cepa* L. Листья луков богаты каротином, содержание которого у некоторых видов доходит до 68 мг-% на сухой вес.

Для более полного представления о пищевой и диетической ценности дикорастущих луков немаловажно знать содержание в них важнейших элементов питания, в частности углеводов и азотистых веществ.

Имеющиеся в литературе сведения о химическом составе лука касаются главным образом культурных его видов. По данным, имеющимся в литературе [1—5], лук богат сахаром; содержание его составляет 6,5—10%, причем у острых сортов репчатого лука сахара больше, чем у полустрых и сладких. Преобладающим сахаром является сахароза.

Содержание азотистых веществ у различных сортов репчатого лука колеблется от 1,89 до 2,82%. Согласно немецким исследователям, азотистые вещества лука состоят на 70% из белков (см. [2]).

В условиях культуры нами изучалось содержание сахаров и азотистых веществ в четырех видах лука в следующие сроки: весной, в период отрастания листьев, и осенью, при завершении вегетации. У *A. altaicum* Pall. мы проследили накопление сахаров и азотистых веществ в различные фазы вегетации.

Для некоторых видов — *A. altaicum* Pall., *A. obliquum* L. — приводим сравнительные данные по содержанию сахара и общего азота в растениях, взятых непосредственно из природы и выращенных в течение нескольких лет в ботаническом саду.

Определение содержания общего сахара и редуцирующих сахаров проводилось методом Бертрана, содержание общего азота — микрометодом Кьельдаля [6].

В табл. 1 показаны результаты определения моно- и дисахаров в листьях и луковичках весеннего и осеннего сборов.

Таблица 1

Содержание сахара в листьях и луковичках луков
(в % на абс. сухой вес)

Виды лука	Листья				Луковички			
	25 мая		17 сентября		10 мая		17 сентября	
	к-во моносахаров	общее к-во сахаров	к-во моносахаров	общее к-во сахаров	к-во моносахаров	общее к-во сахаров	к-во моносахаров	общее к-во сахаров
<i>A. altaicum</i> Pall.	11,2	21,7	23,0	32,4	13,7	57,7	6,1	73,0
<i>A. schoenoprasum</i> L.	10,8	17,9	22,4	44,4	6,4	46,3	0,4	84,7
<i>A. nutans</i> L.	11,9	19,1	23,7	27,9	5,0	72,0	2,3	45,4
<i>A. fistulosum</i> L.	5,8	16,5	22,1	23,1	12,7	59,5	10,2	76,4

Полученные данные указывают на высокое содержание сахара в листьях и особенно в луковичках многолетних луков. Общее содержание сахара в луке к концу вегетации значительно выше, чем весной. Исключение составляет *A. nutans* L., у которого содержание сахара в луковичках в осенний период ниже, чем весной. Наибольшей сахаристостью отличается *A. schoenoprasum* L.

В осенних листьях большую часть углеводов составляют моносахара, а в луковичках — дисахара.

Соотношение моно- и дисахаров в листьях и луковичках в период вегетации иллюстрируется графиками рис. 1 и 2. Как видно на этих графиках, общее содержание сахара, а также соотношение различных его форм по фазам вегетации сильно колеблется.

В листьях (см. рис. 1) количество сахара изменяется в пределах 18,6—31,8% на сухой вес. В первые фазы вегетации (отрастание листьев, стрелкование, бутонизация) содержание сахара увеличивается с 20 до 29,6%. Видимо, расходуется углевод, связанный с интенсивным ростом растений в этот период, с избытком возмещается новообразованием сахара в процессе фотосинтеза. Моносахара и дисахара находятся почти в равных отношениях. Во время цветения содержание сахара снижается и к кон-

цу этого периода доходит до минимума — 18,6%. Весь сахар в период массового цветения представлен моносахарами. В фазу созревания семян и отрастания новых листьев количество сахара вновь увеличивается, составляя к осени 31,8%.

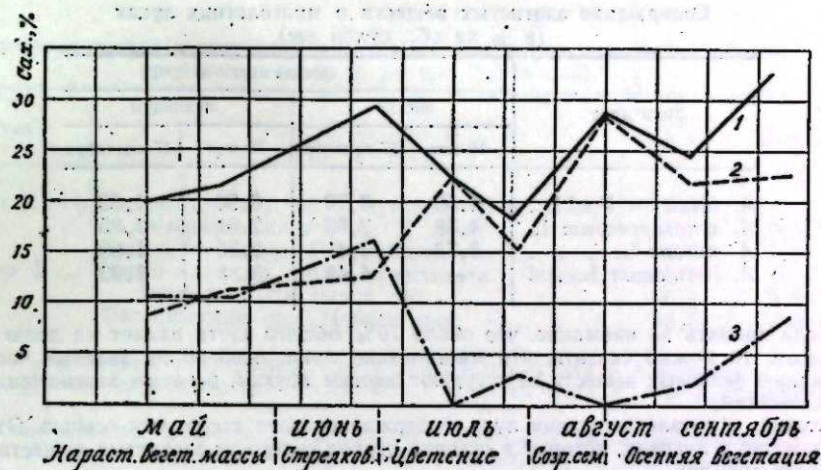


Рис. 1. Изменение содержания сахара в листьях *A. altaicum* Pall. по фазам вегетации (в % на абс. сухой вес).
1 — общий сахар, 2 — моносахара, 3 — сахароза.

