

П-167/2

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК
СССР

12

НОВОСИБИРСК

1959

П-167/2

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

А. А. Зыков. Об определении длины дуги	3
А. К. Дюнин. Основы теории метелей	11
И. Н. Гариман. К вопросу о трансформации паводочной волны	25
Л. А. Крумм. О дополнительной экономии при переходе от существующей упрощенной методики к более общей методике определения экономических режимов объединенных энергосистем	34
А. Г. Баюла. Поведение сопутствующих минералов на концентрационном столе	43

ХИМИЯ

Н. С. Николаев, А. А. Опаловский. Исследование растворов Мо (VI) во фтористоводородной кислоте	49
Е. П. Бабин, В. Г. Плюсин, М. И. Насакина, Н. М. Родигин. Алкилирование диизопропилбензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия	59
В. А. Ланин, Р. И. Сидоров. Хроматографическое разделение фенолов сланцевой смолы	65
В. В. Веселов, Д. Б. Оречкин, Н. В. Попова. Хроматографический метод определения содержания углеводов в спиртах, получаемых гидрированием жирных кислот	75

БИОЛОГИЯ

И. Ф. Тюменцев. Опыт построения методики качественной оценки почв на генетико-производственной основе	79
Е. В. Дорюгостайская. О сменах растительности в связи с термокарстом на севере Якутии	91
В. А. Скорин. Корневая система сосны в Забайкалье (Бурятская АССР)	101
Н. Ф. Реймерс. К вопросу о роли позвоночных животных в возобновлении лиственных лесов лесостепной Тувы	118

ХРОНИКА

Первое совещание Сибирской тематической комиссии по проблеме «Закономерности размещения ископаемых углей в земной коре». И. Н. Звонарев	127
Статьи, опубликованные в журнале «Известия Сибирского отделения Академии наук СССР» в 1959 году	129

ИЗВЕСТИЯ
 СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
 АКАДЕМИИ НАУК
 СССР

12

36P22 n

ИЗДАТЕЛЬСТВО
 СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
 АКАДЕМИИ НАУК СССР
 1959

А. А. ЗЫКОВ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЛИНЫ ДУГИ

1. Определение математической величины не есть начало ее существования или разрешение вообще как-то рассуждать об этой величине. Задолго до того, как были сформулированы более или менее общие определения длины кривой, площади фигуры, объема тела и т. д., эти величины измеряли и вычисляли, причем в ряде случаев формулы, найденные эмпирическим путем, оказывались совершенно точными. В процессе практической деятельности, связанной с измерением величин, вырабатывалось правильное интуитивное представление о математической природе этих величин и устанавливались их характерные свойства, которые впоследствии были положены в основу общих определений.

Совокупность свойств величины, заключенных в ее определении (или вытекающих из него), должна быть достаточно полной, чтобы не только однозначно давать числовое значение в каждом конкретном случае, но и гарантировать, что полученное значение является результатом измерения именно этой, а не какой-либо другой величины. Определения, в которых последнее обстоятельство отражено непосредственно, следует предпочитать (с точки зрения правильной методологии, а особенно методики преподавания) тем определениям, в которых факт соответствия определяемого понятия своему реальному прообразу устанавливается путем рассуждений уже после того, как допущен акт произвола.

Например, методически и методологически неполноценно определение площади Q криволинейной трапеции при помощи одних только нижних сумм Дарбу s_n :

$$Q = \sup \{ s_n \},$$

ибо не ясно, что здесь определена именно площадь заданной криволинейной трапеции, а не какая-то меньшая величина. Аналогичным недостатком обладает определение

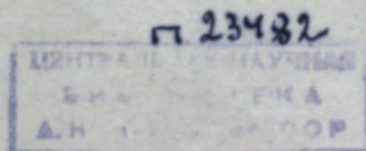
$$Q = \inf \{ S_n \}$$

посредством одних только верхних сумм Дарбу. Полноценное определение, основанное на рассмотрении сумм Дарбу, требует привлечения как нижних, так и верхних сумм. Мы не будем повторять здесь общеизвестные определения и отметим лишь следующее: владея обычным способом вычисления площадей ступенчатых фигур и зная, что площадь объемлемой фигуры не может превышать площади объемлющей, мы имеем полное право писать

$$\sup \{ s_n \} < Q \leq \inf \{ S_n \}$$

еще до того, как сформулировано точное определение площади Q криволинейной трапеции.

2. Широко распространенные определения длины дуги как верхней



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Д-р хим. наук В. Т. Быков, член-корр. Т. Ф. Горбачев (зам. главного редактора), д-р физ.-мат. наук Л. В. Киренский, д-р техн. наук К. Н. Коржавин, проф. В. А. 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, комн. 428.

границ множества периметров всех вписанных в нее ломаных (последовательные вершины которых расположены на кривой в порядке ее обхода) или как общего предела последовательностей периметров этих ломаных при стремлении к нулю максимальных длин их звеньев являются, по существу, определениями нижней длины и выдавать их за определение длины дуги вообще столь же неправомерно, как и выдавать определение нижней площади криволинейной трапеции $Q = \sup \{s_n\}$ за определение ее площади вообще. Полноценное определение длины кривой должно опираться не только на нижние, но и на верхние приближения этой величины. Однако до сих пор естественные (т. е. отвечающие выработанной практикой интуитивному представлению) определения верхней длины имелись для гораздо более узких классов кривых (например для кусочно-выпуклых), чем определения нижней длины, причем в этих случаях обе числовые величины всегда совпадали.

Е. М. Ландис сделал попытку обосновать тезис о том, что определение длины дуги как верхней грани множества периметров вписанных ломаных (и равносильное определение с помощью пределов) представляет собой «...единственный разумный способ введения длины кривой»*. С этой целью он, рассматривая данное определение как определение нижней длины $l(S)$ дуги S , в то же время формулирует определение «верхней» длины $\bar{l}(S)$, которое, по его мнению, вполне согласуется с интуитивным представлением о длине кривой, после чего доказывает равенство $\bar{l}(S) = l(S)$ для любой непрерывной кривой S . Несмотря на правильность доказательства этого равенства (как и других теорем упомянутой работы), выдвинутый Е. М. Ландисом тезис ошибочен, а предпринятая попытка оправдания этого тезиса в целом бессодержательна; мы сделаем это очевидным, показав, что

1) предложенное определение «верхней» длины $\bar{l}(S)$ является всего лишь завуалированным определением нижней длины $l(S)$, в силу чего утверждение $\bar{l}(S) = l(S)$ носит характер тавтологии;

2) можно дать определение верхней длины $\bar{l}(S)$, столь же естественное и общее, как и определение нижней длины $l(S)$, и построить пример непрерывной кривой S , для которой

$$0 < l(S) < \bar{l}(S) < \infty.$$

3. По определению Е. М. Ландиса, кривая S растянута на прямолинейный отрезок AB , если между точками кривой и отрезка установлено взаимно-однозначное соответствие (с сохранением порядка), так что для любой пары точек P_1 и P_2 кривой S длина прямолинейного отрезка P_1P_2 не больше, чем длина отрезка между точками Q_1 и Q_2 , соответствующими P_1 и P_2 , на AB ; верхней длиной $\bar{l}(S)$ называется нижняя грань множества длин всех таких прямолинейных отрезков AB , на которые можно растянуть кривую S .

При таком определении растяжения длин отрезка AB и его частей сравниваются не с длинами (в интуитивном смысле) соответствующих дуг кривой S , а с длинами ее прямолинейных хорд, т. е. в конечном итоге длина AB сравнивается с периметрами вписанных в S ломаных. Поэтому множество длин всех отрезков, на которые можно растянуть кривую S , в силу самого своего определения оказывается состоящим из

* Е. М. Ландис, О длине кривой. Математическое просвещение, вып. 1, 1957, стр. 33—44.

всех таких чисел, каждое из которых не меньше периметра любой ломаной, вписанной в S , и нижняя грань $l(S)$ этого множества совпадает с $l(S)$ независимо ни от каких свойств кривой S , кроме упорядоченности ее точек и непрерывности*. Для полного обоснования нашей критики следовало бы доказать, что, во-первых, отрезок AB , на который растянута кривая S , не меньше периметра любой вписанной в S ломаной и, во-вторых, каково бы ни было число d , не меньше периметра любой вписанной ломаной, кривую S можно растянуть на отрезок длины d ; но именно эти доказательства фактически и проводятся Е. М. Ландисом в теореме о совпадении $\bar{l}(S)$ с $l(S)$, так что повторять их здесь нет надобности.

Несмотря на бессодержательность основного результата критикуемой нами работы, следует отметить, что в ней законно выдвинут вопрос об обосновании существующих определений длины кривой и что ее автор, в противоположность многим другим математикам, справедливо считает возможным и нужным рассуждать о длине дуги как о реальной величине еще до формулировки ее точного определения.

4. Оказывается, подход к определению верхней длины полезно начать не с введения понятия растяжения дуги S на отрезок AB , а, наоборот, с рассмотрения сжатия измеряемой дуги S в AB или, что то же, с растяжения прямолинейного отрезка AB в дугу S .

В простейшем случае, когда отрезок AB путем растяжения превращен в ломаную $AA_1, \dots, A_{n-1}B$, все точки которой проектируются в точки исходного отрезка взаимно-однозначно (рис. 1), ясно, что увеличение длины произошло из-за возникновения наклона линии к исходному отрезку; если θ — наибольший из углов, образованных звеньями $AA_1, A_1A_2, \dots, A_{n-1}B$ с отрезком AB (рассматриваются неотрицательные острые углы), то

$$\text{дл. } AA_1, \dots, A_{n-1}B \leq \frac{\text{дл. } AB}{\cos \theta}.$$

Для случая произвольной жордановой дуги \bar{AB} под $\theta(\bar{AB})$ будем понимать угол наибольшего возможного наклона дуги \bar{AB} к хорде AB , т. е.

$$\theta(\bar{AB}) = \sup \angle AB, CD,$$

где C и D — любые точки дуги \bar{AB} ; тогда естественно считать, что

$$\text{дл. } \bar{AB} \leq \frac{\text{дл. } AB}{\cos \theta(\bar{AB})}. \quad (1)$$

Однако эта оценка слишком груба: например, для ломаной $S = AA_1A_2B$ (рис. 2) она дает

$$\text{дл. } S < \frac{\text{дл. } AB}{\cos \frac{\pi}{2}} = \infty,$$

в то время как замена хорды AB отрезком AB' , не образующим прямого угла ни с одной из хорд ломаной, привела бы к конечной верхней оценке

$$\text{дл. } S < \frac{\text{дл. } AB'}{\cos \theta} < \infty,$$

* Отказ от этих двух свойств при данном подходе к измерению кривой, очевидно, невозможен: определение растяжения существенно опирается на упорядоченность кривой, имеющую скачок, нельзя растянуть ни на какой отрезок.

где $\theta = \sup \widehat{AB, CD} < \frac{\pi}{2}$; $C, D \in S$; $AB' \perp BB'$.

Направление прямой AB' естественно выбрать так, чтобы дробь $\frac{\text{дл. } AB'}{\cos \theta}$ приняла наименьшее возможное значение; на такой уточненной верхней оценке и будет основано наше определение $l(S)$ в общем случае.

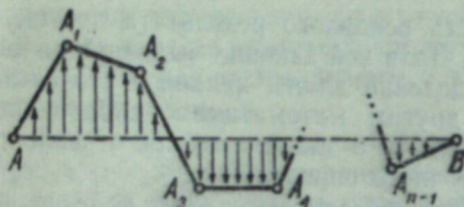


Рис. 1.

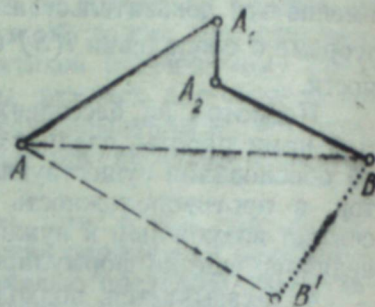


Рис. 2.

Пусть $S = \overset{\frown}{AB}$ — произвольная жорданова дуга (не обязательно плоская), p — произвольная прямая, $(AB)_p$ — проекция хорды AB на прямую p , а

$$\theta_p(\overset{\frown}{AB}) = \sup \widehat{p, CD}$$

при $C, D \in \overset{\frown}{AB}$. Очевидно, всегда

$$0 < \frac{\text{дл. } (AB)_p}{\cos \theta_p(\overset{\frown}{AB})} < \infty,$$

причем при заданной дуге $\overset{\frown}{AB}$ величина дроби зависит только от направления прямой p ; выбирая прямую $p = p(\overset{\frown}{AB})$ так, чтобы эта дробь приняла наименьшее значение*, получим оценку

$$\text{дл. } S < \frac{\text{дл. } (AB)_{p(\overset{\frown}{AB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AB})}. \quad (2)$$

Докажем, что если $K \in \overset{\frown}{AB}$, то

$$\frac{\text{дл. } (AK)_{p(\overset{\frown}{AK})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AK})}(\overset{\frown}{AK})} + \frac{\text{дл. } (KB)_{p(\overset{\frown}{KB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{KB})}(\overset{\frown}{KB})} \leq \frac{\text{дл. } (AB)_{p(\overset{\frown}{AB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AB})}. \quad (3)$$

В случае, когда проекция точки K на $p(\overset{\frown}{AB})$ не лежит между проекциями точек A и B , правая часть в (3) бесконечна (ибо в силу непрерыв-

* В силу компактности сферы, такая прямая всегда есть; если она не единственная, то под $p(\overset{\frown}{AB})$ можно понимать любую из таких прямых. Заметим еще, что оценка (2) может быть бесконечной (например, если дуга $\overset{\frown}{AB}$ имеет точку возврата, отличную от A и B).

ности дуги $\overset{\frown}{AB}$ на ней всегда найдутся такие точки C и D , что $CD \perp p(\overset{\frown}{AB})$, и соотношение можно считать выполненным. Если же проекция K лежит между проекциями A и B , то

$$\text{дл. } (AK)_{p(\overset{\frown}{AK})} + \text{дл. } (KB)_{p(\overset{\frown}{KB})} = \text{дл. } (AB)_{p(\overset{\frown}{AB})};$$

но

$$\frac{\text{дл. } (AK)_{p(\overset{\frown}{AK})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AK})}(\overset{\frown}{AK})} < \frac{\text{дл. } (AK)_{p(\overset{\frown}{AB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AK})}$$

и

$$\frac{\text{дл. } (KB)_{p(\overset{\frown}{KB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{KB})}(\overset{\frown}{KB})} < \frac{\text{дл. } (KB)_{p(\overset{\frown}{AB})}}{\cos \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{KB})}$$

в силу минимальности дробей в левых частях; кроме того,

$$\theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AK}) < \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AB})$$

и

$$\theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{KB}) < \theta_{p(\overset{\frown}{AB})}(\overset{\frown}{AB})$$

вследствие определения углов θ и ввиду того, что дуги $\overset{\frown}{AK}$ и $\overset{\frown}{KB}$ являются частями дуги $\overset{\frown}{AB}$; из этих соотношений легко получается (3).

Положим по определению

$$\bar{l}(S) = \inf \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\text{дл. } (A_{i-1}A_i)_{p(A_{i-1}A_i)}}{\cos \theta_{p(A_{i-1}A_i)}(\overset{\frown}{A_{i-1}A_i})} \right\} \quad (4)$$

при всевозможных разбиениях дуги $S = \overset{\frown}{AB}$ на конечное число частей точками $A_0 = A, A_1, \dots, A_{n-1}, A_n = B$. Величину $\bar{l}(S)$ мы и будем называть верхней длиной дуги S , а под нижней длиной $\underline{l}(S)$ условимся понимать длину в общепринятом смысле, т. е. верхнюю грань множества периметров всех вписанных в S (с соблюдением порядка вершин) ломаных.

Из соотношения (3) вытекает, что «верхние суммы», фигурирующие в определении (4), при добавлении новых точек деления дуги могут только уменьшаться. Отсюда легко вывести свойство аддитивности верхней длины: если $K \in \overset{\frown}{AB}$, то

$$\bar{l}(\overset{\frown}{AK}) + \bar{l}(\overset{\frown}{KB}) = \bar{l}(\overset{\frown}{AB}).$$

Отсюда же и из аналогичного соотношения для «нижних сумм» (периметров вписанных ломаных), а также из сравнения «верхней» и «нижней» сумм при одном и том же разбиении дуги S получаем

$$\underline{l}(S) < \bar{l}(S).$$

Нетрудно показать, что для любой кусочно-гладкой кривой S , заданной уравнением

$$\bar{r} = \bar{r}(t),$$

верхняя длина совпадает с нижней*, и получить интегральное представление длины:

$$l(S) = \int_{(S)} |\overline{dr}|.$$

5. Построить пример жордановой дуги S , для которой $l(S)$ конечна, $\bar{l}(S) = \infty$, весьма просто: надо лишь достаточно осторожным образом «посадить» на прямолинейный отрезок бесконечное множество точек возврата. Мы сразу приступим к построению более сложного примера такой жордановой дуги, для которой $0 < l(S) < \bar{l}(S) < \infty$.

Зададим последовательность углов $\{\alpha_n\}$ такую, что

$$0 = \alpha_0 < \alpha_1 < \dots < \alpha_n < \dots,$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n = \alpha < \frac{\pi}{4},$$

в остальном произвольную, и построим последовательность жордановых кривых $S_0, S_1, \dots, S_n, \dots$ следующим образом. За S_0 берем прямолинейный отрезок AB длины 1. Для построения S_1 удаляем из S_0 всюду плотное множество непересекающихся интервалов, мера которого $< l_1 < 1$ (в остальном пока l_1 произвольно), и все удаленные отрезки заменяем трехзвенными ломаными, звенья которых наклонены к AB под

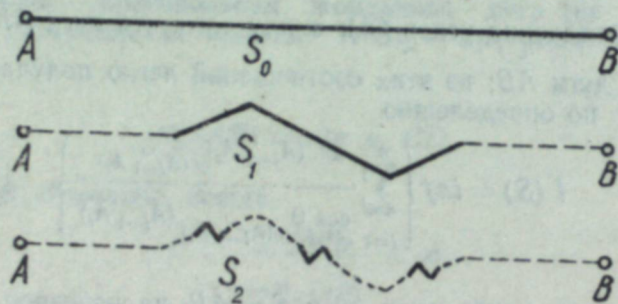


Рис. 3.

углом α_1 (рис. 3). Кривую S_2 строим, удаляя из каждого α_1 -звена кривой S_1 всюду плотное множество непересекающихся интервалов, так чтобы сумма мер проекций на AB множеств, удаленных из всех α_1 -звеньев, не превышала числа $l_2 < 1$ (в остальном l_2 пока тоже произвольно), и каждый удаленный отрезок заменяем трехзвенной ломаной, звенья которой наклонены к AB под углом α_2 . Для построения S_3 аналогично «сажаем» α_3 -звенья на все α_2 -звенья кривой S_2 , притом так, чтобы мера проекции на AB множества тех точек S_2 , которые подверглись изменению, не превосходила числа $l_3 < 1$. И т. д.

Каждая из кривых S_n может быть, очевидно, задана непрерывной функцией $y = f_n(x)$, где за ось Ox взята S_0 . Последовательность $\{f_n(x)\}$ сходится равномерно к некоторой функции $f(x)$, тоже непрерывной. Покажем, что кривая S , которая служит графиком функции $y = f(x)$, при надлежащем выборе чисел l_i является искомой.

Учитывая все изменения нижней длины, происходящие при переходе от S_n к S_{n+1} , мы можем написать

* При этом точки возврата кривой S относятся к числу точек разрыва (или несуществования) производной $\frac{dr}{dt}$.

$$l_0 \leq l(S) < l_0 + l_1 \left(\frac{1}{\cos \alpha_1} - 1 \right) + l_2 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} - \frac{1}{\cos \alpha_1} \right) + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{l_i - l_{i+1}}{\cos \alpha_i}.$$

Выбирая числа l_i так, чтобы было

$$\frac{l_i - l_{i+1}}{\cos \alpha_i} < \frac{1}{2^{i+1} \cos \alpha},$$

будем иметь

$$1 < l(S) < \frac{1}{\cos \alpha}.$$

С другой стороны, пусть S разбита точками $A_0 = A, A_1, \dots, A_{n-1},$

$A_n = B$ на части $A_{i-1}A_i$. На каждой из этих частей всегда найдутся хорды, углы наклона которых к AB сколь угодно близки к α , причем среди этих хорд будут как восходящие, так и нисходящие. Пусть $\beta_i =$

$= A_{i-1}A_i, AB$ ($0 \leq \beta_i < \alpha$) и пусть p_i — прямая, образующая с AB

угол φ_i . Если $0 < \varphi_i < \frac{\pi}{2} - \alpha$, то

$$\frac{\text{дл. } (A_{i-1}A_i)p_i}{\cos \theta_{p_i}(A_{i-1}A_i)} = \frac{\text{дл. } A_{i-1}A_i \cdot \cos(\varphi_i \pm \beta_i)}{\cos(\varphi_i + \alpha)} < \infty$$

(при $\frac{\pi}{2} - \alpha < \varphi_i < \frac{\pi}{2}$ дробь в левой части всегда бесконечна). Независимо от знака перед β_i (т. е. независимо от того, получена ли прямая

p_i вращением AB в сторону прямой $A_{i-1}A_i$ или в противоположную)

отношение $\frac{\cos(\varphi_i \pm \beta_i)}{\cos(\varphi_i + \alpha)}$ принимает наименьшее значение при $\varphi_i = 0$;

поэтому

$$\frac{\text{дл. } (A_{i-1}A_i)p_i}{\cos \theta_{p_i}(A_{i-1}A_i)} = \frac{\text{дл. } A_{i-1}A_i \cdot \cos \beta_i}{\cos \alpha}$$

и

$$\sum_{i=1}^n \frac{\text{дл. } (A_{i-1}A_i)p_i}{\cos \theta_{p_i}(A_{i-1}A_i)} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{дл. } A_{i-1}A_i \cdot \cos \beta_i}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cos \alpha},$$

каково бы ни было разбиение дуги S . Следовательно,

$$\bar{l}(S) = \frac{1}{\cos \alpha} < \sqrt{2}.$$

Итак, для построенной нами жордановой дуги S

$$0 < l(S) < \bar{l}(S) < \infty.$$

6. Аналогично можно подойти к определению площади поверхности. Пусть F_i — кусок непрерывной поверхности F ; P — произвольная плос-

кость; $(F_i)_P$ — фигура, полученная проектированием всех точек F_i на P ;

$$\theta_P(F_i) = \sup \widehat{CD}, P,$$

где C и D — произвольные точки поверхности F_i . Выбирая плоскость $P = P(F_i)$ так, чтобы дробь $\frac{\text{пл. (F}_i)_P}{\cos \theta_P(F_i)}$ приняла наименьшее возможное значение, получим оценки

$$\text{пл. (F}_i)_P(F_i) < \text{пл. } F_i < \frac{\text{пл. (F}_i)_P(F_i)}{\cos \theta_P(F_i)},$$

на основе которых можно дать определения:

$$\overline{\text{пл. (F)}} = \sup \left\{ \sum_{i=1}^n \text{пл. (F}_i)_P(F_i) \right\},$$

$$\underline{\text{пл. (F)}} = \inf \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\text{пл. (F}_i)_P(F_i)}{\cos \theta_P(F_i)} \right\}$$

при всевозможных допустимых разбиениях поверхности F на куски F_i .