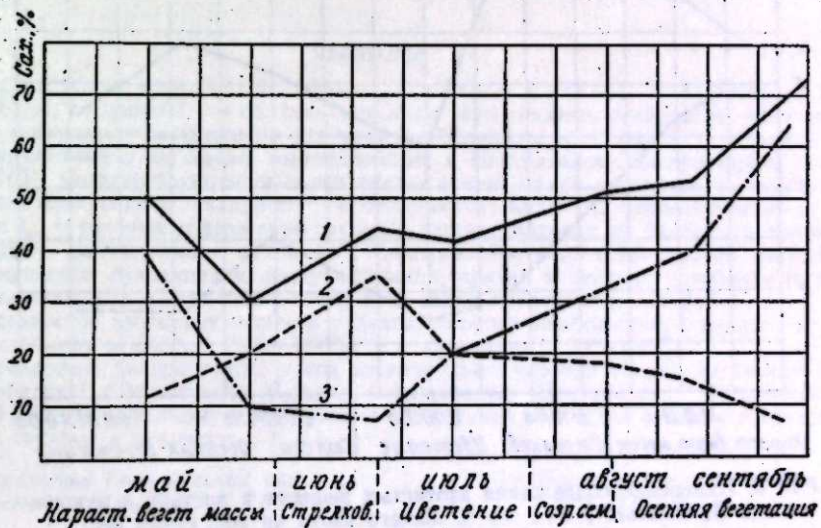


Рис. 2. Изменение содержания сахара в луковичках *A. altaicum* Pall. по фазам вегетации (в % на абс. сухой вес).
1 — общий сахар, 2 — моносахара, 3 — сахароза.

В луковичках (см. рис. 2) в начале вегетации, когда происходит усиленный рост листьев, замечается резкое снижение содержания запасных сахаров, накопленных с осени. В дальнейшем идет постепенное накопление сахара с некоторым снижением его содержания в фазу цветения. К концу вегетации содержание сахара в луковичке максимальное и составляет у *A. altaicum* Pall. 73,0% на сухой вес. Параллельно увеличению содержания общего сахара увеличивается относительное содержание сахарозы, составляющей в сентябре 91,6% к общему количеству сахара.

Переход сахарозы в легко растворимые моносахара весной, в период отрастания вегетативной массы, а также преобладание простейших сахаров в листьях осенью, когда идет усиленное накопление запасного сахара, говорит о том, что углеводы перемещаются из надземных органов в луковички и обратно в форме моносахаров.

Содержание общего азота в зеленых частях и луковичах многолетних луков в начале и конце вегетации показано в табл. 2.

Таблица 2

Содержание азотистых веществ в многолетних луках (в % на абс. сухой вес)

Виды лука	Общий азот			
	листья		луковича	
	10 мая	17 сентября	10 мая	17 сентября
<i>A. altaicum</i> Pall.	4,50	3,70	3,90	1,80
<i>A. schoenoprasum</i> L.	4,38	2,83	2,61	1,85
<i>A. nutans</i> L.	3,73	3,41	2,36	1,69
<i>A. fistulosum</i> L.	—	4,48	3,88	1,92

Если принять во внимание, что около 70% общего азота падает на долю белкового азота, то можно сказать, что многолетние луки, особенно их зеленые части, по содержанию белковых веществ не уступают многим другим, богатым азотистыми веществами, овощам.

Весной, в начале вегетации лука, содержание азота выше, чем осенью. Это особенно заметно у луковиц, которые в осенний период содержат азотистых веществ почти в два раза меньше.

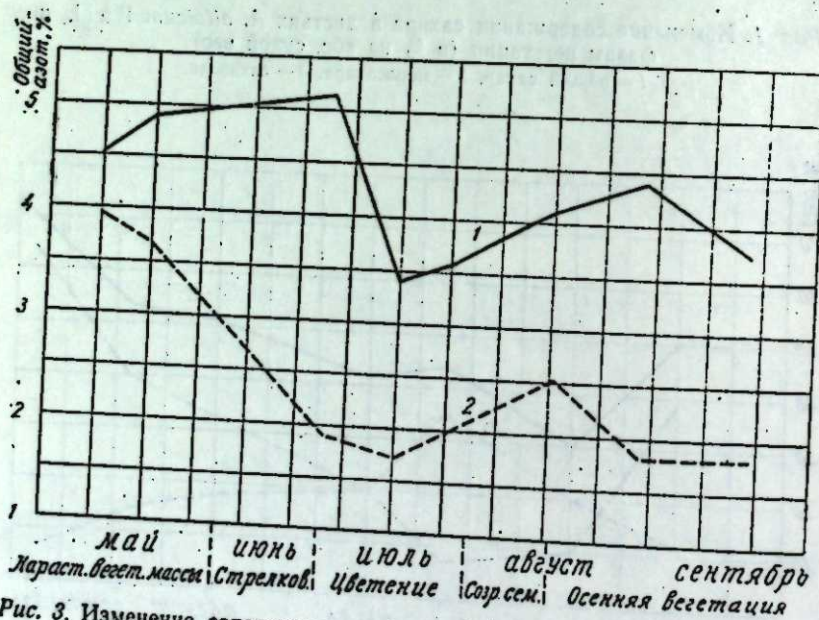


Рис. 3. Изменение содержания азотистых веществ в листьях и луковичах *A. altaicum* Pall. (в % общего азота на абс. сухой вес). 1 — в листьях, 2 — в луковичах.

Все три исследуемых дикорастущих вида лука — *A. altaicum* Pall., *A. schoenoprasum* L., *A. nutans* L. — по содержанию азотистых веществ уступают культурному луку-батулу *A. fistulosum* L. Изменение содержания азотистых веществ по фазам вегетации, показанное на графике рис. 3 для *A. altaicum* Pall., повторяет в основном динамику накопления других биологически активных веществ (аскорбиновая кислота, каротин, сахара), т. е. накопление (в листьях) в период весенней вегетации вплоть до цветения, резкое снижение в фазу цветения, увеличение содержания при возобновлении вегетации с последующим снижением осенью. Максимальное количество азотистых веществ в листьях *A. altaicum* Pall. отмечается накануне цветения (5,1%). Снижение содержания азотистых веществ в луковиче в первые фазы вегетации, очевидно, связано с тратой этих веществ на формирование и усиленный рост новых органов — листьев, соцветий. Для двух видов лука — *A. altaicum* Pall. и *A. obliquum* L. — нами проведено сравнительное определение содержания сахара и азотистых веществ в луковиче расте-

ний, произрастающих в естественной обстановке, и растений, перенесенных в ботанический сад и выращиваемых здесь в течение 6—7 лет (табл. 3). Пробы для анализа в том и другом случае взяты осенью, в конце вегетации.

Таблица 3

Содержание сахара и азотистых веществ в луках в зависимости от условий произрастания (в % на абс. сухой вес)

Виды лука	Место произрастания	К-во	
		сахара	азот. веществ
<i>A. altaicum</i> Pall.	Горно-Алт. авт. обл., Чуйский тракт, южн. каменный склон	94,1	0,86
	Ботанический сад, Новосибирск	73,0	1,80
<i>A. obliquum</i> L.	Горно-Алт. авт. обл., окрестности Чемала, берег р. Куба, сырой луг	95,7	2,32
	Ботанический сад, Новосибирск	85,6	2,50

Полученные данные показывают, что у дикорастущих луков в природных условиях накапливается сахара больше, а азотистых веществ меньше, чем в культурных условиях.

Более значительная разница в содержании углеводов и азотистых веществ в луковиче в зависимости от условий произрастания отмечается у *A. altaicum* Pall., обитание которого в природе приурочено к южным и юго-западным, хорошо освещенным склонам с щебнистыми, почти лишенными гумуса почвами. Улучшение почвенного питания растений при выращивании этого лука в культуре ведет к повышению содержания азотистых веществ.

У другого вида — *A. obliquum* L., — обитающего в природе на богатых органическими веществами луговых почвах, перенесение в культуру почти не изменяет содержания азота.

ВЫВОДЫ

1. Дикорастущие многолетние луки — *A. altaicum* Pall., *A. schoenoprasum* L., *A. nutans* L., *A. obliquum* L., — обладая высокими диетическими свойствами, являются вместе с тем весьма существенными источниками белкового и углеводного питания.
2. Многолетние луки Алтая, выращиваемые в Центральном ботаническом саду СО АН СССР, характеризуются высоким содержанием сахара в листьях и особенно в луковичах. Наибольшей сахаристостью отличаются виды *A. schoenoprasum* L. и *A. obliquum* L., у которых содержание сахара в листьях доходит до 44,4%, а в луковичах — до 85,6% на абсолютно сухой вес. Максимальное количество сахара накапливается в листьях и луковичах к концу вегетации, причем в листьях преобладают редуцирующие сахара, а в луковичах почти весь сахар представлен сахарозой.
3. Содержание азотистых веществ у луков является наибольшим в начале вегетации и составляет в листьях 3,73—4,50%, а в луковичах — 2,8—4,48%.
4. Перенесение дикорастущих луков из природных условий (Горно-Алтайская автономная область) в культурные условия выращивания (Центральный ботанический сад СО АН СССР) способствует повышению содержания азотистых веществ и снижает накопление сахара в луковиче.

Центральный ботанический сад
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
23/III 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Wehmer, Die Pflanzenstoffe. Aufl. 2, Bd. 1, Yena. 1929.
2. Ф. В. Церевитилов, Химия и товароведение свежих плодов и овощей. Госторгиздат, М., 1949.
3. J. Becker-Dillingen, Handbuch des gesamten Gemüsebaues. Berlin, 1956.
4. А. Н. Шиврина, Биохимия лука и чеснока. Биохимия культурных растений, т. IV, М.—Л., 1938.
5. В. В. Арасимович, В. М. Искоз, Динамика химического состава сортов репчатого лука. Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции, т. XXVIII, вып. 3, АН СССР, М., 1950.
6. А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, М. И. Смирнова-Иконникова, И. К. Мурри, Методы биохимического исследования растений. Сельхозгиз, М., 1952.