Институт математики
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
19/IX 1959

А. К. ДЮНИН

ОСНОВЫ ТЕОРИИ МЕТЕЛЕЙ

Теория двухфазных потоков с твердой тяжелой зернистой фазой в настоящее время разрабатывается главным образом в связи с проблемой движения речных наносов. Снежная метель, как своеобразная разновидность таких потоков, изучена меньше, хотя метели давно привлекают к себе внимание специалистов, интересующихся вопросами борьбы со снеговыми заносами на транспорте и промышленных предприятиях.

Первое глубокое исследование метелей, принадлежащее инженеру Э. Д. Злотницкому, опубликовано более 80 лет тому назад [1]. С тех пор теории этой сложной проблемы было посвящено сравнительно немного статей, где рассматривались лишь некоторые ее стороны. Полевых наблюдений выполнено мало, и точность их невелика. Экспериментов в лабораторных условиях не было совсем. Поэтому упорядоченной теории метелей нет. Количественные характеристики переноса снега находятся в начальной стадии накопления множества эмпирических формул. Иногда оспаривается сама возможность аналитической оценки снегопереноса.

Дифференциальные уравнения метели

Метелью, или поземком, мы называем процесс переноса ветром ранее выпавшего снега. Метель существенно отличается от снегопада, сопровождающегося ветром и называемого верховой метелью. В верховой метели принимают участие только снежинки, не касавшиеся еще земной поверхности.

Пусть \bar{v}_s — вектор осредненной скорости снеговых частиц относительно земной поверхности, s — объемная концентрация снега в потоке. Тогда объемный расход частиц \bar{J} через площадку, нормальную к \bar{v}_s , можно записать так:

$$\bar{J} = s\bar{v}_s.$$

Его вертикальная проекция имеет вид:

$$J_{12} = sv_{s2}.$$

Полагая, что вне пограничного слоя турбулентность ветрового потока локально изотропна, можно рассматривать величину v_{s2} как близкую к средней гидравлической скорости падения снежинок. Следовательно, твердый расход снегопада через горизонтальную поверхность при ветре и без ветра почти одинаков, т. е. в обоих случаях снег будет распределяться на земной поверхности равномерно.

При встрече верховой метели с препятствиями возможно отклонение от равномерности в распределении снега, но это отклонение не может быть большим, в связи с незначительностью инерционных пробегов снежинок.

Метелевый перенос снега, уже коснувшегося земли, представляет несравненно более сложное явление.

Основываясь на работах, [2, 3], предположив, что тензор мгновенных напряжений внутри твердых частиц и среды изменяется непрерывно, и пренебрегая изменениями плотности воздуха в зависимости от его динамического состояния и влажности, напишем следующие основные векторные уравнения неразрывности и сохранения количества движения газовой и твердой фаз метелевого потока.

Для газовой фазы (воздуха):

$$\rho \frac{\partial(1-s)}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (1-s) \bar{v} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial(1-s)\bar{v}}{\partial t} + \rho [\nabla \cdot (1-s)\bar{v}] \bar{v} = \rho(1-s)(\bar{g} + \bar{\varepsilon}) - (1-s) \nabla \cdot \Pi - \nabla \cdot T + \bar{E}. \quad (2)$$

Для твердой фазы (снежинок):

$$\rho_s \frac{\partial s}{\partial t} + \rho_s \nabla \cdot s \bar{v}_s = 0, \quad (3)$$

$$\rho_s \frac{\partial s \bar{v}_s}{\partial t} + \rho_s (\nabla \cdot s \bar{v}_s) \bar{v}_s = \rho_s s (\bar{g} + \bar{\varepsilon}_s) - s \nabla \cdot \Pi - \nabla \cdot T_s - \bar{E}, \quad (4)$$

где \bar{v} — вектор осредненной скорости частиц среды,

ρ_s, ρ — массовые плотности частиц и среды,

\bar{g} — вектор ускорения силы тяжести,

$\bar{\varepsilon}_s, \bar{\varepsilon}$ — векторы ускорений негравитационных массовых сил,

Π — осредненный тензор мгновенных напряжений внутри твердых частиц и среды,

T_s, T — осредненные тензоры добавочных напряжений, вызванных перемешиванием и столкновениями твердых и газовых частиц,

\bar{E} — вектор осредненной силы взаимодействия среды и твердых частиц в данной точке.

Если имеются межфазовые переходы (сублимация, десублимация* и т. д.), то (1), (3) и (2), (4) не могут быть разделены. Предварительно заметим, что эти уравнения получены из интегральных соотношений при произвольных формах областей интеграции. Поэтому, складывая (1) с (3) и (2) с (4), обозначив через $\frac{D}{dt}$ оператор субстанциальной производной и приняв для средней плотности дисперсоида ρ_0 выражение

$$\rho_0 = s \rho_s + (1-s) \rho,$$

получим уравнения типа уравнений С. Г. Телетова [4]:

$$\rho_s \left(\frac{\partial s}{\partial t} + \nabla \cdot s \bar{v}_s \right) = -\rho \left[\frac{\partial(1-s)}{\partial t} + \nabla \cdot (1-s) \bar{v} \right], \quad (5)$$

$$\rho_s s \frac{D \bar{v}_s}{dt} + \rho(1-s) \frac{D \bar{v}}{dt} + \bar{K} = \rho_0 (\bar{g} + \bar{\varepsilon}) + \rho_s s (\bar{\varepsilon}_s - \bar{\varepsilon}) - \nabla \cdot \Pi - \nabla \cdot T_s - \nabla \cdot T, \quad (6)$$

* Сублимацией мы называем испарение твердого тела, десублимацией — обратный процесс, т. е. кристаллизацию из пара.

где \bar{K} — вектор, обусловленный изменением количества движения, вследствие фазовых переходов, и названный нами сублимационным вектором.

Величина сублимационного вектора.

$$\bar{K} = (\bar{v}_s - \bar{v}) \rho_s \left(\frac{\partial s}{\partial t} + \nabla \cdot s \bar{v}_s \right). \quad (7)$$

Получив систему уравнений (5), (6), оценим порядок величины некоторых их членов.

Негравитационные массовые силы

Электрически нейтральные частицы в процессе метелевого переноса не испытывают воздействия каких-либо полей массовых сил, кроме поля сил тяжести. Но снежинки несут на себе, как правило, электрические заряды, и в атмосфере имеется поле пондеромоторных сил электрического происхождения. На последнее обстоятельство ссылался Б. Н. Веденисов, отстаивая теоретическую возможность высотного переноса метелевого снега [5].

Оставляя в стороне анализ трудно учитываемой и, по-видимому, малосущественной величины $\bar{\varepsilon}$, рассмотрим порядок величины ускорения $\bar{\varepsilon}_s$ в $м/сек^2$ под действием пондеромоторных сил \bar{F} в $мг$, действующих на частицу с зарядом e в единицах $CGSE$, находящуюся в электрическом поле с напряженностью $grad \varphi$ в $в/м$, где φ — потенциал поля в вольтах.

Если g — модуль ускорения силы тяжести в $м/сек^2$, то, соблюдая размерность, получим:

$$\bar{F} = \frac{e \cdot grad \varphi}{3 \cdot 10^9 g} \text{ мг}. \quad (8)$$

Пусть G — вес частицы в $мг$. Тогда

$$\bar{\varepsilon}_s = \frac{e}{G} \cdot \frac{grad \varphi}{3 \cdot 10^9} \text{ м/сек}^2. \quad (9)$$

В табл. 1 и 2 суммированы имеющиеся данные по определению максимальных значений $|grad \varphi|$ во время электризации при сильных метелях [6—9] и максимальных зарядов снеговых частиц [10, 11]. Зимой значения $|grad \varphi|$ без метелей имеют порядок десятков — сотен $в/м$.

Таблица 1

Значения максимального градиента потенциала электрического поля во время электризации при метелях

А в т о р	Место наблюдения	Скорость ветра по флюгеру, $м/сек$	$ grad \varphi _{max}$, $в/м$
В. И. Герасименко	Мыс Челюскин	13	2600
Е. А. Чернявский	Ледник Федченко	13	5400
В. И. Герасименко	Мыс Челюскин	20	6000
Н. И. Леушин	Остров Диксон	16	2000
»	»	18	2100
И. Б. Пудовкина	Склон Эльбруса	33	1050
»	»	40	3000

По А. Штегеру [12], в лабораторных условиях для частиц сахарной пыли значения e/G удавалось доводить до $0,66 CGSE/мг$, а для кристаллов метациетальдегида до $0,33 CGSE/мг$.

Таблица 2

Заряды снеговых частиц

Авторы	Характеристика частиц	Вес частиц, мг	Заряд e , $CGSE$	e/G , $\frac{CGSE}{м^2}$
Нориндер и Сиксна	Метелевые частицы при очень сильной метели (предположительный средний размер 0,2 мм)	~0,0033	$0,33 \cdot 10^{-3}$	~0,1
И. С. Анкиев	Частицы метели при снегопаде и сильном ветре	0,16	$2,14 \cdot 10^{-3}$	0,0134
»	Частицы снегопада без ветра	0,11	$1,39 \cdot 10^{-3}$	0,0126

Для снеговых частиц с минимальными радиусами искривления поверхности 0,01 ÷ 0,1 мм абсолютные максимумы e/G должны быть меньше этого экспериментального предела, если исходить из условия отсутствия коронарного разряда [11].

При $|grad\phi| > 10\,000$ в/м в летнее время происходят грозы. Вряд ли во время метели градиент электрического потенциала может достигнуть этой величины, являющейся, по-видимому, в этом случае абсолютным максимумом. Такая же величина максимума $|grad\phi|$ упоминается в статье Д. Пирса и Б. Курье [13].

В табл. 3 приведены вычисленные значения $|\bar{z}_{s,max}|$. Даже в экстремальных случаях они составляют лишь малую долю гравитационного ускорения g и не могут рассматриваться как серьезный фактор, вызывающий взвешивание снеговых частиц во время метелей.

Таблица 3

Значение максимальных ускорений снеговых частиц, вызываемых пондеромоторными силами электрического атмосферного поля

Характеристика данных	Максимумы значений		Значения $ \bar{z}_s $ по формуле (9), м/сек ²
	$ grad\phi $, в/м	$\frac{e}{G}$, $\frac{CGSE}{мг}$	
Опытные данные	6 000	0,1	0,2
Предполагаемые абсолютные максимумы	10 000	0,3	1,0

Однако абсолютная величина максимумов $grad\phi$ достаточно велика, чтобы объяснить наблюдаемые при сильных метелях радиопомехи, световые эффекты и т. д.

Сублимационный вектор

В метелевом потоке снеговые частицы разделены, диспергированы, и при низких температурах здесь явно преобладает возгонка твердой фазы над процессом кристаллизации из пара.

Подробно вопросы сублимации диспергированных частиц изложены в работе [14].

При наиболее высоких дефицитах влажности воздуха, возможных при метели, время полной сублимации метелевых частиц 10 ÷ 20 минут, что можно считать минимумом для преобладающего количества метелевых снежинок. Примем массовую концентрацию частиц у по-

верхности земли равной $600 \text{ гсек}^2/\text{м}^4$, что примерно соответствует скорости ветра, равной 20 м/сек на уровне 1 м над поверхностью земли. Предположим, что разность $|\bar{v}_s - v|$ у поверхности земли имеет порядок гидравлической скорости падения снежинок, т. е. 2 ÷ 3 м/сек. Тогда в формуле (7):

$$\bar{K} = 3 \cdot \frac{600}{10 \cdot 60} = 3 \text{ г/м}^3.$$

Сравнивая \bar{K} с членом $\rho \partial \bar{g}$, величина которого больше 7000 г/м^3 , убеждаемся, что сублимационный вектор является малой величиной высшего порядка, по сравнению с основными членами уравнения (7).

Следовательно, для исследования метели с достаточным основанием может быть использована система отдельных уравнений (1—4).

При длительных метелях фактор сублимации несомненно очень важен, так как определяет потери снега в снегосборном бассейне и дальность снегопереноса.

Тензоры напряжений

Тензор мгновенных напряжений Π можно представить в следующем виде:

$$\Pi = I \cdot p - \Pi_n, \quad (10)$$

где p — осредненное нормальное давление,

I — единичный тензор,

Π_n — величина, по смыслу аналогичная вязкому тензору напряжений в однофазной жидкости [15, стр. 66].

Тензоры T_s и T_n мы не рассматриваем в полном виде, взяв их «вязкие» части T_{ns} и T_{nn} , зависящие от внутренних деформаций в двухфазном потоке.

Тогда обобщенный тензор τ_{ik} касательных напряжений запишется так:

$$\tau_{ik} = \Pi_{nik} + T_{nsik} + T_{nnik}, \quad i \neq k, \quad i, k = 1, 2, 3.$$

Осредненное же нормальное давление p получит, по-видимому, добавление за счет нормальных составляющих T_s и T_n .

Для реальных скоростей ветра градиенты нормальных давлений p , как известно [16, стр. 65], настолько малы, что ими можно пренебречь.

В работе [17] показано, что вероятной формулой τ_{ik} для однофазной жидкости является следующая:

$$\tau_{ik} = \rho (v + v_{ik}^T) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right), \quad (11)$$

где v — коэффициент молекулярной кинематической вязкости,

v_{ik}^T — коэффициент турбулентной кинематической вязкости, имеющий тензорный характер.

Там же нами был установлен порядок величины v_{ik}^T :

$$v_{ik}^T \sim l \Delta v, \quad (12)$$

где l — характерный размер потока,

Δv — разность между осредненной скоростью в данной точке потока и характерной скоростью, соответствующей граничным или начальным условиям движения.

Неизученность тензора T_s вынуждает нас использовать в качестве первого приближения выражение (11) для двухфазного метелевого потока. При этом надо иметь в виду, что, как показано в работе [17], влияние твердой фазы на поток жидкости отчетливо выражается в виде кажущегося увеличения размеров выступов шероховатости. Это отмечено также Г. Лильеквистом на основании многочисленных опытов в Антарктиде [18].

Силы взаимодействия частиц и среды для малых концентраций оценим, пользуясь обычным выражением для сопротивления движению тел в жидкости

$$\bar{E} \sim Cs \frac{U_s}{\Omega_s} \cdot \frac{\rho(v - v_s)^2}{2} \bar{b}, \quad (13)$$

где C — безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от формы частиц и числа Re ,

U_s , Ω_s — средняя площадь миделевого сечения и средний объем частиц.

\bar{b} — единичный вектор направления.

Основные критерии

С учетом высказанных замечаний, уравнение (4) при плоском течении запишется так:

$$\frac{\partial s \bar{v}_s}{\partial t} + \frac{1}{\rho_s g} \cdot \frac{\partial q \bar{v}_s}{\partial x_1} + \frac{\partial s v_{s1} \bar{v}_s}{dx_1} = S \bar{g} + Cs \frac{U_s}{\Omega_s} \times \times \frac{\rho}{\rho_s} \frac{(v - v_s)^2}{2} \bar{b}, \quad (14)$$

где q — твердый расход снеговетрового потока в $g/m^2 \text{сек}$ через сечение, нормальное к ветру.

Имеем очевидное тождество

$$q = \rho_s s g v_{s1}.$$

Предполагается, что направление ветра совпадает с осью x_1 .

Второй член в правой части уравнения (14) является основным активным источником количества движения частиц, противостоящим силе тяжести. В принятых обозначениях будет справедливо, как условие переноса, следующее порядковое соотношение:

$$\rho_s \Omega_s g \sim C U_s \frac{\rho(v - v_s)^2}{2}. \quad (15)$$

Далее

$$\frac{\Omega_s}{U_s} \sim l_s, \quad (16)$$

где l_s — характерный размер частиц.

Непосредственно из (14) получаем безразмерное соотношение:

$$\frac{q v_s l_s}{\rho_s g l (v - v_s)^2}, \quad (17)$$

где l — характерный размер потока.

Используя (15) и (16), легко выделить из (17) четыре критерия, имеющие существенное значение для теории двухфазных потоков:

$$\Phi_0 = \frac{\rho}{\rho_s}, \quad (18)$$

$$\Phi_1 = \frac{v}{v_s} - 1, \quad (19)$$

$$\Phi_2 = \frac{q}{\rho_s q^{1/2} l_s^{1/2}}, \quad (20)$$

$$\Phi_3 = \frac{l_s}{l}. \quad (21)$$

Важную роль играют также симплексы C и S . Выражение же (17) является комплексом вида $\Phi_0^{1/2} \Phi_1^{-1} \Phi_2 \Phi_3$.

Критерии (19) и (20) были нами применены при анализе осредненных метелемерных данных. С их помощью в работе [19] найдена критериальная формула твердого расхода, справедливая, в пределах точности экспериментов, для снеговетрового, ветропесчаного и водопесчаного потоков.

Полагая, что начальные и граничные скорости потока равны нулю, из уравнения (2) с учетом (11) и (12) найдем обобщенный критерий Рейнольдса:

$$Re' = \frac{vl}{v + 2a^2lv} = \frac{Re}{1 + 2a^2Re}, \quad (22)$$

где a — безразмерный коэффициент, характеризующий степень турбулентности потока,

Re — критерий Рейнольдса, зависящий только от молекулярной вязкости.

В обычных условиях обтекания препятствий зимними ветрами, по нашим данным, $a \approx 0,05$ [20]. Следовательно, при $Re \gg 200$, как видно из (22), Re' стремится к некоторой постоянной величине $1/2a^2$ и не зависит от скорости и размеров потока, что соответствует области автомодельности. Поэтому скоростное поле метелевых потоков на достаточном расстоянии от границ движения и при неизменном числе Re' может исследоваться на уменьшенных моделях, что подтверждено многолетними экспериментами Сектора проблем транспорта Транспортно-энергетического института СОАН СССР.

Рассматривая движение твердых частиц, нужно в (22) взять вместо v разность $v - v_s$ и положить, что

$$l \sim l_s.$$

Расчет показывает, что в этом случае при размерах метелевых частиц $10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5}$ м и при относительных скоростях от 0 до 5 м/сек $Re < 200$ и автомодельность уже не соблюдается. Особенно трудно соблюсти основной критерий Φ_3 (21), так как уменьшать абсолютные размеры частиц, сохраняя подобие связности между ними, можно лишь до известного предела, имеющего порядок 10^{-5} м.

Статическая картина аккумуляции частиц зависит от кинематического поля потока, и, согласно сказанному выше, общие контуры отложений на модели должны быть подобными натуре, как это получалось у И. В. Смирнова [20]. Но подобие динамики отложений при сильном уменьшении масштаба осуществить крайне затруднительно.

Некоторые исследователи, пренебрегая критериями (21) и (22), допускают ошибки. Например, А. И. Знаменский [21] считал возможным безвредный перенос основной массы золотого песка поверх сечения Каракумского канала, что доказывалось опытами в аэродинамической трубе на естественном песке с сильно уменьшенными моделями, где подобие динамики переноса, конечно, не соблюдалось.

Транспортирующая способность метели

Предельная грузоподъемность является важнейшей характеристикой метели, как и всякого двухфазного потока с тяжелой твердой фазой.

Грузоподъемность метели следовало бы определить в результате совместного решения уравнений (1—4) и гаммы энергетических уравнений, но теоретические трудности такого решения пока непреодолимы.

Приближенную оценку можно дать или из баланса энергии двухфазного потока, вводя понятие работы взвешивания, как это делалось М. А. Великановым [23], или из баланса сил, используя уравнение (4).

Пусть процесс квазистационарен и в среднем не меняется в направлениях x_1 и x_2 . Проектируем обе части уравнения (4) на ось x_3 и интегрируем их по x_3 от уровня поверхности земли до предельной высоты взвешивания $x_3 = H$. Полагая, что ось x_3 направлена так же, как и вектор \bar{g} , получим

$$f_c = f_n, \quad (23)$$

где f_c — «плоская» концентрация снега в потоке, т. е. весовое количество поднятого метелью снега, приходящееся на единицу площади снегового покрова

$$f_c = \int_0^H \rho_s s g dx_3,$$

f_n — взвешивающие силы, приведенные к единичной горизонтальной площадке

$$f_n = \int_0^H \left[(s \nabla \cdot \Pi + \bar{E}) \cdot \frac{\bar{g}}{g} + f(x_3) \right] dx_3,$$

где $f(x_3)$ — некоторая функция от x_3 .