ХРОНИКА

В ОБЪЕДИНЕННЫХ УЧЕНЫХ СОВЕТАХ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

В конце мая 1959 г. состоялись заседания Объединенных ученых советов СО АН СССР по основным отраслям науки, посвященные обсуждению в свете решений XXI съезда КПСС планов научных исследований на 1959—1965 гг. В соответствии с основными направлениями развития советской науки, определенными в постановлении Общего собрания АН СССР от 27 марта 1959 г., Ученые советы наметили важнейшие проблемы научных исследований, над которыми будут работать ученые Сибирского отделения АН СССР.

Учреждения физико-математического и технического профиля СО АН СССР выделили в качестве важнейших 26 проблем.

В области ядерной физики в Сибирском отделении будут решаться проблемы регулируемых термоядерных реакций, разрабатываться новые ускорители элементарных частиц, исследоваться вопросы физики частиц сверхвысоких энергий на ускорительных установках.

По направлению «Физика твердого тела» включены проблемы прочности при высоких температурах, динамической прочности материалов и конструкций, исследования строения и магнитных свойств веществ.

В области энергетики намечены такие проблемы, как теория теплопередачи при больших тепловых потоках, термодинамические и теплофизические свойства веществ, процессы горения (турбулентное горение, горение конденсированных систем, конструкции топков с высокими давлениями и температурами), научные основы создания единой энергетической системы Сибири, гидродинамика крупных и высоконапорных энергетических гидрозлов и особенности их работы в условиях Сибири, комплексное использование твердого топлива для энергетики, химии и металлургии.

Математические исследования сосредоточиваются на разработке общей теории дифференциальных уравнений в частных производных и ее практического применения, кибернетике и математической логике, вычислительной математике и вычислительных машинах.

В области радиоэлектроники важнейшими проблемами являются: увеличение разрешающей способности приемно-усилительной электроники, методы генерирования, усиления и преобразования электромагнитных колебаний высоких и сверхвысоких частот, теория и экспериментальные исследования излучающих систем элементов волноводного тракта.

По разделу автоматики и телемеханики будут исследоваться системы автоматического контроля и измерительной техники и разрабатываться научные основы автоматизации производственных процессов.

В области механики поставлены такие крупные проблемы, как применение взрыва в народном хозяйстве, гидродинамика больших скоростей, исследование процессов обтекания тел при очень больших скоростях и температурах, а также создание экспериментальных установок с сверхвысокими давлениями газа и сверхвысокими температурами, гравитационные волны и пространственные течения.

Вопросы горного дела найдут свое отражение при разработке проблем горной механики, горного давления, создания эффективных систем разработки угольных и рудных месторождений, а также проблем разрушения и бурения горных пород и обогащения полезных ископаемых.

Объединенный ученый совет по физико-математическим и техническим наукам принял решение о необходимости создания ряда научных советов по крупнейшим комплексным проблемам, которые должны заниматься координацией соответствующих исследований между различными учреждениями.

Крупные научные проблемы поставлены перед химиками Сибирского отделения АН СССР.

Усилия ученых в области химии высокомолекулярных соединений будут сосредоточены на решении таких проблем, как синтез новых мономеров и полимеров, разработка

методов регулирования структуры полимеров при каталитической полимеризации олефинов на твердых катализаторах, разработка каталитических и хемосорбционных методов тонкой очистки мономеров, растворителей и вспомогательных веществ, научные основы подбора и приготовления катализаторов для получения мономеров и полимеров, крашение синтетических волокон и синтез красителей для синтетических материалов. Серьезное внимание придается изучению теории химического строения, кинетики и реакционной способности, которая должна служить руководящей нитью при получении синтетических материалов с заданными свойствами.

Направление «Металлы и сплавы с особыми свойствами для новой техники» будет представлено такими проблемами, как разработка методов комплексного использования полиметаллического сырья Сибири и Дальнего Востока с извлечением редких и рассеянных элементов, изучение методов и путей получения веществ высокой чистоты для нужд новой техники. Развитие кристаллохимии неорганических веществ, связанное с изучением их оптических, полупроводниковых, магнитных и других свойств, должно способствовать получению материалов специального назначения.

По направлению «Создание новых и интенсификация существующих технологических процессов в ведущих областях промышленности» предусмотрена разработка физико-химических основ использования минерального сырья Сибири и Дальнего Востока, в частности, обоснование новых способов переработки глины, датолитов, солей. Будет продолжено изучение путей комплексного использования твердого топлива (угля), начнется разработка методов расчета и моделирования контактных аппаратов для проведения каталитических процессов.

В области радиохимии предстоит исследование проблем химии актинидов и радиационной химии, в частности, будет изучаться действие излучения на катализаторы, простые неорганические соединения и полимеры.

В химии природных и биологически важных соединений основное внимание будет уделено проблемам исследования лекарственных растений Сибири и Дальнего Востока, синтезу биологически активных соединений, кинетике и механизму образования белков — важнейших составляющих живых организмов.

На заседании Ученого совета по химическим наукам были обсуждены замечания Новосибирского, Амурского, Бурятского и Тюменского совнархозов по плану работ Сибирского отделения в области химических наук. Учреждениям Отделения рекомендовано учесть замечания при выполнении плана 1959 г.