Введем гипотезу, согласно которой главным фактором взвешивания считается понижение давления внутри ядер мелких, но весьма напряженных вихрей, образующихся непосредственно у поверхности земли. Всасывающее давление f_n на оси вихревого ядра равно, как известно [24, стр. 292—293],

$$f_n = \rho \frac{D^2}{4} \cdot \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right)^2,$$

где D — диаметр ядра.

Градиент $\frac{\partial v_1}{\partial x_3}$ определим на основании [17], где с использованием выражений (11) и (12) выведена для профиля приземных скоростей следующая формула*:

$$\Delta v = \frac{v_*}{a} \cdot \sqrt{\ln \frac{x_3}{\frac{\sqrt{\pi}}{2a} \cdot \frac{v}{v_*} \operatorname{erf} \frac{a \Delta v}{v_*}}}}, \quad (24)$$

где $\Delta v = v_1 + v_0$,

* Эта формула справедлива в приземном слое толщиной до 40—50 см при отсутствии заметного температурного градиента. При однородной шероховатости и больших размерах неровностей влияние (24) может распространиться и на большие расстояния.

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}},$$

v_0 — скорость потока на границе движения,
 τ_0 — напряжение трения на поверхности земли.

Из (24) получаем:

$$\frac{\partial v_1}{\partial x_3} = \frac{\tau_0}{\nu \rho} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\pi}{\psi} \cdot e^{\psi} \cdot \operatorname{erf} \sqrt{\psi}}}}, \quad (25)$$

где

$$\psi = \frac{\rho}{\tau_0} a^2 (\Delta v)^2.$$

На поверхности земли $\Delta v = 0$ и, как и следует ожидать,

$$\left. \frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right|_{x_3=0} = \frac{\tau_0}{\nu \rho} = \frac{v_*^2}{\nu}.$$

Пусть на уровне $x_3 = h$ разность Δv равна Δv_h . В некотором отдалении от стенки

$$\Delta v_h = \frac{v_*}{a} \sqrt{\ln \frac{h}{\delta}}, \quad (26)$$

где δ — средняя высота бугорков шероховатости, которая приблизительно равна:

$$\delta = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\nu}{a v_*}. \quad (27)$$

Исключая a из (26) и (27), получим:

$$v_* = \sqrt{\frac{\Delta v_h \nu}{2\delta}} \sqrt{\frac{\pi}{\ln \frac{h}{\delta}}}.$$

Следовательно,

$$\left. \frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right|_{x_3=0} = \frac{\Delta v_h}{2\delta} \sqrt{\frac{\pi}{\ln \frac{h}{\delta}}}.$$

Тогда всасывающее давление f_n определится так:

$$f_n = \frac{\pi}{64} \frac{\rho D^2 (\Delta v_h)^2}{\delta^2 \ln \frac{h}{\delta}}. \quad (28)$$

Пусть $D = a\delta$, где a — коэффициент пропорциональности. Естественно предположить, что D и δ — величины одного и того же порядка. С другой стороны, очевидно, что $a > 1$, т. е. размер ядра приземного вихря должен быть несколько больше размера взвешиваемой им тяжелой частицы.

Получаем неравенство:

$$f_n > \frac{\pi}{64} \frac{\rho (\Delta v_h)^2}{\ln \frac{h}{\delta}} \geq M^2. \quad (29)$$

Назовем далее общим расходом снега величину

$$Q = \int_0^H q dx, \text{ г/мсек.}$$

В отличие от расхода q , приведенного к единичной площадке поперечного сечения потока, общий расход Q означает весовой перенос метелевого снега в единицу времени через единицу длины фронта потока.

Имеем очевидное равенство:

$$Q = f_c v_{ср}, \quad (30)$$

где $v_{ср}$ — средняя скорость движения поднятых частиц относительно земной поверхности.

Полагаем, что $v_{ср}$ пропорциональна Δv_h , т. е. $v_{ср} = \beta \Delta v_h$, где β — некоторый коэффициент, зависящий от h . Тогда из (23), (29) и (30) найдем

$$Q > \frac{\pi}{64} \cdot \beta \cdot \frac{\rho (\Delta v_h)^3}{\ln \frac{h}{b}} \text{ г/мсек.} \quad (31)$$

Из (31) вытекает пятый критерий двухфазного потока, связывающий общий твердый расход Q с характеристиками среды:

$$\Phi_4 = \frac{Q \ln \frac{h}{b}}{\rho (\Delta v_h)^3}. \quad (32)$$

Сделаем следующее замечание по поводу величины граничной скорости потока v_0 . Как установлено опытом, существуют некоторые критические скорости потока v' , после превышения которых начинается пере-

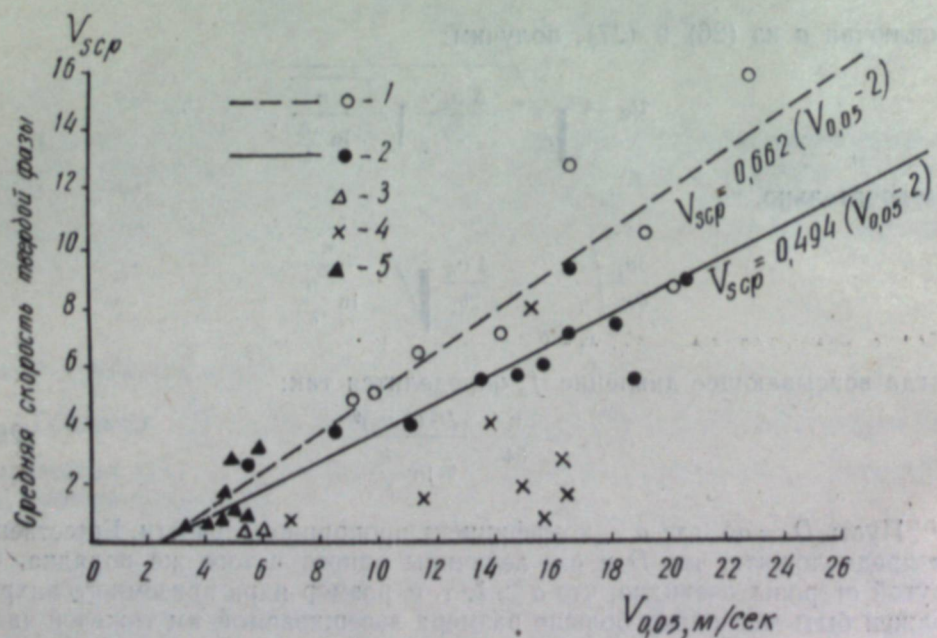


Рис. 1. Средние скорости движения метелевых частиц в приземном слое.

1 — скорости облака снеговых частиц, непосредственно измеренные в аэродинамическом канале при температуре выше -5°C , 2 — то же, при температуре ниже -5°C , 3 — скорости скользящих частиц, измеренные в аэродинамическом канале, 4 — данные батометрических измерений в аэродинамическом канале в слое 0–2 см, 5 — данные батометрических измерений в полевых условиях в слое 0–10 см.

нос твердой фазы с расходом $Q > 0$. Многочисленные измерения скоростей ветра в приземном слое показывают, что для снега предшествующая его переносу критическая скорость в самых благоприятных для эрозии условиях уверенно может быть приравнена 2 м/сек. При $v_h < v'$ $Q = 0$, но в соответствии с формулами (23), (28) и (30) это может иметь место только при условии $D \sim 0$ или $v_0 \sim v'$. Мы предполагаем последнее, т. е. $v_0 \sim v' \sim 2$ м/сек.

Величина β автором определялась экспериментально. В специальном аэродинамическом канале сечением $0,15 \times 0,15 \text{ м}^2$ и длиной 14,9 м в 1958–1959 гг. измерялась скорость прохода облака снеговых частиц. Результаты экспериментов показаны на рис. 1. В первом приближении для температур ниже -5° они могут быть обобщены эмпирической формулой:

$$v_{ср} = 0,494 (v_{0,05} - 2) \text{ м/сек,} \quad (33)$$

где $v_{0,05}$ — скорость потока на высоте 0,05 м.

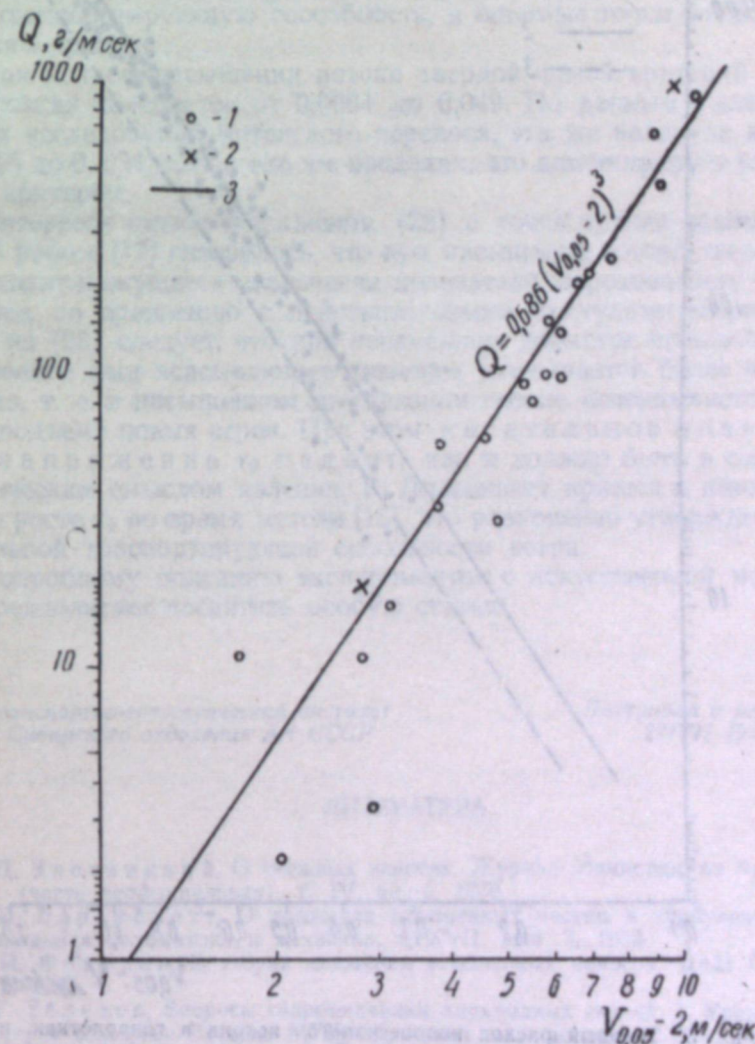


Рис. 2. Твердый расход полностью насыщенного снеговетрового потока в экспериментальном канале.

1 — сечение канала $0,15 \times 0,15 \text{ м}^2$, 2 — сечение канала $0,30 \times 0,30 \text{ м}^2$, 3 — теоретическая кривая.

Приняв $\beta = 0,5$, $v_0 = 2$ м/сек, $\rho = 130$ гсек²/м⁴, $h = 0,05$ м, $\delta = 0,0005$ м [17], имеем:

$$Q > 0,686 (v_{0,05} - 2)^3 \text{ г/мсек.} \quad (34)$$

Интересно заметить, что при $v_1 = 1,4 v_{0,05}$ формула (34) почти точно совпадает с нашей приближенной критериальной формулой, выведенной в работе [19].

На рис. 2 показана кривая, построенная по формуле (34), сопоставленная с экспериментальными данными автора, полученными при измерении общего расхода снега в аэродинамическом канале холодной лаборатории.

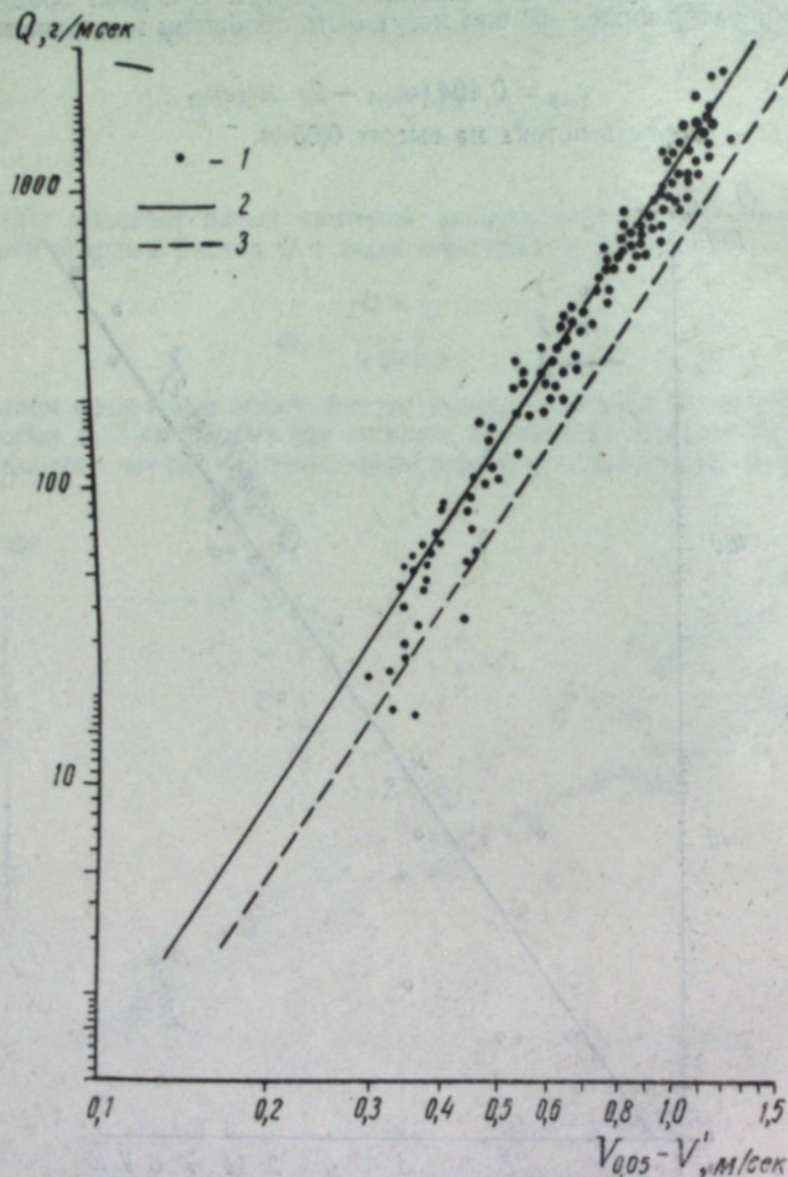


Рис. 2. Твердый расход водопесчаного потока в гидроротках, по данным В. Н. Гончарова и Г. Н. Лапшина, при средней глубине потока 10 см.

1 — экспериментальные данные, 2 — теоретическая кривая при наибольшем диаметре частиц 4,83 мм, 3 — теоретическая кривая при минимальном диаметре частиц 0,75 мм.

Можно проверить теоретическую формулу (31) на примере других разновидностей двухфазных потоков. Используем для этого экспериментальные данные В. Н. Гончарова и Г. Н. Лапшина [25] по измерению переноса песка в гидроротках. Размеры частиц в этих опытах варьировали от 0,75 до 4,83 мм. Таков же порядок величины выступов шероховатости δ . Принимаем, по аналогии с предыдущим, $\beta = 0,5$, $\alpha > 1$. Массовая плотность среды $\rho = 10200$ гсек²/м⁴. Тогда

$$Q > 596 (v_{0,05} - v')^3 \text{ г/мсек при } \delta = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$Q > 1073 (v_{0,05} - v')^3 \text{ г/мсек при } \delta = 4,83 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

где v' — средняя критическая «непередвигающая» скорость потока, изменявшаяся в опытах от 0,24 до 0,37 м/сек.

На рис. 3 приведены кривые, построенные по этим двум формулам, и экспериментальные точки.

Как при имитации метели в аэродинамическом канале, так и в гидроротке создавались наиболее благоприятные условия для переноса частиц размываемой поверхности. Поэтому поток успевал реализовать всю свою транспортирующую способность, и опытные точки близки к теоретическим кривым.

При полном насыщении потока твердой фазой критерий Φ_4 (32) в гидроротках колеблется от 0,0084 до 0,049. По данным наших лабораторных исследований метелевого переноса, эта же величина изменяется от 0,015 до 0,034, т. е. в тех же пределах, что демонстрирует универсальность критерия.

Интересен смысл выражения (28) с точки зрения взаимодействия фаз. В работе [17] говорилось, что при насыщении потока твердой фазой происходит кажущееся увеличение показателя шероховатости δ в 10 раз и более, по сравнению с действительными выступами шероховатости. Тогда из (28) следует, что при неизменном диаметре приземных вихрей вызываемое ими всасывающее давление уменьшается более чем в 50—100 раз, т. е. в насыщенном двухфазном потоке исчерпывается возможность подъема новых зерен. При этом касательное поверхностное напряжение τ_0 падает, как и должно быть в соответствии с физическим смыслом явления. Г. Лильеквист пришел к неверному выводу о росте τ_0 во время метели [18], что равноценно утверждению о беспредельной транспортирующей способности ветра.

Подробному описанию экспериментов с искусственной метелью автор предполагает посвятить особую статью.

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
22/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Д. Злотницкий, О снежных заносах. Журнал Министерства путей сообщения (часть неофициальная), т. IV, кн. 1, 1878.
2. Г. И. Баренблатт, О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке. Прикладная математика и механика, т. XVII, вып. 3, 1953.
3. Ф. И. Франкль, К теории движения взвешенных наносов. ДАН СССР, т. 92, № 2, 1953.
4. С. Г. Телетов, Вопросы гидромеханики двухфазных смесей. I. Уравнения гидромеханики и энергии. Вестник МГУ, сер. матем., мех., астроном., физ., хим., № 2, 1958.
5. Б. Н. Веденисов, О повышении эффективности борьбы со снегом на железных дорогах. Тр. Моск. ин-та инж. ж.-д. транспорта, вып. 71, 1948.
6. И. Б. Пудовкина, Электризация при поэмке. II. Межведомственное координационное совещание по изучению снега и снежного покрова, Нальчик, 1956.

7. В. И. Герасименко, Атмосферно-электрические исследования на мысе Челюскина в 1934/35 гг. Сб. работ по земному магнетизму и атмосферному электричеству, вып. 2, Тр. Арктического ин-та, т. 97, Л., 1937.
8. Н. И. Леушин, Результаты регистрации градиента электрического потенциала на острове Диксон. Тр. Арктического ин-та, т. 78, Л., 1937.
9. Е. А. Чернявский, К вопросу о заряде поверхности земли. Изв. АН СССР, сер. геофиз. и геогр., т. XII, № 2, 1948.
10. И. С. Аникиев, Электрические заряды дождевых капель и снежинок. Метеорология и гидрология, № 4, 1951.
11. H. Norinder, R. Siksna, Elektric charges measured in the air when blowing snow. Arkiv geofysik, vol. 2, № 4, 1955.
12. A. Stäger, Experimentaluntersuchungen über Kontaktelektrisierung von Staub und wolkenförmig zerteilten Körpern, speziell von Schnee als gewitterbildendem Factor. Ann. der Physik, Bd. 76, Leipzig, 1925.
13. D. C. Pearce, B. W. Currie, Some Qualitative Results on the Electrification of Snow. Canadian Journal of Research, vol. 27, № 1, S. A. Physical Sciences, 1949.
14. А. К. Дюнин, Сублимация снега. Изв. СОАН СССР, № 2, 1958.
15. Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц, Механика сплошных сред, ГИТТЛ, М.—Л., 1954.
16. Б. Н. Юрьев, Экспериментальная аэродинамика, ч. 1. Гл. ред. авиац. лит. М.—Л., 1936.
17. А. К. Дюнин, О полуэмпирической теории турбулентного пограничного слоя. Изв. СОАН СССР, № 5, 1959.
18. G. H. Liljequist, Wind structure in the low layer. Norsk. Polarinstitut, Oslo, 1957.
19. А. К. Дюнин, Твердый расход снеговетрового потока. Тр. Трансп.-энергет. ин-та ЗСФАН СССР, вып. IV (транспортный), Новосибирск, 1954.
20. А. К. Дюнин, Об аналитическом определении приземных скоростей ветра за проникаемыми снегозадерживающими конструкциями. Изв. Вост. фил. АН СССР, № 1, 1957.
21. И. В. Смирнов, Снежные отложения в условиях искусственной метели. Тр. Геофиз. обсерватории в Кучине. Геофиз. бюлл., № 14. Гос. н.-и. геофизич. ин-т, М., 1926.
22. А. И. Знаменский, О защите Захметского участка Каракумского канала от песчаных заносов. Изв. АН Туркмен. ССР, № 2, 1956.
23. М. А. Великанов, Руслевой процесс (основы теории). Гос. изд. физ.-мат. лит., М., 1958.
24. Н. Я. Фабрикант, Аэродинамика, ч. 1. ГИТТЛ, М.—Л., 1949.
25. В. Н. Гончаров, Движение наносов. ОНТИ, М.—Л., 1938.

И. Н. ГАРЦМАН

К ВОПРОСУ О ТРАНСФОРМАЦИИ ПАВОДОЧНОЙ ВОЛНЫ

В статье В. И. Мокляка [1] поставлен чрезвычайно важный методологический вопрос: целесообразно ли расчеты трансформации паводочной волны базировать на упрощенных схемах, не учитывающих скоростной структуры потока? Может быть, анализ модели расхода позволит разработать более рациональную методику расчетов трансформации паводочной волны?

Несмотря на неизбежность ограничивающих условий, принятых В. И. Мокляком, можно утверждать, что последнее предположение является вполне реальным.

Рассмотрим вкратце этот вопрос для естественных русел, идя по пути усложнения задачи.

1. На бесприоточном участке AB (см. рис. 1) перемещается равномерный поток. Рассмотрим движение на этом участке элемента модели расхода — эпюры скоростей на некоторой вертикали. Заменяем предварительно кривую эпюр ступенчатым графиком по ΔU .

Допустим, что ступенька U_0 , соответствующая средней скорости по вертикали, пройдет путь от A до B (L_0) за время Θ_0 , т. е.

$$\frac{L_0}{U_0} = \Theta_0. \quad (1)$$

Пусть смежная с ней ступенька $U_0 + \Delta U$ пройдет тот же путь за время $\Theta_0 - 1$, ступенька $U_0 - \Delta U$ — соответственно за время $\Theta_0 + 1$, а последующие ступеньки $U_0 \pm 2\Delta U$, $U_0 \pm 3\Delta U$, ..., $U_0 \pm n\Delta U$ пройдут расстояние L_0 за время $\Theta_0 \mp 2$, $\Theta_0 \mp 3$, ..., $\Theta_0 \mp n$.

В таком случае очевидно соотношение

$$L_0 = (U_0 \pm n\Delta U)(\Theta_0 \mp n), \quad (2)$$

откуда

$$\Delta U = \frac{U_0}{\Theta_0 \mp n}. \quad (2a)$$

Следовательно, за время Θ_0 отдельные ступеньки пройдут путь

$$L_0 \pm \Delta L = (U_0 \pm n\Delta U)\Theta_0, \quad (3)$$

откуда

$$\Delta L = n\Theta_0\Delta U, \quad (3a)$$

где n — число расчетных интервалов времени 1, 2, 3, ..., Θ_0 .

С учетом (2a) запишем

$$\Delta L = n \frac{\Theta_0 U_0}{\Theta_0 \mp n}. \quad (3b)$$

Положим $\Theta_0 = 10$ и рассмотрим положения трех смежных ступенек $U_0 - \Delta U$, U_0 , $U_0 + \Delta U$ (одновременно вышедших из створа A) в момент,

когда ступенька U_0 достигла створа B . Очевидно, что нижняя ступенька еще не дойдет за время θ_0 до створа B на

$$\Delta L = \frac{\theta_0}{\theta_0 + 1} U_0 = \frac{10}{11} U_0,$$

а верхняя ступенька в данных условиях уйдет вперед на

$$\Delta L = \frac{\theta_0}{\theta_0 - 1} U_0 = \frac{10}{9} U_0.$$

Рассмотренное положение ступенек приведено на рис. 1. Размеры и положение последующих ступенек (при $n > 1$) нетрудно рассчитать по (2 а) и (3 б).

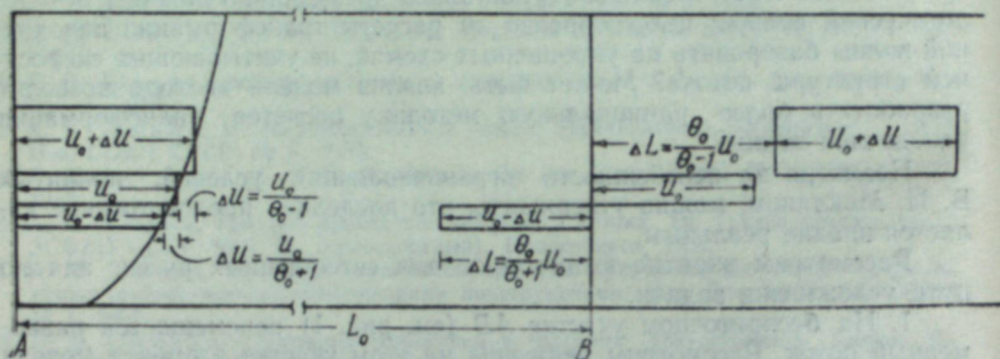


Рис. 1. Схема перемещения элемента модели расхода воды — эпюры скоростей.

Идя по тому же пути, при заданных L_0 и U_0 расход Q' в створе A можно разделить на элементы ΔQ , которые за время $\theta \cong \theta_0$ придут в створ B , т. е.

$$\Delta Q = \varphi(\theta). \quad (4)$$

Формула (3) представляет собой уравнение частной* дебитографической кривой расхода.

График рассматриваемой кривой, по-видимому, является ступенчатым. По мере уменьшения расчетного интервала времени $\Delta\theta$ будет уменьшаться и ширина ступеньки, а в дифференциальной форме график дебитографической кривой примет вид плавной линии (рис. 2), особенности которой определяются следующим.

Элемент ΔQ является частью модели расхода, заключенной между поверхностями, проходящими через смежные изотакхи U_i и $U_i \pm \Delta U$. Следовательно,

$$\Delta Q = \frac{U_i + U_i \pm \Delta U}{2} \Delta\omega = U_i \Delta\omega \pm \frac{\Delta U \Delta\omega}{2},$$

где $\Delta\omega$ — площадь живого сечения, заключенная между секущими поверхностями.

При достаточно больших θ_0 , т. е. в связи с (2 а), и достаточно малых ΔU можно записать

$$\Delta Q = U_i \Delta\omega.$$

* Частной эта кривая названа потому, что она действительна лишь для определенного расхода Q и изменяется с увеличением или уменьшением последнего. Обобщенная дебитографическая кривая имеет общее уравнение $\Delta Q = f(\theta, Q)$.

В направлении от дна к поверхности скорости U_i непрерывно увеличиваются; одновременно уменьшаются частные площади $\Delta\omega$. Таким образом,

$$\Delta Q = U_n \Delta\omega_n \approx U_m \Delta\omega_m \approx 0,$$

где индексами n и m обозначены скорости и площади соответственно у дна и в срединной части потока.

Поэтому с учетом $\theta_n = \frac{L_0}{U_n}$ и $\theta_m = \frac{L_0}{U_m}$ запишем

$$\varphi(\theta_m) = \varphi(\theta_n) = 0. \quad (4a)$$

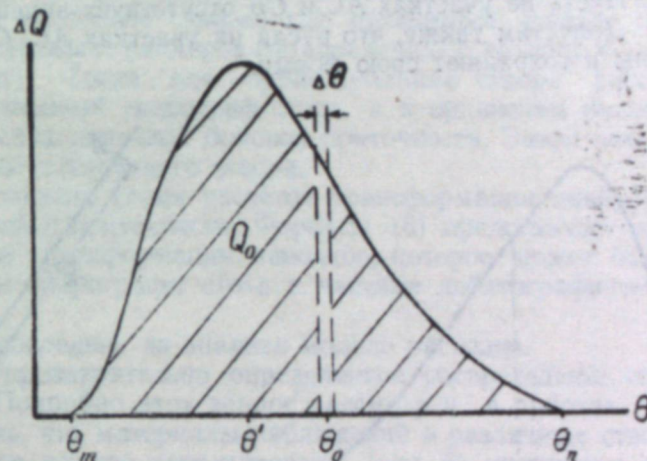


Рис. 2. Частная дебитографическая кривая расхода Q .

От дна и поверхности к средней части живого сечения ΔQ будет возрастать, достигнув максимума при некоторой скорости U' ($\theta' = \frac{L_0}{U'}$).

Очевидно, что расход Q'' в створе B будет представлять собой сумму элементов ряда расходов $(\Delta Q)_{T-\theta_n}, (\Delta Q)_{T-\theta_{n-1}}, \dots, (\Delta Q)_{T-\theta_0}, (\Delta Q)_{T+\theta_1}, \dots, (\Delta Q)_{T+\theta_m}$, проходящих через створ A в разные моменты времени T_i . Учитывая это, а также (4) и $Q'_T = Q_{T+\theta_0} = Q_0$, можно записать:

$$Q'_{T+\theta_0} = \varphi(\theta_n) + \varphi(\theta_{n-1}) + \dots + \varphi(\theta_0) + \dots + \varphi(\theta_m) = \sum_{\theta_i=\theta_n}^{\theta_m} \varphi(\theta_i). \quad (5)$$

Следовательно, при равномерном режиме расход равен площади дебитографической кривой:

$$Q'_{T+\theta_0} = \int_{\theta_n}^{\theta_m} \varphi(\theta) d\theta = Q_0. \quad (5a)$$

Формулы (5) и (5а) описывают трансформацию равномерного потока (нулевую трансформацию) и представляют интерес с точки зрения выявления ее механизма.

2. При паводочном стоке (на бесприточном участке AB) механизм трансформации сохраняется тем же. Однако в этом случае в створе A режим стока задан графиком $Q' = Q'(t)$, представленным на рис. 3; каждый расход Q'_i характеризуется собственной дебитографической кривой $\Delta Q = \varphi_{Q'_i}$.

По аналогии с (5) для паводочного режима стока по прямолинейному руслу произвольной формы живого сечения (но неизменной по длине участка) можно записать:

$$Q_{T+\theta_0}^* = \varphi_{Q_{T-\theta_n}}'(\theta_n) + \varphi_{Q_{T-\theta_{n-1}}}'(\theta_{n-1}) + \dots + \varphi_{Q_T}'(\theta_0) + \dots + \varphi_{Q_{T+\theta_m}}'(\theta_m) = \sum_{\theta_i=\theta_n}^{\theta_m} \varphi_{Q_{T+\theta_i}}'(\theta_i). \quad (6)$$

3. Рассмотрим движение паводочной волны по речной сети, включающей, кроме главной реки, один боковой приток значительной мощности (рис. 4). Пусть на участках AC и CB отсутствует линейная боковая приточность. Допустим также, что русла на участках AC , CB и притоке прямолинейны и сохраняют свою форму.

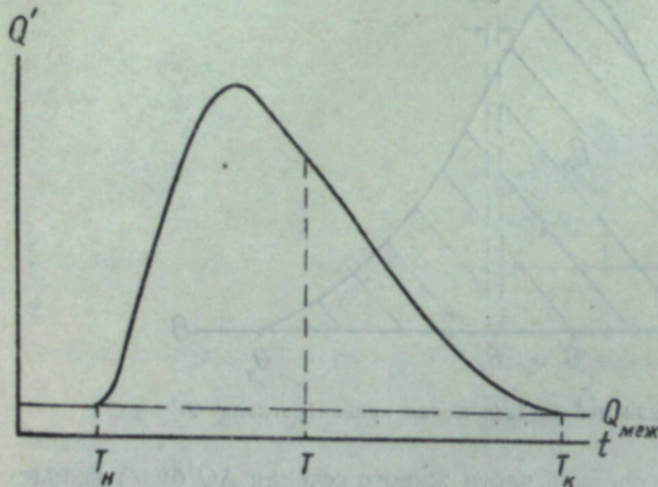


Рис. 3. Гидрограф стока в створе А.

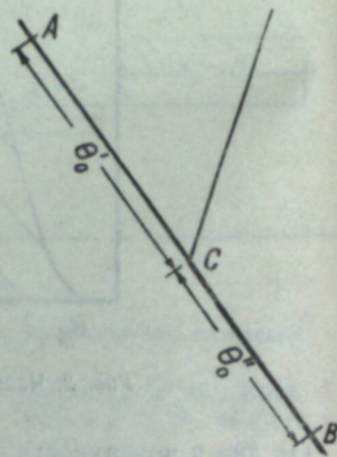


Рис. 4. Схема приточного участка реки.

Паводок в створе А задан гидрографом $Q' = Q'(t)$. С учетом трансформации на участке AC будем иметь $Q_{\theta_0}^* = Q_{\theta_0}^*(t)$. Пусть паводочная волна на притоке в точке С задана гидрографом $Q''' = Q'''(t)$. Тогда, естественно, гидрограф стока главной реки в точке С ниже впадения притока будет иметь вид:

$$Q_{\theta_0}^*(t) = Q_{\theta_0}^*(t) + Q'''(t). \quad (7)$$

С учетом трансформации на участке CB в замыкающем створе В гидрограф стока будет иметь вид:

$$\theta_{\theta_0+\theta_0}^* = \psi [Q_{\theta_0}^*(t)] = \psi [Q_{\theta_0}^*(t) + Q'''(t)], \quad (7a)$$

где ψ — символ трансформации паводочной волны на участке CB .

Уравнения (7) и (7a) описывают порядок расчетов трансформации паводочной волны на приточном участке:

а) по главной реке и притоку выше слияния, в соответствии с характеристиками их русел и графиками паводочного стока, необходимо рассчитать трансформированные гидрографы стока в точке С $Q_{\theta_0}^*(t)$ и $Q'''(t)$;

б) суммируя ординаты обоих трансформированных гидрографов, получаем исходный график стока главной реки ниже слияния $Q_{\theta_0}^*(t)$;

в) учитывая особенности нижнего участка реки, рассчитываем трансформированный гидрограф стока $Q_{\theta_0+\theta_0}^*(t)$.

4. При большом числе промежуточных притоков можно установить соответствующий порядок расчетов. Необходимо лишь в каждом случае учитывать своеобразие трансформирующих свойств промежуточных участков.

5. В случаях, когда между притоками имеет место значительная линейная боковая приточность, разумнее всего, вероятно, вводить дополнительные расчетные створы, где суммарный расход приточности достигает ощутимых размеров (по сравнению с точностью гидрометрических работ). Тогда для промежуточного створа рассчитывается трансформированный гидрограф стока, а к ординатам последнего прибавляется расход линейной боковой приточности. Затем расчеты можно продолжить до следующего створа.

Выше изложена схема расчетов трансформации паводочной волны с учетом боковой приточности. Формула (6) представляет собой основное уравнение трансформации паводков, которое может быть решено, если известны гидрографы стока и частные дебитографические кривые расходов.

Найдем последние из анализа модели расходов.

Примем предварительно определенное распределение скоростей по вертикали. Подробно этот вопрос рассмотрен в работах [2, 3 и др.]. Отметим лишь, что материалы наблюдений в различных створах Амура и его притоков хорошо удовлетворяют (рис. 5) уравнению вида:

$$\frac{U}{U_0} = (s+1) \left(\frac{y}{H} \right)^s, \quad (8)$$

где U — скорость в точке, находящейся на расстоянии y от дна, H — глубина вертикали, s — некоторый параметр.

Используя формулу Шези для средней скорости (на вертикали)

$$U_0 = \frac{i^{1/2}}{n} H^{2/3}, \quad (9)$$

уравнение (8) можно записать так:

$$U = \frac{s+1}{n} i^{1/2} H^{2/3} y^s, \quad (10)$$

где i — уклон водной поверхности,

n — коэффициент шероховатости русла.

Примем определенные характеристики качества русла. Для этого воспользуемся предложением В. Н. Гончарова [4] относительно приведенных сечений при условии, что удельное сопротивление русла постоянно по всей его ширине.

Суть предлагаемой замены профиля русла кривой обеспеченности его глубин сводится к следующему. Пусть имеется профиль живого сечения русла (рис. 6) полной ширины B_0 и наибольшей глубины H_0 . Для удобства дальнейших построений профиль дан в относительных координатах $\frac{H}{H_0}$ и $\frac{B}{B_0}$, где H — глубина по произвольной вертикали, а B — ширина русла по произвольному сечению.

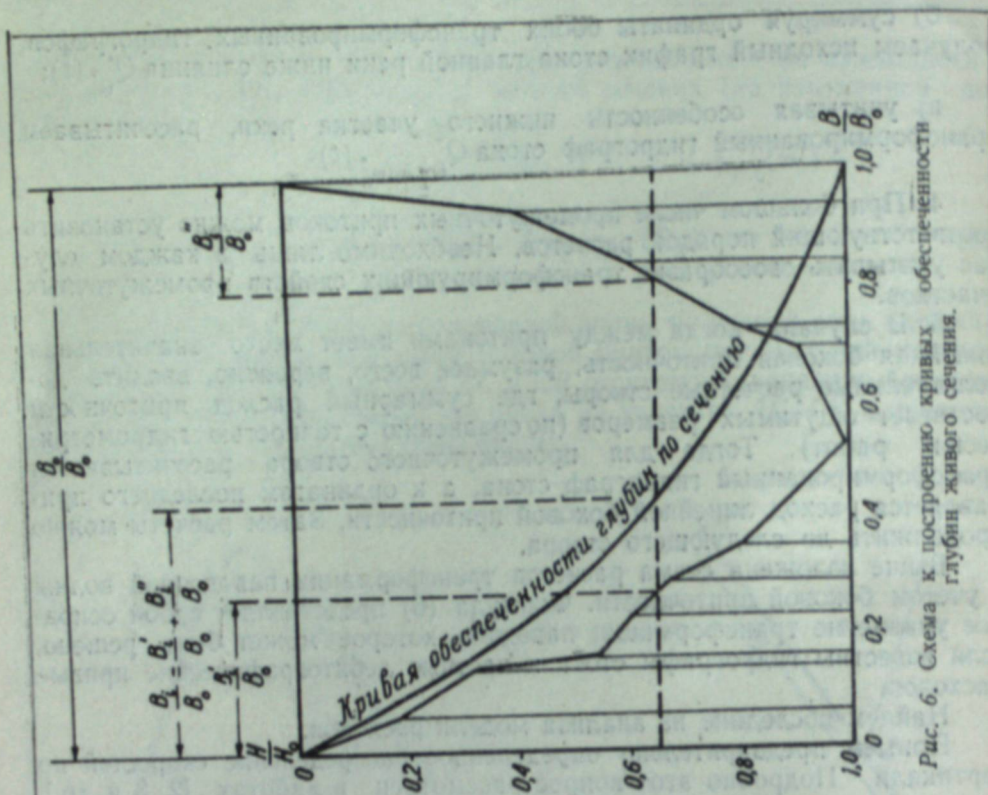


Рис. 6. Схема к построению кривых обеспеченности глубин живого сечения.

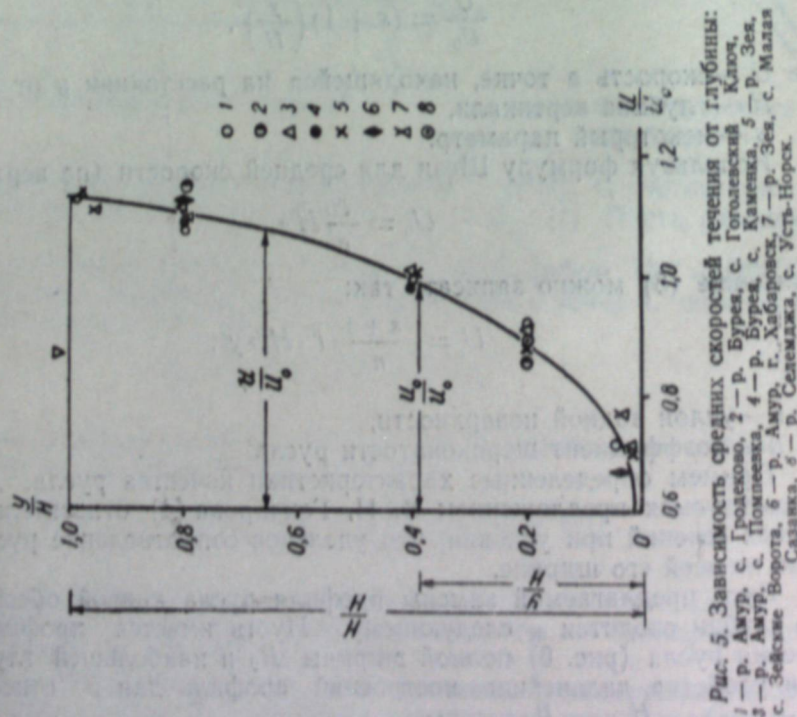


Рис. 5. Зависимость средних скоростей течения от глубины: 1 - р. Амур, с. Гродеково, 2 - р. Бурея, с. Гоголевский Ключ, 3 - р. Амур, с. Помпеяна, 4 - р. Бурея, с. Камеяка, 5 - р. Зея, с. Зейские Ворота, 6 - р. Амур, г. Хабаровск, 7 - р. Зея, с. Малая Салазика, 8 - р. Селенга, с. Усть-Норск.

Некоторая вертикаль $\frac{H_1}{H_0}$ находится на расстоянии $\frac{B_1'}{B_0}$ от одного берега и на $\frac{B_1''}{B_0}$ — от другого. Под приведенным расстоянием данной вертикали от берега будем понимать

$$\frac{B_1}{B_0} = \frac{B_1' + B_1''}{B_0}.$$

Точки $\left(\frac{H_1}{H_0}, \frac{B_1}{B_0}\right)$ принадлежат кривой обеспеченности глубин, которая показывает, в какой части русла глубины не превышают $\frac{H_1}{H_0}$.

Уравнение типа

$$\frac{H}{H_0} = \left(\frac{B}{B_0}\right)^r \quad (11)$$

является наиболее удобным по сравнению с другими и, по свидетельству В. Н. Гончарова, охватывает с приемлемой точностью огромную часть всего разнообразия реальных сечений. Примеры различных сечений Амура и его притоков показывают, что $r = 1 \div 4$.

Пусть Q_i и Q_{i+1} — частные расходы, ограниченные поверхностями, нормальными к плоскости живого сечения и проходящими соответственно через изотакхи U_i и U_{i+1} . Тогда

$$\Delta Q = Q_i - Q_{i+1}. \quad (12)$$

Полный расход воды

$$Q = \int_0^{B_0} \int_0^H U dy dB. \quad (13)$$

Для определения частного расхода Q_i интегрирование необходимо вести не от дна ($h_i = 0$) и уреза воды ($B = 0$), а от некоторой глубины $h_i \neq 0$ и от B_i — приведенного расстояния от берега точки на поверхности сечения, где скорость $U = U_i$.