А. К. Черненко, К. Е. Миронов.

О РАЗВИТИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК В СИБИРСКОМ ОТДЕЛЕНИИ АН СССР

В Сибири и на Дальнем Востоке в филиалах СО АН СССР, научно-исследовательских институтах и вузах сосредоточены довольно значительные научные силы историков, экономистов, философов, литературоведов, языковедов, этнографов и археологов. Многие из них ведут большую научно-исследовательскую работу. Однако до последнего времени деятельность этого отряда ученых проходила разрозненно, без необходимой координации и целенаправленного руководства. В результате этого их работа страдала параллелизмом, узостью тематики и недостаточным вниманием к проблемам современности.

С целью улучшения координации научной работы в области общественных наук в январе 1959 г. Президиумом СО АН СССР была создана Постоянная комиссия по общественным наукам, в которую вошли крупные ученые-историки, экономисты, философы, литературоведы: чл.-корр. АН СССР Г. А. Пруденский, доктора наук И. И. Матвеев (Новосибирск), Н. А. Гуляев, А. П. Дульзон, И. М. Разгон (Томск), В. Ф. Голосов (Красноярск), В. Д. Кудрявцев, В. Н. Шерстобоев (Иркутск), В. П. Малышев (Благовещенск), проф. Ярошевский (Томск), директор института языка, литературы и истории Якутского филиала СО АН СССР З. В. Гоголев, директор Бурятского комплексного научно-исследовательского института Д. Д. Лубсанов и др. В комиссии представлены все республиканские, краевые и областные центры Сибири и Дальнего Востока.

На основе решений XXI съезда КПСС, поставившего перед работниками общественных наук большие задачи по созданию фундаментальных трудов, обобщающих закономерности общественного развития и практику социалистического строительства, на основе решения Общего собрания АН СССР, определившего главные научные направления на 1959—1965 гг., Комиссия по общественным наукам СО АН СССР определила главные проблемы научных исследований на текущее семилетие.

Исследование истории социалистического и коммунистического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке — такова

задача, поставленная перед историками. Данная проблема предполагает изучение таких основных вопросов:

- а) утверждение Советской власти в Сибири и на Дальнем Востоке (1917—1922 гг.);
- б) строительство социалистической промышленности в Сибири и на Дальнем Востоке;
- в) развитие социалистического сельского хозяйства;
- г) культурное строительство;
- д) строительство и развитие национальной государственности на территории Сибири и Дальнего Востока.

Определяя и формулируя круг основных вопросов данной проблемы, Комиссия поставила задачу доводить их исследование до наших дней. Результаты должны увековечиться изданием ряда фундаментальных монографий.

По неполным данным, над исследованием намеченной главной проблемы в настоящее время работают 279 историков Сибири и Дальнего Востока, в том числе 3 доктора наук и 86 кандидатов. Другими проблемами занимается 101 историк, в том числе 3 доктора наук.

Совместно с Институтом экономики и организации промышленного производства СО АН СССР комиссия по общественным наукам определила в области экономической науки в качестве главной проблему «Резервы роста производительности труда и использование трудовых ресурсов в тяжелой промышленности Сибири и Дальнего Востока». Она включает в себя три основных раздела:

- а) баланс и вопросы использования трудовых ресурсов по основным районам Сибири и Дальнего Востока;
- б) резервы роста производительности труда (пути снижения трудоемкости работ и рациональное использование рабочего времени) в промышленности Сибири и Дальнего Востока;
- в) анализ и рациональное использование нерабочего времени трудящихся Сибири и Дальнего Востока.

По экономике сельского хозяйства в качестве главной на текущее семилетие поставлена проблема «Пути повышения производительности труда, снижения себестоимости и сокращения потерь продукции сельского хозяйства Сибири». Предусматривается исследование таких основных вопросов, как комплексная механизация и электрификация производственных процессов в сельском хозяйстве, малая механизация и ее эффективность, нормирование труда и тарификация работ в колхозах и совхозах, опыт организации межколхозных предприятий, сокращение и ликвидация потерь продукции сельского хозяйства и др.

По неполным данным, в настоящее время экономические исследования по указанным проблемам ведут 116 научных работников Сибири и Дальнего Востока, в том числе один чл.-корр. АН СССР и один доктор наук.

Исходя из того, что от уровня коммунистической сознательности трудящихся в значительной мере зависит успех выполнения семилетнего плана, Комиссия определила в качестве главной задачи философов разработку проблемы «Философские основы теории и практики коммунистического воспитания в период развернутого строительства коммунизма».

Для преодоления книжничества и догматизма, имеющих место в научной работе философов, намечено коренным образом изменить методику научной работы в области философских исследований. Разработка данной проблемы будет проводиться на основе изучения практики коммунистического воспитания путем обобщения опыта работы в этой области предприятий, совхозов, колхозов и учреждений Сибири и Дальнего Востока.