Следовательно,

$$Q_i = \int_{B_i}^{B_0} \int_{h_i}^H U dy dB, \quad (13a)$$

$$Q_{i+1} = \int_{B_{i+1}}^{B_0} \int_{h_{i+1}}^H U dy dB, \quad (13b)$$

откуда

$$\Delta Q = \int_{B_{i+1}}^{B_i} \int_{h_{i+1}}^{h_i} U dy dB. \quad (12a)$$

Из (12a) следует, что уравнение дебитографической кривой может быть получено при условии, что будет решен интеграл типа (13a) и будут рассчитаны пределы интегрирования h_i и B_i . Последние легко установить из (10) с учетом (11):

$$h_i = \left[\frac{nU_i}{(s+1)l^{1/s}H_0^{2/s}} \right]^{1/3} \text{ при } U = U_i, y = h_i \quad (14)$$

и

$$B_i = B_0 \left[\frac{nU_i}{(s+1)l^{1/s}H_0^{2/s}} \right]^{3/2r} \text{ при } U = U_i, y = h_i = H. \quad (15)$$

Рассчитав h_i и B_i , нетрудно решить и интеграл (13 а):

$$Q_i = \frac{3(r+1)^{5/2}}{5r+3} Q_0 \left\{ 1 - \left[\frac{1}{(s+1)(r+1)^{3/2}} \frac{\theta_0}{\theta_i} \right]^{5r+3} \right\} - \frac{3s(r+1)^{5/2}}{3s(r+1)-2r} \times \\ \times \left[\frac{1}{(s+1)(r+1)^{3/2}} \frac{\theta_0}{\theta_i} \right]^{s+1} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{(s+1)(r+1)^{3/2}} \frac{\theta_0}{\theta_i} \right]^{3s(r+1)-2r} \right\}. \quad (16)$$

Нетрудно заметить, что для Q_{i+1} уравнение (16) сохранит свой вид с заменой θ_i на θ_{i+1} . Тогда после преобразований (12) можно записать в следующем виде:

$$\Delta Q = Q_i - Q_{i+1} = A_1 Q_0 \left[\left(\frac{\theta_0}{\theta_{i+1}} \right)^{\alpha_1} - \left(\frac{\theta_0}{\theta_i} \right)^{\alpha_1} \right] + \\ + A_2 Q_0 \left[\left(\frac{\theta_0}{\theta_{i+1}} \right)^{\alpha_2} - \left(\frac{\theta_0}{\theta_i} \right)^{\alpha_2} \right], \quad (17)$$

где

$$A_1 = 3(r+1)^{5/2} \left[\frac{1}{5r+3} - \frac{s}{3s(r+1)-2r} \right] \left[\frac{1}{(s+1)(r+1)^{3/2}} \right]^{5r+3}, \\ A_2 = \frac{3s(r+1)^{5/2}}{3s(r+1)-2r} \left[\frac{1}{(s+1)(r+1)^{3/2}} \right]^{s+1}, \\ \alpha_1 = \frac{5r+3}{2r}, \quad \alpha_2 = \frac{s+1}{s}.$$

Уравнения (16) и (17) имеют сложный вид. Однако, принимая конкретные значения r и s , эти выражения можно упростить. Материалы наблюдений в створах Амура и некоторых его притоков, как и волжские измерения [3], показывают, что $s=0,15$. Для р. Бурея у с. Каменка $r=2$. Поэтому (16) для Буреи у с. Каменка принимает вид:

$$Q_i = Q_0 \left[1 - 0,105 \left(\frac{B_0 H_0}{Q_0} U_i \right)^{3,33} + 0,00114 \left(\frac{B_0 H_0}{Q_0} U_i \right)^{7,66} \right]. \quad (16a)$$

Таблица 1

Сопоставление значений частных расходов Q_i , вычисленных по (16 а) и полученных по полевым измерениям

$Q_0, \text{ м}^3/\text{сек}$	$H_0, \text{ м}$	$B_0, \text{ м}$	$U_1 = 1,06 \text{ м/сек}$		$U_2 = 0,742 \text{ м/сек}$		$U_3 = 0,572 \text{ м/сек}$	
			по формуле (16 а) $Q_{11}, \text{ м}^3/\text{сек}$	по измерениям $Q_{12}, \text{ м}^3/\text{сек}$	по формуле (16 а) $Q_{21}, \text{ м}^3/\text{сек}$	по измерениям $Q_{22}, \text{ м}^3/\text{сек}$	по формуле (16 а) $Q_{31}, \text{ м}^3/\text{сек}$	по измерениям $Q_{32}, \text{ м}^3/\text{сек}$
810	4,00	378	138	120	560	600	710	705
1330	4,76	410	770	845	1150	1110	1250	1250
1720	5,30	450	1100	1360	1520	1530	1640	1600
2120	5,44	453	1700	1890	1980	2030	2060	2070
2300	5,72	456	1870	1880	2160	2010	2230	2150
2910	6,00	460	2600	2540	2820	2720	2880	2800
3090	6,60	460	2720	2750	2970	2890	3040	2960
3370	6,80	462	3040	3080	3260	3220	3340	3260
3820	6,92	470	3560	3570	3740	3670	3780	3750

В табл. 1 приведены материалы 9 измерений расходов воды, которые использованы для проверки (16 а). Как следует из сопоставления вычисленных и наблюдаемых значений Q_i , формула (16 а) в данном случае дает удовлетворительные результаты: расхождения не превышают $\pm 10\%$ в подавляющем большинстве случаев. В рамках небольшой статьи нет места для широкого сопоставления материалов вычис-

лений и наблюдений. Поэтому ограничимся лишь приведенной иллюстрацией.

Изложенное показывает, что анализ скоростного поля потока — плодотворный путь поисков методики расчетов трансформации паводочной волны.

Остановимся в заключение на ряде принятых выше допущений.

1. К допущениям, связанным с принятым постоянным распределением скоростей по вертикали ($s=0,15$), относятся допущения о постоянстве i и n по ширине реки. В практике расчетов они могут быть устранены путем построения частных дебитографических кривых по материалам полевых измерений. Еще лучше строить обобщенные дебитографические кривые $\Delta Q = f(\theta, Q)$. И в том и в другом случаях, опираясь на материалы непосредственных измерений, мы учтем действительное распределение скоростей по живому сечению.

2. К допущениям, связанным с принятой постоянной по длине реки дебитографической кривой расхода, относятся допущения о постоянстве i , n и r по длине реки. Очевидно, эти допущения не соответствуют фактическому положению дел. Вместе с тем, гидрографические исследования позволяют установить, что русла рек могут быть разбиты на участки значительной протяженности, для которых устойчивы смены подобных плесов и перекатов, т. е. русло реки можно разбить на участки, для которых оказываются устойчивыми определенные соотношения между i , n и r . Дальнейший анализ позволит установить форму учета реального строения русла в расчетах трансформации паводочной волны.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
19/VIII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Мокляк, К основам расчета трансформации паводков. Метеорология и гидрология, № 1, 1958.
2. А. В. Караушев, Распределение скоростей и коэффициентов турбулентного обмена по вертикали. Тр. ГГИ, вып. 2 (56), Гидрометеонздат, Л., 1947.
3. С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель, Гидротехнические основы речной гидротехники. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950.
4. В. Н. Гончаров, Основы динамики русловых процессов. Гидрометеонздат, 1954.

Л. А. КРУММ

О ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИИ
ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ УПРОЩЕННОЙ МЕТОДИКИ
К БОЛЕЕ ОБЩЕЙ МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБЪЕДИНЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Введение

В работе [1] поставлена задача анализа точности и, следовательно, выявления областей использования существующих упрощенных методов, а также разработки более точных инженерных методов определения экономических режимов объединенных энергосистем и ЭЭС, если упрощенные методы являются недостаточно точными.

Выявить области использования существующих упрощенных методов и более точных и общих методов можно на основе анализа дополнительной экономии в виде снижения суммарной стоимости расхода топлива $\Delta T_{эк}$ (при переходе от существующей упрощенной методики к более точной [1]), выраженного в относительных единицах относительно суммарной стоимости топлива при более точной методике $T_{т*}$, т. е.

$$\Delta T_{эк*} = \frac{\Delta T_{эк}}{T_{т*}} \quad (1)$$

Если дополнительная экономия $\Delta T_{эк*}$ незначительна, то оправдывается использование данной упрощенной методики; если же дополнительная экономия весьма значительна, то может оказаться оправданным использование более общей методики.

Уже на основе чисто качественных соображений дополнительную экономию $\Delta T_{эк*}$ можно разделить на две части — так называемую теоретическую дополнительную экономию $\Delta T_{акт*}$, получаемую в случае точно известных расходных характеристик станций, и дополнительную экономию $\Delta T_{экр*}$, получаемую в результате погрешностей реальных расходных характеристик.

Для иллюстрации этого можно представить, что необходимо определить экономичное значение только одного регулируемого параметра, например, генерируемой активной мощности узла № i $P_{гi}$ (при постоянных значениях остальных регулируемых параметров).

Функция суммарной стоимости расхода топлива T_* (рис. 1) от $P_{гi}$ имеет точку минимума ($P_{гi} = P_{гit}$, $T_* = T_{т*} = 1$), определяемую на основе более точной методики (предполагается, что расходные характеристики станций точно известны).

Экономичное значение генерируемой активной мощности $P_{гiуп}$, определенное на основе упрощенной методики при точно известных расходных характеристиках, отклоняется в одну или в другую сторону от $P_{гit}$ (на рис. 1 $P_{гiуп} < P_{гit}$). При этом суммарная стоимость расхода

топлива $T_{уп*}$ больше, чем в случае использования более точной методики.

При этом теоретическая дополнительная экономия

$$\Delta T_{акт*} = T_{уп*} - T_{т*} \quad (2)$$

В реальных условиях в результате погрешностей реальных расходных характеристик или характеристик относительных приростов (например $\pm 5\%$) значения $P_{гi}$, определенные на основе более точной и упрощенной методики, отклоняются с одинаковой вероятностью в одну или в другую сторону от значений $P_{гit}$ и $P_{гiуп}$.

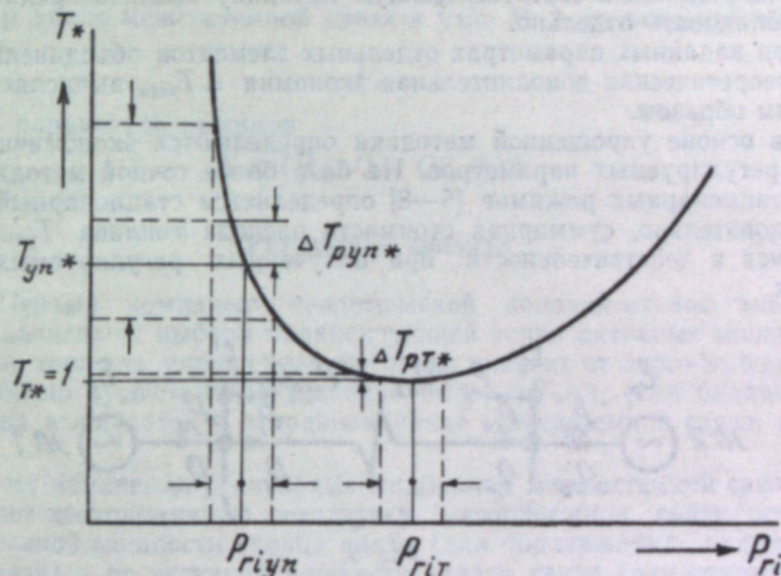


Рис. 1.

При этом получаются определенные отклонения суммарной стоимости T_* относительно значений $T_{т*} = 1$ и $T_{уп*}$. Средние значения этих отклонений положительны, т. е. погрешности расходных характеристик всегда вызывают дополнительные средние перерасходы $\Delta T_{рт*}$ и $\Delta T_{руп*}$ (см. рис. 1) в виде увеличения суммарной стоимости расхода топлива.

Поскольку $\Delta T_{руп*} > \Delta T_{рт*}$ (в результате увеличения частной производной $\frac{\partial T_*}{\partial P_{гi}}$ при отклонении $P_{гi}$ от $P_{гit}$), переход от упрощенной методики к более точной при реальных расходных характеристиках дает еще второй компонент дополнительной экономии в виде снижения дополнительного среднего перерасхода:

$$\Delta T_{экр*} = \Delta T_{руп*} - \Delta T_{рт*} \quad (3)$$

Вся дополнительная экономия при переходе от упрощенной методики к более точной

$$\Delta T_{эк*} = \Delta T_{акт*} + \Delta T_{экр*} \quad (4)$$

Теоретическую дополнительную экономию $\Delta T_{акт*}$ можно разделить на две части соответственно двум основным этапам вычислительного процесса на основе более общей методики [1]: во-первых, теоретическую дополнительную экономию от перехода от упрощенной методики к более точной при фиксированных напряжениях и коэффициентах трансформации — $\Delta T_{акт1*}$ и, во-вторых, теоретическую дополнительную эко-

номии от дальнейших переходов от фиксированных напряжений и коэффициентов трансформации к их экономичным значениям без учета и с учетом статических характеристик нагрузок — $\Delta T_{\text{экт}2*}$.

В данной статье изложены некоторые основные результаты анализа компонентов дополнительной экономии при переходе от упрощенной методики [2—4] (для экономичного распределения только активных мощностей без учета изменения реактивных мощностей электрических связей и напряжений), используемой главным образом в СССР, к более общей методике.

Более детальные результаты анализа, специальную систему относительных единиц и соответствующую методику анализа предполагается опубликовать отдельно.

При заданных параметрах отдельных элементов объединенной системы теоретическая дополнительная экономия $\Delta T_{\text{экт}2*}$ вычисляется следующим образом.

На основе упрощенной методики определяются экономичные значения регулируемых параметров. На базе более точной методики расчета стационарных режимов [5—8] определяется стационарный режим и, следовательно, суммарная стоимость расхода топлива $T_{\text{уп}}$, установившаяся в действительности при полученных регулируемых параметрах.

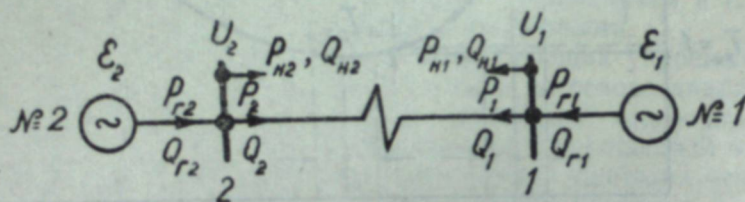


Рис. 2.

Аналогично определяется суммарная стоимость расхода топлива при более точной методике определения экономичных режимов $T_{\text{т}}$.

Далее вычисляется теоретическая дополнительная экономия $\Delta T_{\text{экт}2*}$.

Вторая часть дополнительной экономии $\Delta T_{\text{экр}2}$ определяется на основе (3), где средние перерасходы $\Delta T_{\text{рун}2}$ и $\Delta T_{\text{рт}2}$ вычисляются при изменении относительных приростов в результате погрешностей $\pm 5\%$.

Анализ проводился в первую очередь для случая двух систем с тепловыми станциями, связанных одной межсистемной связью (рис. 2). Это самый простой и одновременно самый характерный случай с точки зрения исследуемых явлений.

Хотя в данных условиях изолированное экономичное распределение активных мощностей можно осуществить весьма точно на основе существующих методов [2, 4], тем не менее даже с точки зрения точности изолированного экономичного распределения активных мощностей этот анализ имеет смысл, поскольку в случае более сложных схем существующие методы [2, 3] не позволяют правильно учесть изменение реактивных мощностей, и, следовательно, погрешности имеют такой же характер, как в случае этой простой схемы.

Предполагается, что система № 1 экономичнее системы № 2, т. е.

$$e_1 < e_2,$$

где e_1 и e_2 — относительные приросты обобщенных расходных характеристик первой и второй системы [9].

При этом с экономической точки зрения обменная мощность направлена из системы № 1 в систему № 2.

Если фиктивная частоторегулирующая станция (балансирующая точка активных мощностей) выбирается в отправном конце межсистемной связи в узле № 1, то регулируемые параметры [1], экономичные значения которых нужно определить,

$$\lambda = P_{r2}, U_2$$

и вектор параметров режима

$$X = (P_{r1}, Q_{r1}, Q_{r2}, \delta_{12}).$$

Если же фиктивная частоторегулирующая станция выбирается в приемном конце межсистемной связи в узле № 2, то регулируемые параметры

$$\lambda = P_{r1}, U_2$$

и вектор параметров режимов

$$X = (P_{r2}, Q_{r1}, Q_{r2}, \delta_{12}).$$

Результаты анализа

1. Первый компонент теоретической дополнительной экономии $\Delta T_{\text{экт}1*}$ зависит от выбора балансирующей точки активных мощностей, поскольку точность упрощенной методики зависит от этого выбора.

Особенно существенное значение имеет $\Delta T_{\text{экт}1*}$, если балансирующая точка выбирается в отправном конце межсистемной связи, в узле № 1.

Неучет изменения реактивных мощностей межсистемной связи обуславливает неэкономичную перегрузку межсистемной связи, особенно по реактивной мощности конца связи (для поддержания напряжения конца связи) и по активной мощности начала связи (для покрытия потерь активной мощности).

Следовательно, переход от упрощенной методики к более точной при постоянных и равных, по концам связи напряжениях дает дополнительную теоретическую экономию $\Delta T_{\text{экт}1*}$ благодаря значительной разгрузке межсистемной связи, особенно по реактивной мощности конца связи и активной мощности начала связи. При этом более экономичная система № 1 разгружается значительно, а менее экономичная система нагружается незначительно в результате существенного снижения потерь активной мощности межсистемной связи.

Например, если объединенная система имеет следующие параметры: обобщенную характеристику относительного прироста системы № 1 e_1 , аналогичную соответственной характеристике «Новосибирскэнерго» [9], обобщенную характеристику системы № 2 e_2 , аналогичную соответственной характеристике «Омскэнерго», располагаемые мощности, равные в обеих системах, суммарную нагрузку объединенной системы, сосредоточенную в основном в менее экономичной системе № 2, суммарный резерв активных мощностей 10%, суммарную нагрузку, составляющую 80% от максимальной, межсистемную связь 110 кВ с номинальной мощностью 11% от суммарной активной мощности нагрузки объединения, — то $\Delta T_{\text{экт}1*} = 3,9\%$. Такая значительная экономия объясняется главным образом тем, что относительные приросты систем отличаются почти в 2 раза.

Если резерв активных мощностей равен нулю, то и $\Delta T_{\text{экт}1*} = 0$. Чем больше резерв активных мощностей или чем меньше суммарная нагруз-

ка объединенной системы по сравнению с максимальной, тем больше $\Delta T_{\text{экт1}}\%$. Это объясняется тем, что при меньших нагрузках режим системы устанавливается относительно на более линейной части расходных характеристик.

Например, если в случае рассмотренного выше примера суммарная нагрузка уменьшается до 55% от максимальной, то $\Delta T_{\text{экт1}}\% = 5,6\%$.

Однако абсолютное значение $\Delta T_{\text{экт1}}$ при уменьшении суммарной нагрузки вначале увеличивается до максимума, а затем уменьшается.

Отсюда следует также, что чем более мощные и экономичные агрегаты используются на тепловых станциях, тем более линейными являются расходные характеристики и, следовательно, при прочих равных условиях тем большее значение имеет $\Delta T_{\text{экт1}}$. Еще в большей степени этот эффект увеличивается при переходе к мощным гидростанциям.

Из анализа следует, что чем больше суммарная нагрузка объединенной системы сосредоточена в менее экономичной системе, тем больше $\Delta T_{\text{экт1}}\%$, что объясняется относительным увеличением неэкономичной перегрузки межсистемной связи.

В зависимости от влияния формы кривой расходных характеристик на $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ предельным является случай, когда экономичные режимы, определенные соответственно на основе упрощенной и более точной методики, устанавливаются на одних и тех же практически линейных участках расходных характеристик. При этом можно $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ выразить непосредственно в функции от отношения относительных приростов $\beta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$.

Если суммарная нагрузка объединенной системы сосредоточена в основном в менее экономичной системе № 2 и если межсистемная связь с номинальным напряжением 110 кВ (отношение эквивалентного активного сопротивления к полному сопротивлению $\sin \alpha = \frac{r}{z} = 0,5$) имеет номинальную мощность приблизительно 15% от суммарной нагрузки, то получим следующие результаты.

Если относительные приросты энергосистем отличаются немного ($\beta < 1,2$, $\Delta T_{\text{экт1}}\% < 0,5\%$), что характерно для существующих небольших концентрированных систем, то упрощенная методика дает сравнительно точные результаты.

Но если относительные приросты энергосистем отличаются значительно, что характерно для будущих объединенных систем и ЕЭС, то использование упрощенной методики обуславливает большие ошибки, которые тем больше, чем больше отличаются относительные приросты. Переход от упрощенной методики к более точной дает при этом значительную теоретическую дополнительную экономию. Например, если при $\beta = 1,2$ $\Delta T_{\text{экт1}}\% = 0,5\%$, то при $\beta = 1,4$ $\Delta T_{\text{экт1}}\% = 4,4\%$, а при $\beta = 1,46$ $\Delta T_{\text{экт1}}\% = 12\%$. В последнем случае при упрощенной методике сохраняется запас статической устойчивости 15%.

При дальнейшем увеличении β на основе упрощенной методики уже не обеспечивается необходимый запас статической устойчивости или же статическая устойчивость нарушается.

Следовательно, при значительной разнице в относительных приростах (в данном примере $\beta > 1,5$), когда экономичный режим на основе упрощенной методики нельзя установить в результате нарушения статической устойчивости, правильный экономичный режим с обеспечением статической устойчивости гарантируется на основе более точной методики.

Из анализа следует, что параметры протяженных и мощных межсистемных связей оказывают сильное влияние на $\Delta T_{\text{экт1}}\%$.

Чем больше номинальная мощность межсистемной связи по сравнению с суммарной нагрузкой объединенной системы при постоянном значении $\sin \alpha = \frac{r}{z}$, тем больше $\Delta T_{\text{экт1}}\%$.

Так, с увеличением номинальной мощности связи с 7% до 37% при $\beta = 1,4$ и $\sin \alpha = 0,5$ $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ увеличивается с 2,2% до 11,7%.

При переходе к межсистемным связям более высокого напряжения (220—500 кВ) эквивалентное $\sin \alpha = \frac{r}{z}$ уменьшается, что ведет также к значительному увеличению $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ (увеличивается и номинальная мощность).

Например, с уменьшением $\sin \alpha$ с 0,5 до 0,25 при $\beta = 1,35$ и постоянном относительном полном сопротивлении Z^* $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ увеличивается с 2,5 до 7%.

При переходе к сверхдальним межсистемным связям, настроенным на полуволну, эквивалентное $\sin \alpha = \frac{r}{z}$ приближается к единице, что ведет к еще более значительному увеличению $\Delta T_{\text{экт1}}\%$.

При увеличении $\sin \alpha$ с 0,5 до 0,75 $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ увеличивается с 2,5 до 8%.

Резюмируя сделанные выводы, можно отметить, что при постоянных и равных по концам межсистемной связи напряжениях и при выборе балансирующей точки активных мощностей в отправном конце межсистемной связи в зависимости от названных факторов $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ имеет несомненно весьма большое значение, доходящее до 10% и больше.

В случае выбора балансирующей точки активных мощностей в приемном конце межсистемной связи характер зависимости $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ остается таким же, как и в случае выбора балансирующей точки в отправном конце, однако $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ достигает 2% и больше, что все-таки является весьма значительной экономией.

Следовательно, точность упрощенной методики во многом зависит от выбора балансирующей точки, что до сих пор не учитывается. Объясняется это тем, что отношения активной и реактивной мощностей в начале и в конце связи значительно отличаются.

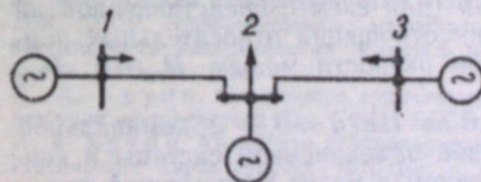


Рис. 3.

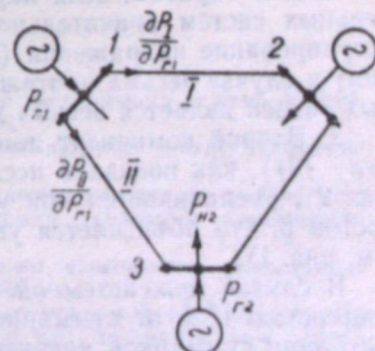


Рис. 4.

Но даже при правильном выборе балансирующей точки, что не всегда возможно обеспечить в результате изменения параметров отдельных элементов объединенной системы, $\Delta T_{\text{экт1}}\%$ остается весьма значительной.

В случае же более сложной схемы межсистемных связей (рис. 3 и 4) на рассмотренные погрешности могут накладываться еще большие

погрешности в результате значительного изменения коэффициентов распределения активных мощностей, чего существующая методика не учитывает.

Анализ схемы, приведенный на рис. 4, показал, что в зависимости от разности относительных приростов, активной мощности нагрузки системы № 2 $P_{н2}$ и разности в коэффициентах $\sin \alpha = \frac{r}{z}$ для межсистемных связей I и II отношение коэффициентов распределения активных мощностей первой и второй связи

$$\gamma = \frac{\frac{\partial P_1}{\partial P_{Г1}}}{\frac{\partial P_{II}}{\partial P_{Г1}}}$$

может в несколько раз измениться по сравнению с значением, полученным на основе упрощенной методики.

2. Второй компонент теоретической дополнительной экономии $\Delta T_{экт 2*}$ получается (см. рис. 2) при дальнейшем переходе от постоянных и равных по концам связи напряжений к экономичным напряжениям.

$\Delta T_{экт 2*}$ без учета статических характеристик нагрузок получается благодаря дальнейшему уменьшению перегрузки межсистемной связи, особенно по реактивной мощности конца связи.

$\Delta T_{экт *}$ увеличивается при увеличении отношения относительных приростов β , относительной номинальной мощности связи и $\sin \alpha$.

При этом в предельных реальных случаях $\Delta T_{экт 2*}$ увеличивается до 1% и более.

Совершенно аналогично $\Delta T_{экт 2*}$ зависит от названных факторов в случае учета статических характеристик нагрузок. Однако в предельных случаях $\Delta T_{экт 2*}$ достигает значения 3% и больше.

Таким образом, если характеристики относительных приростов отдельных систем значительно отличаются друг от друга, экономичное регулирование напряжения (аналогично и коэффициентов трансформации) в случае весьма протяженных и относительно мощных межсистемных связей является весьма актуальной задачей.

3. Второй компонент дополнительной экономии $\Delta T_{экр *}$ (см. формулу (3)), как показали исследования (для схемы, представленной на рис. 2), увеличивается при увеличении отношения относительных приростов β , что объясняется увеличением разности между $P_{Г1}$ и $P_{Г2}$ (см. рис. 1).

В случае межсистемной связи 110 кВ ($\sin \alpha = 0,5$) с номинальной мощностью 15% от суммарной нагрузки объединенной системы и концентрации суммарной нагрузки в основном в менее экономичной системе № 2 $\Delta T_{экр *}$ имеет незначительное значение, если $\beta < 1,2$. Если же $\beta > 1,3$, то $\Delta T_{экр *}$ доходит до 2—3% и более.

Таким образом, в случае объединенных систем погрешности расходных характеристик при переходе к более точной методике не только не компенсируют теоретическую дополнительную экономию, как это часто представляется, а, наоборот, являются источником реальной дополнительной экономии.

Выводы

1. Разработка более точной инженерной методики для определения экономических режимов сложных объединенных энергосистем и ЭЭС с весьма разнообразными характеристиками относительных приростов отдельных концентрированных систем, с неравномерным распределением нагрузок между системами и протяженными и относительно мощными межсистемными связями является весьма актуальной задачей, решение и реализация которой может дать весьма значительную экономию.

2. Наибольшую экономию дает разработка инженерных методов для реализации первого основного этапа вычислительного процесса решения более общих уравнений экономического режима для экономического распределения активных мощностей при постоянных напряжениях и коэффициентах трансформации.

3. Не менее важным является разработка инженерных методов для реализации второго основного этапа вычислительного процесса решения более общих уравнений экономического режима для определения экономических напряжений и коэффициентов трансформации мощных и протяженных межсистемных связей.

4. Особенно актуальной является разработка более точных инженерных методов для будущей ЭЭС Сибири, где особенно характерно выражены те факторы, при которых дополнительная экономия имеет самое большое значение: большая разнообразия в характеристиках относительных приростов, неравномерное распределение нагрузки между системами (здесь влияет и изменение местного времени), самые протяженные и мощные межсистемные связи (в том числе возможные настроенные на полуволну электропередачи с относительно большими эквивалентными активными сопротивлениями).

Транспортно-энергетический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
2/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Крумм, Две формы более общих уравнений экономического режима объединенных энергосистем. Изв. СОАН СССР, № 10, 1959.
2. В. М. Горюхи, Навыгоднейшее распределение нагрузок между параллельно работающими электростанциями. ГЭИ, М., 1949.
3. МЭС СССР, Информационные материалы. Руководящие указания по выбору невыгоднейшего распределения активной нагрузки между тепловыми электростанциями. ГЭИ, М., 1958.
4. Л. А. Крумм, О точности существующей методики определения экономических режимов энергосистем. Изв. СОАН СССР, № 11, 1959.
5. Л. А. Крумм, Уравнения стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политех. ин-та, № 123, 1957.
6. Л. А. Крумм, Методы решения общих уравнений стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политех. ин-та, № 124, 1957.
7. Л. А. Крумм, Усовершенствованный метод последовательных интервалов для определения изменения стационарного режима электрической системы при любых возмущениях симметричного характера с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов и автоматизации регулирования частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политех. ин-та, № 125, 1957.

8. Л. А. Крумм, Использование, трудоемкость и автоматизация вычислительного процесса методов расчета стационарных режимов электрических систем с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. Тр. Таллинского политехн. ин-та, № 126, 1957.
9. В. А. Шевченко, М. П. Ратнер, Обобщенные экономические характеристики энергосистем. Энергетический ин-т им. Г. М. Кржижановского АН СССР, Комиссия по передаче электроэнергии на дальние расстояния. Доклады на седьмой сессии (октябрь 1958 г.).

А. Г. БАЮЛА

ПОВЕДЕНИЕ СОПУТСТВУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ

Руды цветных металлов (оловянные, вольфрамовые и др.), обогащаемые на концентрационных столах, содержат наряду с извлекаемыми минералами (касситерит, вольфрамит, шеелит и др.) ряд сопутствующих им компонентов с близкими удельными весами (магнетит, халькопирит, пирит, пирротин и др.) в количестве, во много раз превышающем выделяемые минералы. Все эти минералы-спутники обычно попадают в черновые концентраты и промежуточные продукты совместно с извлекаемыми, с одной стороны, снижая качество получаемых концентратов, а с другой — уменьшая извлечение выделяемых минералов (значительное количество их удерживается в промежуточных продуктах). Это вызывает необходимость прибегать к многократным операциям очистки как концентратов, так и промпродуктов. Известно, например, что, проводя последовательную перемывку промпродуктов (даже до 10 раз), можно в каждой такой операции выделять из них нужные минералы [1].

Такая практика обогащения чрезвычайно осложняет схемы гравитационного обогащения оловянных и вольфрамовых руд, требует установки большого числа столов, что вызывает потребность в больших производственных площадях, и т. д.

В настоящей статье высказаны соображения о путях улучшения практики гравитационного обогащения руд цветных металлов.

Рассмотрим поведение отдельных минералов на концентрационном столе.

Обычно рекомендуется обогащать на столах материал, подготовленный путем классификации по принципу равнопадаемых зерен [2]. Пределы классификации определяются наличием в руде минералов пустой породы и извлекаемых минералов с крайними значениями удельных весов (например кварца и касситерита). Присутствие сопутствующих минералов как бы не учитывается независимо от количества их в руде.

Допустим, что в данной обогащаемой руде присутствуют следующие минералы с соответственными значениями удельного веса: касситерит — 6,9; кварц — 2,65; пирит — 5,1; пирротин — 4,6; арсенопирит — 6,0. Определяя коэффициент равнопадаемости для касситерита и кварца по формуле Стокса, находим:

$$e_1 = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1 - 1}} = \sqrt{\frac{6,9 - 1}{2,65 - 1}} = 1,89.$$

Пользуясь значениями этого коэффициента, мы можем разделить измельченную руду на классы со следующими граничными зернами: I кл. — 1,5—0,8 мм; II кл. — 0,80—0,42 мм и т. д. В этом случае частицы кварца будут иметь диаметр 1,5 мм, а касситерита — 0,8 мм и т. д.

Какого же размера зерна будут у минералов-спутников, например пирротина? Найдем коэффициент равнопадаемости для пирротина и кварца:

$$e_2 = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{4,6 - 1}{2,65 - 1}} = 1,48.$$

В полученных классах будут находиться зерна пирротина с размерами частиц I кл.— 1,0 мм, II кл.— 0,54 мм и т. д. Определяя таким образом значение коэффициентов равнопадаемости для всех сопутствующих минералов, найдем размеры зерен для всех минералов, попадающих с одинаковыми массами в данный класс. Это даст ряд размеров частиц в пределах диаметров граничных зерен.

На концентрационном столе все зерна данного класса подвергнутся сегрегации по крупности, в результате чего зерна минералов расположатся слоями один над другим, причем в верхнем слое окажутся минералы пустой породы, а в самом нижнем, на деке стола, будут находиться частицы полезных минералов [3]. Вследствие этого смывному действию воды подвергнутся прежде всего частицы слоя пустой породы, затем по мере продвижения частиц по деке стола под действием живой силы, сообщаемой им приводным механизмом, будут постепенно сноситься все остальные верхние слои. Тем самым сопутствующие минералы выполняют как бы защитные функции, препятствуя сносу полезных минералов с деки стола турбулентными потоками воды, возникающими между нарифлениями.

Продвижение частиц полезных минералов в концентрат замедляется из-за трения их о поверхность деки стола. Наоборот, частицы вышележащих слоев сопутствующих минералов движутся более свободно и опережают полезные минералы. Этим и объясняются присутствие полезных минералов в промежуточных продуктах и трудность извлечения их путем повторной концентрации на столе.

В черновые концентраты попадают также минералы-спутники, но размеры зерен выделяемых и сопутствующих минералов оказываются очень близкими. Поэтому при повторной переработке черновых концентратов на столе защитные слои уже не будут создаваться, и это вызовет повышенный снос извлекаемых минералов в хвосты.

Таким образом, очистные операции черновых концентратов на концентрационных столах являются нерациональными. Следовательно, сопутствующие минералы являются важным фактором, улучшающим результаты обогащения руд цветных металлов на концентрационном столе. В зависимости от характера составляющих руду минералов шкалу классификации необходимо уточнять, принимая модуль классификации (M) либо равным коэффициенту равнопадаемости (e), либо больше его. Для крупных частиц, подчиняющихся закону Риттингера (от 6 до 1,5 мм), M может быть равным e . Для более тонких частиц, подчиняющихся законам Аллена и Стокса, M должно быть больше e по крайней мере в 2—3 раза. Тогда при обогащении таких смешанных классов на деке стола могут образовываться защитные слои, улучшающие процесс обогащения. Известно, что на практике нередко обогащают на столах неклассифицированный материал и получают удовлетворительные результаты.

Следовательно, подход к классификации рудного материала в целях подготовки его к обогащению на столах необходимо изменить. При использовании обычно применяемых гидравлических классификаторов рационально выделять и обогащать отдельно только песковые фракции первых двух камер, а материал последних двух камер объединять

вместе, присоединив к нему и слив (шламы) классификатора (после предварительного его сгущения).

С другой стороны, необходимо отказаться от доводки черновых концентратов на столах, особенно иловых (шламовых). Более целесообразно применять для удаления из черновых концентратов сопутствующих минералов, например сульфидов в случае сульфидно-оловянных концентратов, флотацию, в процессе которой почти все сульфиды удаляются в пенный продукт, а в хвостах этой операции останутся оловянные частицы как в чистом виде, так и в виде сростков. Содержание полезного минерала (например касситерита) в хвостах доводочной флотации повышается пропорционально степени сокращения чернового концентрата в этой операции. Потери полезных минералов могут быть снижены до минимума.

В зарубежной практике обогащения оловянных руд имеются примеры использования флотации в качестве доводочной операции для удаления сульфидов с целью повышения содержания металла в конечных продуктах [4].

В отечественной литературе также подчеркивается зависимость извлечения олова от извлечения сульфидов [5].

Но в печати отсутствуют данные, характеризующие условия совместного извлечения олова с сопутствующими минералами, неизвестен режим доводки черновых концентратов до требуемой кондиции. Нами была проведена работа по выяснению этого вопроса.

В настоящей статье приводятся результаты опытов по доводке бедных сульфидно-оловянных концентратов, полученных на одной из фабрик Приморского края.

Обогащаемая руда содержит сложный комплекс минералов: пирротин, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, арсенопирит, касситерит, станин и др. Пустую породу представляют хлоритовые сланцы, карбонаты и кварц. Галенит и сфалерит извлекаются в соответственные концентраты путем селективной флотации, а касситерит — гравитационными методами (концентрацией на столах и шлюзах) после гидравлической классификации.

На сотрясательных столах получают обогащенный продукт («головку» веера) в виде кондиционного концентрата (KO_2 или $KOШЛ$), черновые сульфидно-оловянные концентраты (песковые или шламовые), промежуточные продукты и отвальные материалы. Черновые сульфидно-оловянные концентраты и промпродукты подвергаются контрольной концентрации для вывода из них дополнительного обогащенного продукта. Шламовые материалы (слив гидравлического классификатора) обогащаются на автоматических опрокидывающих шлюзах. Бедный шлюзовый концентрат доводится до кондиции на особом концентрационном столе.

Общее извлечение олова из руды на фабрике не превышает 50%.

Опробование доводочных столов, на которых обрабатываются черновые концентраты, выделяемые из материала III и IV камер гидравлического классификатора, показало, что извлечение олова в кондиционные концентраты на этих столах невысокое: около 10% от олова в питании столов (от операции), или 1,8% от общего количества олова в руде. Выход товарного концентрата составляет 2% от питания столов, или 0,10% от количества перерабатываемой руды.

Было установлено, что с повышением выхода сульфидно-оловянного концентрата до 10—13%, извлечение олова (от операции) повышается до 40—50%, но в этом случае содержание олова в нем снижается до 1—2%. Обогащение бедного концентрата на столах приводит

к потерям олова вместе с сульфидами, прежде всего тонких частиц (менее 0,074μ). Поэтому были поставлены опыты по доводке бедных сульфидно-оловянных концентратов путем флотации. Предполагалось, что после удаления сульфидов в хвостах флотации останется богатый по содержанию олова продукт. Оказалось, что извлечение сульфидов, главным образом пирротина, зависит прежде всего от размера флотируемых частиц (т. е., чем тоньше доизмельчается концентрат, тем больше извлекается сульфидов).

В табл. 1 приведены данные извлечения пирротинов при различной степени измельчения черного концентрата. В табл. 2 даны результаты флотации пирротинов с изменением плотности и кислотности пульпы.

Лучшее извлечение пирротинов происходит при тонкости материала, содержащего 78—82% класса менее 74μ. В этом случае выход ценного продукта составляет 88—92% от исходного материала. В хвостах флотации, имеющих 8—12% от взятой навески, содержится 15—20% олова с извлечением его до 60—68% от олова в черновом концентрате. Степень концентрации увеличивается в 6—8 раз по сравнению с первоначальным содержанием олова 1—2%. Часть олова механически захватывается в пену с сульфидами, что вызывает необходимость применения двух-трехкратных очисток пирротинового концентрата вместо одной, применяемой в проведенных опытах. Количество захваченного олова составляет 30—40% от всего олова в концентрате.

Захват олова в пену в разбавленных пульпах меньше, чем в плотных при Ж : Т = 15 : 1 достаточно применять однократную очистку. Установлено, что расход реагентов при флотации в разбавленных пульпах не увеличивается, а расход серной кислоты можно даже снизить с 3,5 до 1,0 кг/т. С присоединением хвостов очистки к хвостам основной флотации объединенный оловянный продукт имеет кондиционное содержание олова 11—14%, а общее извлечение его от операции поднимается до 88%. Для обеспечения высокого содержания олова в хвостах флотации необходимо, чтобы сульфидно-оловянные концентраты не содержали пустой породы. Поэтому черновые концентраты с первичных столов должны подвергаться контрольной (доводочной) концентрации главным образом с целью очистки от породы.

Применение флотации для доводки бедных сульфидно-оловянных концентратов позволяет повысить общее извлечение олова из руды на 5—7%.

Следовательно, только сочетая процессы концентрации на столах и флотацию, можно достигнуть лучшего технологического эффекта при обогащении руд, обладающих сложным минералогическим составом, добиться значительного упрощения применяемых схем и лучшего использования оборудования на действующих фабриках.

Выводы

1. Высказаны соображения о полезной роли сопутствующих минералов при обогащении руд цветных металлов на концентрационных столах. Эти минералы создают верхние слои, защищающие нижележащие частицы извлекаемых компонентов от смывного действия турбулентных потоков воды.

2. В целях улучшения процесса гравитационного обогащения на столах рекомендуется изменить подход к подготовке материала путем классификации: для крупных частиц модуль классификации нужно принять равным коэффициенту равнопадаемости ($M = e$), для тонких

Таблица 1
Флотуемость пирротинов при доводке сульфидно-оловянного концентрата в зависимости от тонкости материала

Тонкость материала (% класса — 74 μ)	Концентрат пирротинный		Хвосты очистки		Хвосты флотации		Объединенный оловянный продукт		Содержание олова в исходном материале, %
	выход, %	оолово, %	выход, %	оолово, %	оолово, %	оолово, %	выход, %	оолово, %	
14,2	33,1	0,27	3,6	6,9	62,4	3,53	89,5	66,9	2,46
24,4	62,0	0,27	7,2	35,7	15,6	8,56	57,1	38,0	2,33
44,3	57,1	0,27	6,4	18,4	18,3	9,95	75,2	42,9	2,42
61,0	75,5	0,37	11,0	28,0	12,0	12,95	61,0	24,5	2,55
78,2	79,6	0,35	11,6	20,6	11,4	14,68	67,8	20,4	2,46
82,0	84,9	0,36	12,0	28,0	7,7	20,03	60,0	15,1	2,56
83,5	80,9	0,42	14,2	25,6	8,5	16,93	60,2	19,1	2,39

Условия флотации: плотность пульпы по Ж : Т = 3,8 : 1; реагентный режим серная кислота (олеум) — 3,5 кг/т, медный купорос — 0,5 кг/т, ксантан бутылочный — 0,1 кг/т; сосновое масло — 0,066 кг/т; продолжительность флотации; основной — 7 мин, очистной 2—3 мин.