Указанная проблема охватывает следующий круг основных вопросов:

- а) марксизм-ленинизм как идейная основа коммунистического воспитания трудящихся;
- б) роль труда в коммунистическом воспитании трудящихся;
- в) роль и значение общественного мнения и общественных функций коллектива в коммунистическом воспитании трудящихся;
- г) вопросы коммунистической нравственности;
- д) вопросы быта и семьи в период развернутого строительства коммунизма;
- е) научно-атеистическое воспитание трудящихся в период развернутого строительства коммунизма;
- ж) эстетическое воспитание трудящихся — неотъемлемая часть формирования коммунистического мировоззрения.

Комиссия считает целесообразным и необходимым сконцентрировать большинство научных философских сил Сибири и Дальнего Востока на исследовании проблемы коммунистического воспитания в период развернутого строительства коммунизма. Но это не исключает работы над другими вопросами. Более того, комиссия рекомендует в качестве второй проблемы — «Философские вопросы современного естествознания». Здесь предполагается исследование таких вопросов:

- а) соотношение наук и их классификация;
 - б) место философии в системе научного знания;
 - в) роль математики в современном естествознании;
 - г) философские вопросы теории относительности и квантовой механики;
 - д) философские вопросы современной биологии.
- Над указанными проблемами, по неполным данным, работают 83 философа, над другими — 28 философов, из них 3 доктора наук.

В области литературы и искусства предлагается сосредоточить научные силы на исследовании проблемы «Литература и искусство социалистического реализма и их роль в коммунистическом воспитании». Намечается исследование следующих основных вопросов:

- а) идейно-эстетические основы социалистического реализма;
- б) генезис социалистического реализма;
- в) история возникновения национальных литератур Сибири и влияние на них русской литературы;
- г) тема современности в литературе и искусстве;
- д) сибирские писатели и борьба за социалистический реализм;
- е) роль литературы и искусства в коммунистическом воспитании;
- ж) искусство народов Сибири и Дальнего Востока;
- з) устное поэтическое творчество народов Сибири и Дальнего Востока.

Перед языковедами поставлена задача разработки вопросов русского языкознания и исследования национальных языков и диалектов народов Сибири и Дальнего Востока. Предполагается исследование грамматики, лексикологии и стилистики русского языка и языков народов Сибири и Дальнего Востока, изучение языков современных писателей Сибири и Дальнего Востока и др.

Над проблемами литературы и языка в настоящее время работают 92 человека, в том числе 4 доктора наук.

Президиум СО АН СССР на своем расширенном заседании 27 мая 1959 г. утвердил указанные выше главные проблемы в области общественных наук. В соответствии с этими проблемами разработаны перспективные научные планы филиалов СО АН СССР, научно-исследовательских институтов и разрабатываются планы кафедр общественных наук вузов Сибири и Дальнего Востока.

Чтобы обеспечить постоянное квалифицированное научное руководство исследованиями, по каждой из указанных главных проблем создаются научные советы. Кроме того, организуются небольшие группы ученых, исследующих отдельные основные вопросы главной проблемы. В них входят научные работники учреждений СО АН СССР, вузов и научно-исследовательских институтов. Каждую из таких групп возглавит наиболее квалифицированный ученый в данной области.

Такая организация работы в области общественных наук даст возможность в кратчайший срок преодолеть указанные выше существенные недостатки и сосредоточить научные силы на исследовании важнейших проблем, имеющих актуальное теоретическое и практическое значение.

Н. И. Матвеевков.

В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ФИЛИАЛЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИЙ

20 февраля 1959 г. на заседании Ученого совета Дальневосточного филиала СО АН СССР состоялась публичная защита трех диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Ст. преподаватель Дальневосточного политехнического института Н. И. Залевский представил работу «Исследование пористой структуры природных сорбентов методом вдавливания ртути». Диссертант провел интересное для науки и практики исследование переходных и макропор природных сорбентов Дальнего Востока методом вдавливания ртути с целью выяснить роль этих пор в адсорбционном процессе. Им установлены различия пористой структуры генетически разных групп природных сорбентов Дальнего Востока. Особый интерес представляет отмеченная Н. И. Залевским связь между отбеливающей способностью и пористой структурой некоторых природных сорбентов.

Ученый совет единодушно присудил Н. И. Залевскому ученую степень кандидата химических наук.

Диссертация мл. научного сотрудника Дальневосточного филиала СО АН СССР В. Г. Рейфмана посвящена выяснению природы ржавости картофеля в Приморском крае — широко распространенной здесь болезни, оказывающей отрицательное влияние на семенные и пищевые качества клубней картофеля.

На основе изучения физиологии и биохимии здоровых и пораженных ржавостью растений автор пришел к выводу, что болезнь эта — не инфекционная, как утверждали многие авторы, а вызывается нарушением фосфорного обмена под влиянием многочисленных внешних факторов. В. Г. Рейфман предлагает ряд проверенных в практике некоторых совхозов и колхозов Приморского края агротехнических мероприятий, которые снижают отрицательное влияние внешних факторов на развитие картофеля и помогают выращивать здоровые клубни.

Ученый совет единодушно присудил В. Г. Рейфману ученую степень кандидата сельскохозяйственных наук.

Ассистент Хабаровского медицинского института Н. М. Моисеенко защитила диссертацию на тему «Материалы по биологии переносчика таежного энцефалита — клеща *Uxodes persulcatus* P. Sch. в Хабаровском районе». Работа диссертанта является ценным вкладом в познание биологии иксодового клеща.