Таблица 2
Результаты флотации пирротинов при различной плотности и кислотности пульпы

Плотность пульпы по Ж : Т	Расход серной кислоты, кг/т	Концентрат пирротинный		Хвосты очистки		Хвосты флотации		Объединенный оловянный продукт		Содержание олова в исходном материале, %
		выход, %	оолово, %	выход, %	оолово, %	оолово, %	оолово, %	выход, %	оолово, %	
3,8 : 1	3,5	84,9	0,36	7,4	9,67	28,0	20,03	60,0	15,1	88,0
5,15 : 1	3,5	87,6	0,37	4,6	11,2	21,6	19,9	64,9	12,4	86,5
7,8 : 1	3,5	85,7	0,32	6,3	6,23	17,7	19,4	69,9	14,3	87,6
15,8 : 1	3,5	77,3	0,24	12,2	4,95	25,8	14,76	66,3	22,7	92,7
15,8 : 1	2,5	82,6	0,19	9,5	5,1	22,5	19,0	70,2	17,4	92,7
15,8 : 1	2,5	78,5	0,22	11,3	3,31	17,3	15,8	74,7	21,5	92,0
15,8 : 1	1,0	83,6	0,14	6,9	5,63	18,2	17,2	76,3	16,4	94,5

Условия флотации: тонкость материала — 82% — 74 μ; плотность пульпы по Ж : Т переменная; реагентный режим: серная кислота (олеум) — переменный расход; медный купорос — 0,5 кг/т, ксантан бутылочный — 0,1 кг/т; сосновое масло — 0,066 кг/т; продолжительность флотации: основной — 7 мин, очистной — 2—3 мин.

частиц модуль классификации должен быть увеличен ($M=2-3e$).

3. На примере показано значение сопутствующих минералов при обогащении сульфидно-оловянных руд. Сделано заключение о рациональности применения для доводки бедных сульфидно-оловянных концентратов комбинированной схемы (концентрации и флотации), по которой на столах удаляется порода, а флотацией — сульфиды, в хвостах же флотации остается оловянный продукт. Такая схема позволяет поднять общее извлечение олова из руды на 5—7%.

Дальневосточный филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
27/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н. Шоршер, Обогащение касситеритовых и вольфрамитовых руд гравитационными методами. Магадан, 1955.
2. Н. П. Титков, Подготовка материала перед концентрацией на столах. ОНТИ, М., 1938.
3. В. М. Бочковский, Расслаивание как наиболее важный раздел теории и практики гравитации. Горный журнал, № 1, 1954.
4. F. V. Mitchell, Mining Journal, march 1941, p. 143.
5. А. М. Шатилов, Обогащение комплексных оловянно-свинцово-цинковых руд. Промышленность Приморья, № 6, 1958, стр. 18—20.

Н. С. НИКОЛАЕВ, А. А. ОПАЛОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРОВ Мо (VI) ВО ФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЕ

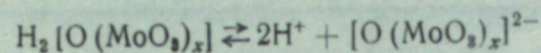
Исследование системы $\text{HF} - \text{MoF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ методом изотермической растворимости [1] показало, что процесс гидролиза гексафторида молибдена сопровождается образованием фаз, имеющих в своем составе фтор и молибден в отношениях 6 : 1,4 : 1,2 : 1 и 0 : 1. Эти отношения полностью соответствуют известным соединениям молибдена: MoF_6 , MoOF_4 , MoO_2F_2 и MoO_3 . Однако образующиеся фазы (за исключением исходной — гексафторида молибдена) содержат в своем составе определенное количество воды. Предварительное изучение этих соединений [1, 2] позволило сделать заключение, что они не являются гидратами оксифторидов. Вода входит в состав ацидокомплексных соединений, последние рассматриваются как представители нового класса соединений молибдена — фтороксимолибденовые кислоты. Некоторые соли этих кислот ранее были выделены в кристаллическом состоянии О. Шмитц — Думонтом и П. Опгенгоффом [3].

Необходимо отметить, что особенностью системы $\text{HF} - \text{MoF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ [1] является наличие участка изотермы, соответствующего растворимости MoO_3 во фтористоводородной кислоте. Установлена область концентраций HF , в которой намечаются основные химические процессы между компонентами системы (0—17, 14% HF). Соответствующий этой области участок изотермы характеризуется прямой линией с постоянным отношением фтора к молибдену в растворе, равным двум. Таким образом, для перехода в раствор плохо растворимой в воде трехокси молибдена требуется два моля HF на один моль MoO_3 . Указанное обстоятельство позволило предположить образование в растворе в пределах указанной концентрации HF соединения молибдена с двумя атомами фтора. Насыщение раствора этим соединением приводит к выпадению последнего в виде твердой фазы. Дальнейшее повышение концентрации фтористого водорода в растворе сопровождается формированием нового соединения с отношением фтора к молибдену, равным четырем.

Наиболее полную картину состава и свойств соединений, образующихся в растворах Мо (VI) во фтористоводородной кислоте, можно получить при исследовании указанных растворов методами физико-химического анализа. Именно поэтому изучалось состояние Мо (VI) в растворах фтористоводородной кислоты.

Состояние Мо (VI) в растворах изучено мало, и литературный материал не дает однозначного ответа на вопрос о формах существования Мо (VI) в растворах.

Бриттон [4] при изучении растворов молибденовой кислоты физико-химическими методами установил, что в растворе образуется полимолибденовая кислота, диссоциирующая по уравнению

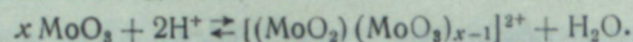


и имеющая состав $\text{H}_2[\text{O}(\text{MoO}_3)_4]$.

Р. Рипан и А. Дука [5], исследуя взаимодействие молибдата натрия с азотной кислотой кондуктометрическим методом, пришли к выводу, что во всех случаях наиболее вероятным ионом является анион $[\text{Mo}_6\text{O}_{21}]^{6-}$, имеющий структуру $[\text{MoO}(\text{MoO}_4)_5]^{6-}$. Было показано, что в первую очередь образуется конденсированная молекула $\text{Me}_6[\text{Mo}_6\text{O}_{21}]$, а при избытке реактива конечный продукт имеет состав $\text{Me}_6[\text{MoO}_6]$.

Процессы полимеризации молибденовой кислоты кондуктометрическим методом изучали Г. Яндер, К. Яар и В. Хенкеншовен [6].

Растворимость трехокиси молибдена в хлорной кислоте исследована М. Джонсоном [7]. Автор считает, что в растворе образуются полимерные катионы молибдена:



Области существования анионных и катионных комплексов Мо (VI) наиболее полно изучены в работах А. К. Бабко и Б. И. Набиванец [8, 9]. Определяя направление движения ионов при электролизе Мо (VI) [8], авторы установили, что анионные формы существуют при $\text{pH} = 1,1$. В сильноокислых средах ($\text{pH} < 1,1$) состояние Мо (VI) зависит от вида кислоты. В азотной и хлорной кислотах доминирующими являются катионные формы; в серной и соляной — анионные, причем в узком интервале концентрации соляной кислоты (0,2—2,0N) доминируют катионные формы, а в сернокислой среде во всех случаях доминирующими являются комплексные анионы. Это явление указывает на большую прочность сульфатных комплексов по сравнению с хлоридными. Изучение растворов Мо (VI) в хлорной кислоте ионнообменно-хроматографическим методом [9] позволило сделать вывод о том, что в сильноокислой среде ($\text{pH} \leq 0,7$) в растворе образуются мономерные формы молибденил-иона с зарядом 2^+ , которым следует приписать формулу $[\text{MoO}_2]^{2+}$ или $[\text{MoO}(\text{OH})_2]^{2+}$.

К. Краус, Ф. Нельсон и Г. Моор [10], рассматривая ионообмен Мо (VI), W (VI) и U (VI) в смесях $\text{HCl} - \text{HF}$, пришли к выводу об образовании в сильноокислых растворах ионов молибденила $[\text{MoO}_2]^{2+}$, подобных иону уранила $[\text{UO}_2]^{2+}$.

Приведенные литературные данные показывают, что формы существования Мо (VI) в растворах весьма многообразны и зависят как от характера растворителя, так и от его концентрации. Сказанное относится прежде всего к кислым растворам, и задача настоящего исследования — установление форм соединений Мо (VI) во фтористоводородных растворах.

Экспериментальная часть *

В настоящем исследовании применялись молибденовая кислота (марки ЧДА) и трижды перегнанная фтористоводородная кислота. Полученные растворы изучались следующими методами физико-химического анализа.

1. Потенциометрическое титрование. Этим методом устанавливалось изменение концентрации водородных ионов в системе $\text{HF} - \text{MoO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при условии, что молибденовая кислота бралась в водном растворе концентрации 4,7 г/л или 0,064N, фтористоводородная кислота концентрации 0,125N служила титрованным раствором для по-

* Экспериментальная часть работы выполнена при участии Н. Д. Малыгиной.

тенциометрического титрования. Ячейка составлялась из хингидронового полуэлемента и насыщенного каломельного. Солевая сторона мостика, помещаемая в испытуемый раствор, имела тефлоновый наконечник. В работе применялся потенциометр типа ПП. Зависимость концентрации водородных ионов в растворе от отношения фтора к молибдену представлена в табл. 1 и на рис. 1.

Кривая на диаграмме показывает, что процесс взаимодействия молибденовой кислоты с фтористоводородной проходит в две стадии и в первую очередь в растворе формируется соединение с отношением фтора к молибдену, равным двум. Дальнейшее увеличение концентрации фтористого водорода приводит к образованию нового соединения при отношении F : Мо, равном четырем. Кривая «состав — свойство» претерпевает излом в местах, отвечающих образованию в растворе соединений с отношениями фтора к молиб-

Таблица 1

Потенциометрическое титрование водного раствора молибденовой кислоты фтористоводородной кислотой

Отношение F : Мо	ЭДС, мV	pH	$[\text{H}^+] \cdot 10^{-3}$
0,38	306	2,60	2,51
0,77	313	2,48	3,31
1,15	316	2,43	3,71
1,54	322	2,33	4,68
1,92	324	2,29	5,13
2,31	325	2,27	5,37
2,89	328	2,23	5,90
3,46	330	2,19	6,45
3,85	331	2,17	6,76
4,23	332	2,15	7,00
4,62	333	2,14	7,24
5,00	334	2,12	7,59
5,77	335	2,10	7,94

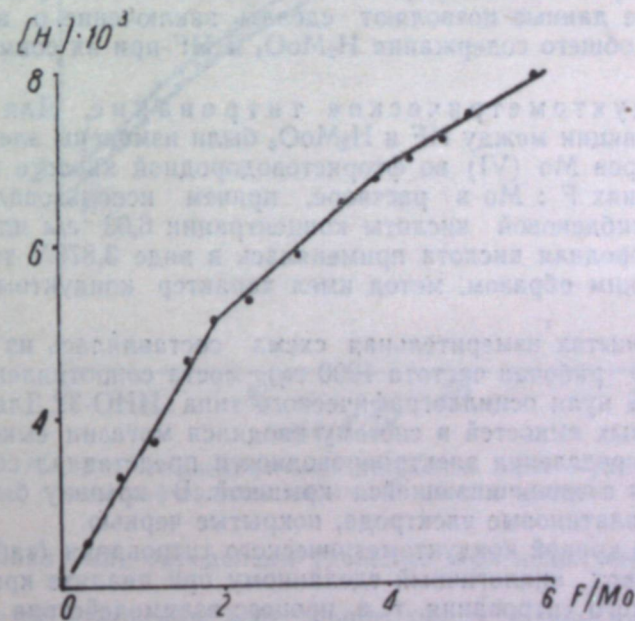
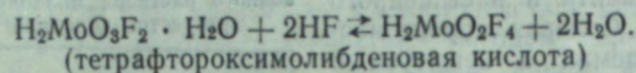
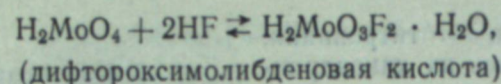
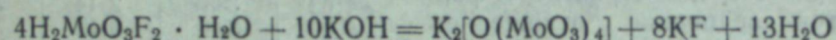


Рис. 1. Потенциометрическое титрование водного раствора молибденовой кислоты фтористоводородной кислотой.

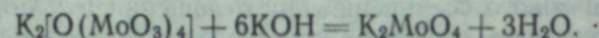
дену, равными двум и четырем. Полученные экспериментальные данные находятся в соответствии с установленными фактами образования соединений в растворе и выделения их в форме твердых фаз в системе $\text{HF} - \text{MoF}_6 - \text{H}_2\text{O}$ [1]. Суммарный процесс взаимодействия молибденовой кислоты со фтористоводородной можно представить следующими уравнениями:



Далее рассматривается нейтрализация щелочью раствора соединения $\text{H}_2\text{MoO}_3\text{F}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Для этой цели использовались растворы, содержащие 0,1860 и 0,2109 г дифтороксимолибденовой кислоты, а процесс нейтрализации этих растворов проводился потенциометрическим титрованием. В качестве щелочи в этом случае применялся титрованный раствор 0,162N KOH. Исследование показало, что при нейтрализации наблюдается два скачка потенциала: при $pH = 4,5$ и при $pH = 5,7$ (рис. 2). Учитывая инградиенты раствора, процесс нейтрализации можно представить в первую очередь как гидролиз комплексного соединения с образованием в растворе тетрамолибдата по реакции:



и во вторую очередь как образование нормального молибдата при действии щелочи на тетрамолибдат:



Изложенная точка зрения высказана на основании анализа цифр, полученных при потенциометрическом титровании. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать заключение о возможности определения общего содержания H_2MoO_4 и HF при их совместном присутствии.

2. Кондуктометрическое титрование. Для выявления характера реакции между HF и H_2MoO_4 были измерены электропроводности растворов Mo (VI) во фтористоводородной кислоте при различных отношениях F : Mo в растворе, причем использовался водный раствор молибденовой кислоты концентрации 6,03 г/л или 0,082N, а фтористоводородная кислота применялась в виде 3,875N титрованного раствора. Таким образом, метод имел характер кондуктометрического титрования.

В этих опытах измерительная схема составлялась из генератора частоты ЭГ-0 (рабочая частота 1000 гц), моста сопротивления МВЛ-47 и индикатора нуля осциллографического типа ИНО-3. Для компенсации реактивных емкостей в систему вводился магазин емкостей ME-3. Сосуд для определения электропроводности представлял собою тефлоновый стакан с завинчивающейся крышкой. В крышку были вмонтированы два платиновые электрода, покрытые чернью.

Согласно кривой кондуктометрического титрования (табл. 2, рис. 3) возможен вывод, аналогичный сделанному при анализе кривой потенциометрического титрования, т. е. процесс взаимодействия Mo (VI) со фтористоводородной кислотой обусловлен образованием ацидокомплексных соединений в растворе с отношениями фтора к молибдену, равными двум и четырем.

3. Электропроводность и концентрация водородных ионов. Электропроводность определялась при 25° С с применением измерительной схемы, описанной выше.

Исходный раствор содержал фтор и молибден в отношениях, равных двум и четырем, т. е. была измерена электропроводность водных растворов ди- и тетрафтороксимолибденовой кислот.

Для возможности пересчета весовых концентраций в мольные

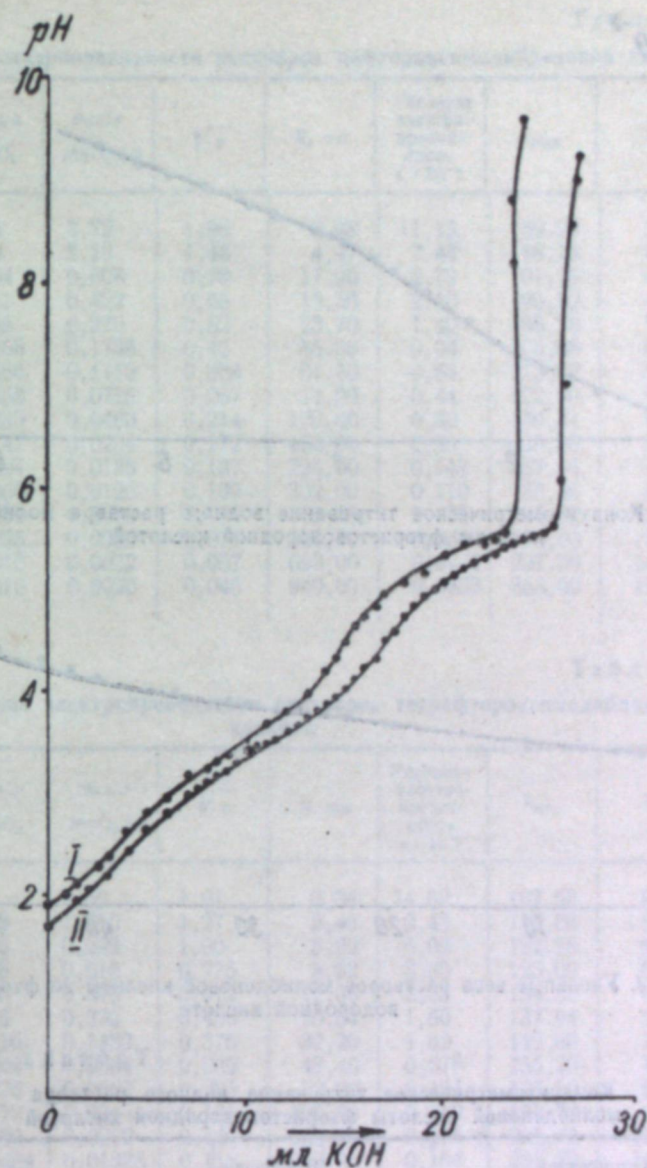


Рис. 2. Потенциометрическое титрование водного раствора дифтороксимолибденовой кислоты щелочью.

предварительно были определены удельные веса испытуемых растворов (рис. 4).

Данные по изменению электропроводности в зависимости от разбавления представлены в табл. 3 и 4 и на рис. 5. Эквивалентная электропроводность плавно повышается с разбавлением и при концентрации меньше чем 0,01 экв/л становится равной для двух рассматриваемых комплексных соединений и для фтористоводородной кислоты. Возможно, что это явление связано с гидролизом при большом разбавлении. Для сравнения на рис. 5 даны кривые эквивалентной электропроводности для H^+ [11], H_2SO_4 [12] и UO_2F_2 [13]. Резкое отличие эквивалентной электропроводности фтороксимолибденовых кислот от эквивалентной электропроводности уранилфторида указывает на кислотный характер рассматриваемых соединений.

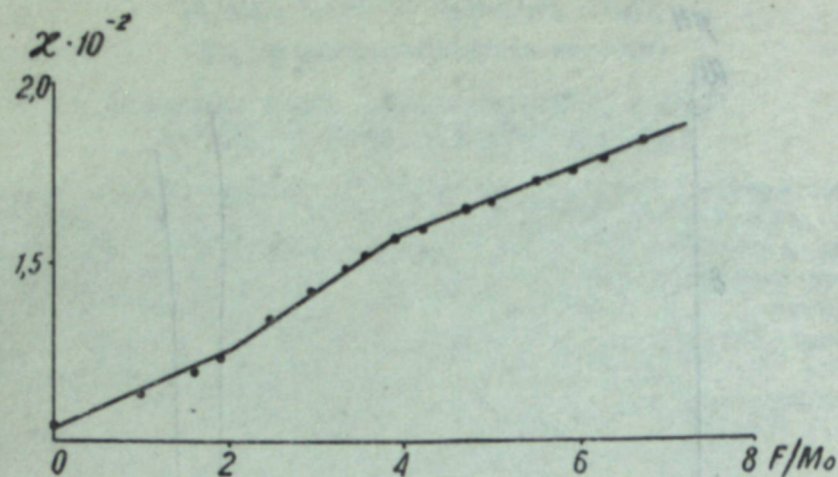


Рис. 3. Кондуктометрическое титрование водного раствора молибденовой кислоты фтористоводородной кислотой.

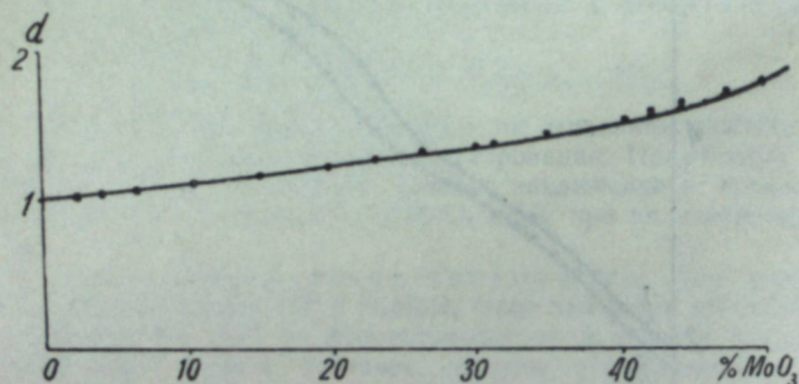


Рис. 4. Удельные веса растворов молибденовой кислоты во фтористоводородной кислоте.

Таблица 2

Кондуктометрическое титрование водного раствора молибденовой кислоты фтористоводородной кислотой

Отношение F : Mo	R, ом	$\kappa \cdot 10^{-2}$	Отношение F : Mo	R, ом	$\kappa \cdot 10^{-2}$
0	35,2	1,05	3,91	23,7	1,57
1,0	32,8	1,13	4,22	23,4	1,59
1,62	31,3	1,19	4,69	22,5	1,65
1,90	29,8	1,24	4,97	22,2	1,67
2,13	28,9	1,29	5,49	21,5	1,73
2,48	27,7	1,34	5,88	21,1	1,76
2,96	26,2	1,42	6,23	20,6	1,80
3,35	25,1	1,48	6,71	20,1	1,85
3,57	24,4	1,52			

Дальнейшие характеристики растворов Mo (VI) во фтористоводородной кислоте были получены методом измерения концентрации водородных ионов водных растворов ди- и тетрафтороксимолибденовой кислот различных концентраций. Измерения проводились на аппаратуре, описанной выше.