Н. М. Моисеенко присуждена ученая степень кандидата биологических наук.

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

11—13 марта во Владивостоке состоялась II научная конференция молодых специалистов Дальневосточного филиала СО АН СССР.

На трех секциях конференции — общественных наук, геологии и химии, биологических наук — было прочитано 37 докладов.

На секции общественных наук сделано 6 докладов. Доклады ст. лаборантов отдела истории тт. И. Н. Гончаренко и Н. П. Шишко были посвящены еще мало освещенным вопросам борьбы парторганизации Приморья за укрепление своих рядов в восстановительный период (1923—1925 гг.) и за социалистическую перестройку деревни (1922—1927 гг.). Интересное сообщение о восстании барабинских татар в 1628—1631 гг. сделала мл. научный сотрудник К. А. Волкова.

Молодые экономисты филиала тт. В. С. Турецкий, Ю. Д. Кононов и М. И. Краева сделали доклады о районировании потребления угля на Дальнем Востоке, о вопросах экономики водоснабжения тепловых электростанций, о путях наиболее рационального решения вопроса электрификации Амурской и Забайкальской железных дорог на участке Архара—Чита.

На секции геологии и химии было заслушано 13 докладов. Мл. научные сотрудники А. М. Леников, Ю. К. Полип и др. сообщили о новом эффективном методе декриптации. Значительный практический интерес представляют доклады по региональной геологии мл. научных сотрудников В. Г. Сахио, В. Н. Криволицкого, А. Ф. Шехоркиной и др. Мл. научные сотрудники отдела химии В. Н. Сушин и Т. В. Траскунова посвятили свои доклады новым методам исследования структуры вещества — методу электронного парамагнитного резонанса и методу рентгенографии.

Самой многолюдной по числу участников была секция биологических наук, где зачитано 18 докладов. Интересный доклад о грибах мало изученного на юге Дальнего Востока рода *Cordyceps* сделала мл. научный сотрудник почвенно-ботанического отдела Э. З. Коваль. На юге Дальнего Востока автором найдено 12 видов, новых для СССР, и 4 вида, до этого вообще неизвестных в науке. Мл. научный сотрудник зоологического отдела Ю. Л. Мамаев на основе изучения паразитов распространенной на Дальнем Востоке рыбы минтай предложил схему рациональной разделки этой рыбы, что позволит использовать ее в пищевой промышленности. Ряд докладов был посвящен лесной растительности Дальнего Востока: дубнякам южного Приморья, заболоченным листовничникам среднего Сихотэ-Алиня, лесной растительности бассейна р. Урми. Заинтересовали аудиторию сообщения молодых сотрудников, изучавших биохимию сои и женьшеня, химический состав почв Приханкайской равнины и долины р. Усури.

В обсуждении докладов молодых специалистов приняли активное участие профессор П. Д. Ярошенко, А. И. Куренцов, кандидаты наук В. А. Розенберг, А. А. Макашев, И. К. Никифорова, А. И. Крушанов, зав. отделом экономики П. В. Тарасов и др.

В. М. Майоров

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

По решению правительства в этом году в Новосибирске открывается государственный университет.

Главная задача университета — подготовка научных кадров: математиков, механиков, физиков, химиков, геофизиков и геологов, биологов, экономистов и других специалистов, способных решать важнейшие научные и практические проблемы и внедрять в практику достижения современной науки и техники.

Новосибирский университет будет строиться и развиваться в тесном контакте с Сибирским отделением Академии наук СССР, и это является одной из его характерных особенностей. Комплекс зданий университета войдет в общий ансамбль научного городка Сибирского отделения. В главном здании университета будут размещены механико-математический, геолого-географический, биологический и экономический факультеты; отдельный большой корпус займут физический и химический факультеты. Около них разместятся общежития для студентов и аспирантов, жилые дома для профессорско-преподавательского персонала, столовая и другие вспомогательные помещения.

Работа университета будет организована на новых началах. В существующую систему университетского образования будут внесены некоторые изменения принципиального характера.

Новосибирский государственный университет планирует работу так, чтобы тот солидный объем теоретических знаний, который предусматривается в программе университетского образования, мог быть использован выпускниками в максимальной мере. С этой целью университету предоставлено право строить учебный процесс по индивидуальным учебным планам, учитывающим как специфику и потребности отдельных отделений АН СССР и ряда важнейших отраслей народного хозяйства. В течение первых 5—6 семестров студенты будут изучать в основном общетеоретические науки, а в процессе дальнейшего обучения непосредственно включатся в научно-исследовательскую работу в лабораториях институтов СО АН СССР. Там они будут иметь возможность знакомиться с новейшими достижениями науки и техники, пользоваться новыми приборами и аппаратурой, непосредственно участвовать в решении актуальных теоретических и практических проблем.

Таким образом, по окончании университета (продолжительность обучения 5½ лет) студенты получат не только хорошую теоретическую подготовку по избранной специальности, но и приобретут необходимые навыки самостоятельной научной и практической работы.

Успешно окончившие университет будут направлены в институты Сибирского отделения АН СССР, в различные конструкторские бюро промышленности, отраслевые научно-исследовательские институты и высшие учебные заведения страны.

Как известно, в связи с открытием Сибирского отделения Академии наук СССР в Новосибирск переехали и переезжают многие выдающиеся ученые из Москвы, Ленинграда и других городов нашей Родины. Этот большой коллектив ученых примет активное участие в организации и работе университета. Читая лекции и непосредственно руководить занятиями студентов будут многие выдающиеся ученые — математики и механики, физики и химики, геологи и геофизики, биологи, экономисты и др. Уже теперь к работе в университете привлечено свыше 20 академиков и членов-корреспондентов Академии наук СССР.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
«РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ»

Серия книг в 13 томах.

Восточная Сибирь в наши дни превращается в один из важнейших индустриальных районов на Востоке Советского Союза. Ей предстоит сыграть выдающуюся роль в решении основной экономической задачи СССР.

В конце 1958 г. в Иркутске состоялась Конференция по развитию производительных сил Восточной Сибири. На Конференции и предшествовавших ей региональных совещаниях, в которых участвовало около 7 тыс. человек, было обсуждено 850 докладов.

В результате обсуждения перспективных проблем развития производительных сил Восточной Сибири были научно оценены ее природные ресурсы, определены пути развития промышленности, строительства, сельского хозяйства, транспорта на ближайшее и более отдаленное время, разработаны рекомендации по эффективному освоению природных ресурсов. Многие проблемы, обсуждавшиеся на Конференции, ввиду широты их постановки имеют значение не только для Восточной Сибири, но и для других районов страны.

Совет по изучению производительных сил АН СССР и Издательство Академии наук СССР, учитывая научную и практическую ценность Конференции, выпускают серию книг под общим названием.

«РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ»

Серия состоит из 13 томов.

Главный редактор издания акад. И. П. БАРДИН.

В книгах серии содержатся сокращенные доклады и наиболее значительные выступления на пленуме и отраслевых секциях Конференции, обзор прений, решения и рекомендации Конференции и секций.

Книги серии «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ» предназначены для использования научными, проектными, плановыми и хозяйственными организациями, научными работниками, инженерами, экономистами, агрономами.

Издание выходит в виде тематических сборников по 15—30 авторских листов каждый. Ориентировочная цена каждого тома 10—20 руб. Книги снабжены картами, схемами и другим иллюстративным материалом.

Содержание томов:

- Общие вопросы развития производительных сил Восточной Сибири
Отв. редактор акад. В. С. НЕМЧИНОВ
Районные и межрайонные комплексные проблемы
Отв. редактор член-корр. АН СССР Н. Н. НЕКРАСОВ
Геологическое строение и полезные ископаемые
Отв. редактор член-корр. АН СССР Л. В. ПУСТОВАЛОВ
Нерудные полезные ископаемые
Отв. редакторы член-корр. АН СССР Л. В. ПУСТОВАЛОВ и д-р геол.-мин. наук В. И. ПЕТРОВ
Теплivo и топливная промышленность
Отв. редактор д-р экон. наук А. Е. ПРОБСТ
Энергетика
Отв. редактор член-корр. АН СССР В. И. ВЕЛЦ
Черная металлургия
Отв. редактор канд. техн. наук Г. И. ЛЮДОГОВСКИЙ
Машиностроение
Отв. редакторы акад. В. И. ДИКУШИН и канд. экон. наук М. Г. ШКОЛЬНИКОВ
Химическая промышленность
Отв. редактор акад. С. И. ФОЛЬФКОВИЧ
Строительная индустрия и промышленность строительных материалов
Отв. редактор действ. член Академии строительства и архитектуры А. И. ПОПОВ
Лесное хозяйство и лесная промышленность
Отв. редактор д-р экон. наук П. В. ВАСИЛЬЕВ
Сельское хозяйство
Отв. редакторы акад. ВАСИЛИИЛ И. Ф. РОСТОВЦЕВ и канд. геол.-мин. наук П. А. ЛЕТУНОВ
Транспорт
Отв. редактор член-корр. АН СССР Т. С. ХАЧАТУРОВ
Все издание будет завершено в 1960 г.
Книги продаются как комплектно, так и отдельными томами. Заказы на серию книг «РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ» и отдельные тома этой серии принимаются магазинами книготоргов и конторы «Академкнига».
Для получения книг почтой заказы направлять в отдел «Книга—почтой» конторы «Академкнига» по адресу: Москва К-12, ул. Куйбышева, 8, или в ближайший из магазинов «Академкнига».

«Академкнига»

Художественный редактор А. А. Федиахметов.

Технический редактор А. Ф. Мазурова. Корректоры: З. Н. Колодочкина, Л. В. Шалина.

МН 00258. Подписано к печати 13 августа 1959 г. Формат бумаги 70×108/16. Бум. л. 4,125.
Печ. л. 11,3 + 1 вкл. Уч.-изд. л. 12,4. Тираж 1300 экз. Заказ № 7851.

Издательство Сибирского отделения АН СССР. Новосибирск, Советская, 20. Типография № 1
Полиграфиздата, Новосибирск, Красный проспект, 20. Цена 7 руб.

АН

Цена 7 р.