Таблица 3

Определение электропроводности растворов дифтороксимолибденовой кислоты

Вес, % MoO ₃	Мол/л MoO ₃	Экв/л MoO ₃ (с)	\sqrt{c}	R, ом	Удельная электропроводность $\kappa \cdot 10^{-2}$	$\lambda_{\text{мол}}$	$\lambda_{\text{экв}}$
20,97	1,86	3,72	1,98	2,98	11,15	59,94	29,97
15,69	1,09	2,18	1,48	4,47	7,43	68,16	34,08
4,38	0,304	0,608	0,78	11,90	2,79	91,78	45,89
3,04	0,211	0,422	0,65	15,80	2,10	99,52	49,76
1,95	0,135	0,270	0,52	23,70	1,40	103,70	51,85
1,25	0,0868	0,1736	0,42	35,30	0,94	108,68	54,34
0,80	0,0556	0,1112	0,333	51,90	0,64	115,32	57,66
0,515	0,0358	0,0716	0,267	74,90	0,44	122,90	61,45
0,331	0,0230	0,0460	0,214	109,60	0,30	130,44	65,22
0,212	0,0147	0,0294	0,172	163,00	0,20	136,06	68,03
0,136	0,0094	0,0188	0,137	224,00	0,148	157,44	78,72
0,087	0,0060	0,0120	0,109	302,00	0,110	183,34	91,67
0,056	0,0039	0,0078	0,088	399,00	0,083	212,82	106,81
0,036	0,0025	0,0050	0,071	523,00	0,064	256,00	128,00
0,023	0,0016	0,0032	0,057	698,00	0,0476	297,50	148,75
0,015	0,0010	0,0020	0,045	940,00	0,0353	353,00	176,50

Таблица 4

Определение электропроводности растворов тетрафтороксимолибденовой кислоты

Вес, % MoO ₃	Мол/л MoO ₃	Экв/л MoO ₃ (с)	\sqrt{c}	R, ом	Удельная электропроводность $\kappa \cdot 10^{-2}$	$\lambda_{\text{мол}}$	$\lambda_{\text{экв}}$
15,88	1,30	2,60	1,61	2,34	14,02	107,60	53,80
10,48	0,808	1,616	1,27	3,48	9,43	116,38	58,19
6,74	0,496	0,992	1,00	5,39	6,09	122,78	61,39
4,26	0,308	0,616	0,775	8,52	3,85	125,00	62,50
2,65	0,188	0,376	0,612	12,98	2,53	134,58	67,29
1,65	0,116	0,232	0,480	20,54	1,60	137,94	68,97
1,02	0,0716	0,1432	0,376	32,20	1,02	142,46	71,23
0,636	0,0442	0,0884	0,299	48,40	0,678	155,20	77,60
0,397	0,0276	0,0552	0,235	72,20	0,454	164,50	82,25
0,248	0,0172	0,0344	0,185	105,70	0,310	180,24	90,12
0,153	0,0106	0,0212	0,145	153,00	0,214	201,88	100,94
0,0956	0,00664	0,01328	0,115	213,00	0,154	231,82	115,96
0,0600	0,00417	0,00834	0,0915	288,00	0,114	273,38	136,69
0,0386	0,00268	0,00536	0,0732	378,00	0,0868	323,88	161,94
0,0242	0,00168	0,00336	0,0580	485,00	0,0676	402,38	201,19

Результаты, полученные этим методом, дают возможность определить, что оба соединения должны быть отнесены к диссоциированным по типу кислот. Сравнение с уранилфторидом указывает на резкое отличие в этом отношении: UO_2F_2 в растворе имеет меньшие концентрации $[\text{H}^+]$, чем соответственные растворы фтористоводородной кислоты, в то время как для исследуемых растворов этого не наблюдается. Данные результаты имеют качественный характер, и можно говорить только об относительной характеристике соединений: дифтороксимолибденовая кислота более слабая, чем тетрафтороксимолибденовая.

Изучение поведения растворов молибдена (VI) во фтористоводородной кислоте физико-химическими методами позволяет дать схему

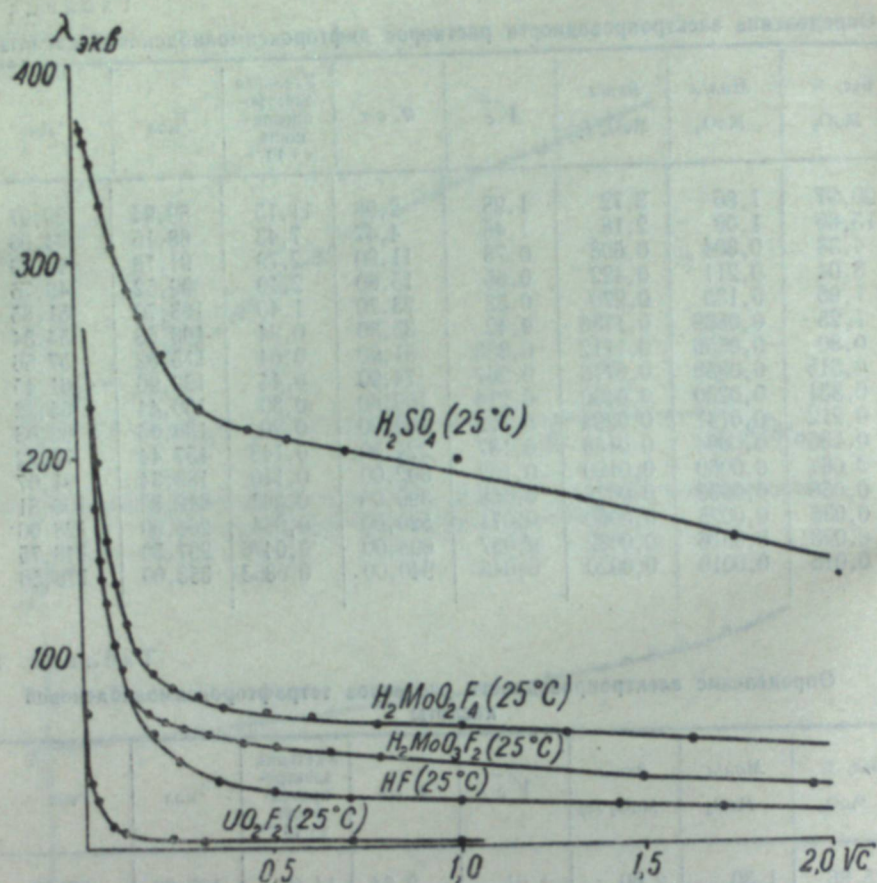
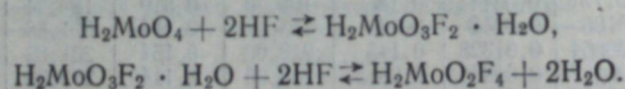


Рис. 5. Эквивалентная электропроводность растворов серной, тетрафтороксимolibденовой, дифтороксимolibденовой и фтористоводородной кислот и уранилфторида.

взаимодействия Mo (VI) с HF, показывающую образование в растворе фтороксимolibденовых кислот:



Эти соединения также присутствуют в качестве твердых фаз в системе HF—MoF₆(MoO₃)—H₂O [1].

Как уже было сказано ранее [1, 14, 15], взаимодействие окиси металла с фтористоводородной кислотой сопровождается в ряде случаев одновременной реакцией нейтрализации и комплексообразования. Прямой участок изотермы растворимости характеризуется постоянством отношения фтора к металлу и указывает на состав образующегося в растворе соединения. Однако не во всех случаях результатом взаимодействия являются фтороксикислоты. Возможно также образование безводных окисей [16], оксифторидов [17, 18] и фторкислот [19]. Сказанное иллюстрируется табл. 5.

Рассмотрение продуктов гидролиза высших фторидов элементов побочных подгрупп IV—VI группы показывает многообразие форм и ступенчатый характер гидролиза этих соединений.

Таблица 5

Продукты гидролиза некоторых высших фторидов переходных элементов

Высший фторид	Продукты гидролиза
(CrF ₆)	CrO ₂ F ₂ , CrO ₃
MoF ₆	H ₂ MoO ₂ F ₄ · 1,5H ₂ O, H ₂ MoO ₃ F ₂ · H ₂ O, H ₃ Mo ₂ O ₆ F ₃ , H ₃ Mo ₄ O ₁₃ F, H ₂ MoO ₄ , MoO ₃
WF ₆	WO ₃
VF ₅	VOF ₃ , 2VOF ₂ · 3HF · H ₂ O, 4VOF ₂ · 3HF · 3H ₂ O, 3VO ₂ F · HF · H ₂ O, V ₂ O ₅
NbF ₅	HNbF ₆ · H ₂ O, HNbOF ₅ , HNb ₂ F ₁₁ · 4H ₂ O, Nb ₂ O ₅ · 2H ₂ O
TaF ₅	HTaF ₆ · 1,5H ₂ O, HTaOF ₅ , HTa ₂ F ₁₁ · 4,5H ₂ O, Ta ₂ O ₅ · 1,5H ₂ O
ZrF ₄	HZrF ₆ · H ₂ O, HZrF ₅ , ZrF ₄ · 3H ₂ O, ZrOHF ₃ , ZrOF ₂ · 2H ₂ O, ZrO ₂

Выводы

1. Изучено состояние Mo (VI) в растворах фтористоводородной кислоты методами физико-химического анализа.
2. Показано, что процесс взаимодействия молибденовой кислоты с фтористоводородной кислотой сопровождается образованием в растворе фтороксимolibденовых кислот.
3. Образующиеся в растворе соединения соответствуют соединениям, полученным ранее в виде твердых фаз при изучении системы HF—MoF₆—H₂O.
4. Проведено сравнение продуктов гидролиза высших фторидов — элементов побочных подгрупп IV—VI группы периодической системы элементов.

Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова АН СССР
Институт неорганической химии
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
3/VIII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Николаев, А. А. Опаловский, Исследование системы HF—MoF₆—H₂O (изотерма растворимости 0°C), ЖНХ, т. 4, № 5, стр. 1174, 1959.
2. Н. С. Николаев, А. А. Опаловский, Дифтороксимolibденовая кислота (синтез и свойства), ДАН СССР, т. 124, № 4, стр. 830, 1959.
3. O. Schmitz-Dumont, P. Orgengoff, Über das Verhalten von Molibdän und Wolfram (IV) — oxyd gegenüber wäßrigem Kaliumfluorid. Z. anorg. Chem. Bd. 275, S. 21, 1954.
4. H. T. C. Brittan, W. German, Physicochemical Studies of Complex Acid. Part III. Molybdenic Acid, J. Chem. Soc., p. 2154, 1930.
5. Р. Рипан, А. Дука, Исследование конденсации Na₂MoO₄ под действием HNO₃ кондуктометрическим методом. Химический журнал АН РНР, т. 3, стр. 73, 1954.
6. G. Jander, K. Jahr, W. Henkenshoven, Über amphatere Oxyhydrate, deren wäßrige Lösungen und kristallisierende Verbindungen. Z. anorg. Chem., Bd. 194, S. 383, 1930.
7. M. Jones, State of Mo (VI) in Acid solutions, J. Am. Chem. Soc., vol. 76, p. 4233, 1954.

8. А. К. Бабко, Б. И. Набиванец, Изучение состояния молибдатов в растворе. (Движение ионов при электролизе, растворимость молибденового ангидрида). ЖНХ, т. 2, стр. 2085, 1957.
9. А. К. Бабко, Б. И. Набиванец, Изучение состояния молибдатов в растворе. (Поглощение молибдена нонитами). ЖНХ, т. 2, стр. 2096, 1957.
10. K. K. Gaus, F. Nelson, G. Moore, Anion-exchange Studies XVII. Molybdenum (VI), Tungsten (VI) and Uranium (VI) in HCl and HCl-HF solutions. J. Am. Chem. Soc., vol. 77, p. 3972, 1955.
11. J. Mellor, A. comp. tr. on inorg. and theor. Chem., Longmans, Green and Co. (London - New York - Toronto), vol. 2, p. 132, 1927.
12. J. Mellor, A. comp. tr. on inorg. and theor. Chem., Longmans, Green and Co. (London - New York - Toronto), vol. 10, p. 412, 1933.
13. R. Brown, W. Bunge a. oth., The Electrical Conductivity of Uranium Fluoride in Aqueous Solution. J. Am. Chem. Soc., vol. 76, p. 1580, 1954.
14. Н. С. Николаев, Ю. А. Буслев, Исследование растворимости и гидролиза в системе $\text{HF}-\text{NbF}_5-\text{H}_2\text{O}$. ЖНХ, т. 4, стр. 205, 1959.
15. Ю. А. Буслев, Н. С. Николаев, Исследование системы $\text{HF}-\text{TaF}_5-\text{H}_2\text{O}$. ЖНХ, т. 4, стр. 465, 1959.
16. Н. С. Николаев, Исследование системы $\text{HF}-\text{WO}_3-\text{H}_2\text{O}$. Химия редких элементов, т. 1, стр. 45, 1954.
17. Н. С. Николаев, Ю. А. Буслев, Изотерма растворимости ОС системы $\text{HF}-\text{CrO}_3-\text{H}_2\text{O}$. ИСФХА, т. 26, стр. 270, 1955.
18. Н. С. Николаев, Ю. А. Буслев, Исследование растворимости в системе $\text{HF}-\text{V}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$. Химия редких элементов, т. 2, стр. 57, 1955.
19. И. В. Тананаев, Н. С. Николаев, Ю. А. Буслев, Исследование системы $\text{ZrF}_4-\text{H}_2\text{O}$ методом изотермической растворимости (изотерма 0,5 С). ЖНХ, т. 1, стр. 274, 1956.

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

АЛКИЛИРОВАНИЕ ДИИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА ПРОПИЛЕНОМ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ

Как указывалось в одной из работ [1], при алкилировании моноизопропилбензола пропиленом при 20° в присутствии хлористого алюминия образуется в незначительном количестве бензол при малых молярных соотношениях пропилен — изопропилбензол. Образование бензола обусловлено наличием реакции дезалкилирования исходного углеводорода не только при 60° [2], но и при 20° [1].

Алкилирование диизопропилбензола пропиленом при 60° в присутствии хлористого алюминия доказало наличие подобной реакции, приводящей к образованию изопропилбензола при малых молярных отношениях. При 60° и молярном отношении пропилен — диизопропилбензол около 0,1 максимальное количество изопропилбензола составляет около 7%. Бензол в этих условиях не образуется.

Следовательно, помимо реакции алкилирования диизопропилбензола пропиленом при 60° при низких молярных отношениях протекает реакция дезалкилирования, причем конечным продуктом ее является моноизопропилбензол.

Учитывая, что диизопропилбензол может давать в качестве конечных продуктов при алкилировании при 60° помимо три- и тетраизопропилбензолов незначительное количество моноизопропилбензола, а моноизопропилбензол при алкилировании может давать бензол, как при 20°, так и при 60°, целесообразно было исследовать реакцию алкилирования диизопропилбензола пропиленом при 20°.

С этой целью проведено исчерпывающее алкилирование диизопропилбензольной фракции, кипящей в интервале температур 198—212° (d_4^{20} 0,8505; n_D^{20} 1,4896), 96—98% пропиленом в присутствии 0,03 моля хлористого алюминия на моль диизопропилбензола. Исходная диизопропилбензольная фракция содержала 74% мета- и 26% параизомеров*.

Алкилирование проводилось в трехгорлой колбе, снабженной обратным холодильником, барботером для подачи пропилена и шнековой мешалкой. Скорость вращения мешалки составляла 2—2,5 тысячи оборотов в минуту. Пропилен подавался со скоростью 60—70 л/час на 1 кг диизопропилбензола, равной его конверсии реакционной массой.

После окончания опытов продукты алкилирования вместе со слоем катализатора промывались ледяной водой, разбавленной соляной кислотой, и вновь водой до нейтральной реакции. После высушивания над хлористым кальцием они разгонялись на ректификационной колонке эффективностью в 30 т.т. Промежуточные фракции, составляющие не

* Данные спектрального анализа получены И. А. Алексеевой и Г. А. Алексеевой на спектрографе ИСП-51.

более 1—2%, делились при подсчете выходов алкилбензолов пополам между соседними алкилбензолами. Триизопропилбензол, как показал анализ, состоит в основном из 1, 3, 5-изомера*.

Состав полученных катализаторов при различных молярных отношениях пропилен—диалкилбензол приведен в табл. 1. В этой же таблице приведено количество пропилена, рассчитанное по молярному соотношению [4] и по балансу [3].

Таблица 1

Состав катализаторов в вес.							
n'	n	p_1	p_2	p_3	p_4	у по n'	у по балансу
0,069	2,069	3,1	87,0	6,1	—	4,03	3,78
0,166	2,166	2,6	77,1	17,0	—	12,18	10,55
0,547	2,547	1,8	30,1	66,2	—	20,28	19,01
1,008	3,008	0,9	6,6	84,4	4,4	26,66	25,10
1,101	3,101	0,4	4,1	84,7	8,9	29,97	28,20
1,362	3,362	—	2,9	73,2	34,2	37,07	35,92

Примечание: n — отношение пропилен — бензол,
 n' — отношение пропилен — диизопропилбензол,
 p_1, p_2, p_3, p_4 — весовой процент моно-, ди-, три- и тетраизопропилбензолов.

Таблица 2

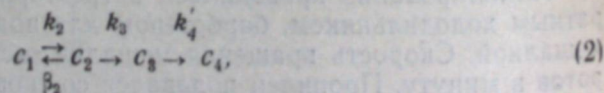
Весовой состав катализаторов при истинном n_1

n_1	p_1	p_2	p_3	p_4	n_1	p_1	p_2	p_3	p_4
2,065	3,4	90,4	6,4	—	2,948	0,9	6,9	87,6	4,6
2,156	2,7	79,7	17,6	—	3,035	0,4	4,2	86,3	9,1
2,514	1,9	30,7	67,3	—	3,280	—	3,0	75,0	35,0

В табл. 2 показаны составы продуктов алкилирования при истинном молярном соотношении n_1 (за вычетом полимеров пропилена)
 $n_1 = 0,94 n$. (1)

Обсуждение результатов

Как видно из табл. 1 и 2, алкилирование диизопропилбензола пропиленом является обратимо-последовательной реакцией, так как при алкилировании при малых молярных соотношениях образуется в незначительном количестве моноизопропилбензол. Таким образом, для алкилирования диизопропилбензола можно написать схему реакции:



где k_2, k_3 — константы скорости образования ди- и триизопропилбензолов,

k_4 — обобщенная константа скорости образования тетраизопропилбензола,

β_2 — константа скорости образования изопропилбензола из диизопропилбензола.

* Данные спектрального анализа получены И. А. Алексеевой и Г. А. Алексеевой на спектрографе ИСП-51.

Используя уравнения (14) [2] в три степени, подбираем соотношения констант $\beta_2 : k_2 : k_3 : k_4$, равное 0,0374 : 1 : 0,014 : 0,0006 при $g_1 = 0,0135$ и $g_2 = 1,0379$. При найденных соотношениях констант скорости уравнения состава имеют вид:

$$c_1 = 3,74(0,974e^{-0,0135k_2t} - 0,974e^{-1,0379k_2t}),$$

$$c_2 = 96,30e^{-0,0135k_2t} - 96,30e^{-1,0379k_2t}, \quad (3)$$

$$c_3 = 1,4(74,69e^{-0,0006k_4t} - 74,65e^{-0,0135k_2t} + 0,003e^{-1,0379k_2t}),$$

$$c_4 = 100 - \sum_{i=1}^3 c_i$$

Зависимость n_1 от k_2t выражается уравнением:

$$n_1 = 4 - 1,045e^{-0,0006k_4t} - 0,99e^{-0,0135k_2t} + 2,108e^{-1,0379k_2t}. \quad (4)$$

Уравнение (4) было получено из равенства

$$n = \frac{1c_1 + 2c_2 + 3c_3 + 4c_4}{100}, \quad (5)$$

где значения c_i взяты из (3).

Подставляя в уравнение (4) различные значения k_2t , определяем зависимость n_1 от k_2t (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость n_1 от k_2t										
n_1	2,045	2,094	2,211	2,485	2,600	2,758	2,914	3,065	3,109	3,144
k_2t	6,0	10,0	20,0	50,0	70,0	100	150	250	300	350

На рис. 1 представлена зависимость молярного отношения от молярных процентов алкилбензолов, вычисленных по уравнениям (3). На рис. 2 дана аналогичная зависимость, но от весовых процентов. Весовые проценты алкилбензолов вычислялись по уравнению (12) [3]. На этом же рисунке нанесены экспериментальные точки, взятые из табл. 2. Как видно на рис. 2, сходимость экспериментальных точек с теоретическими кривыми хорошая, что указывает на правильно подобранное соотношение констант.

Сравнивая соотношения констант скоростей образования алкилбензолов, полученных при алкилировании бензола пропиленом при 20° [4], моноизопропилбензола пропиленом при 20° [1] и диизопропилбензола пропиленом при 20°, можно получить следующую зависимость:

для бензола	для моноизопропилбензола	для диизопропилбензола
1. $k_1' = k'$,	5. $\beta_1 = 0,038 k$,	
2. $k_2' = 1,27 k'$,	6. $k_1 = k$,	10. $\beta_2 = 0,0374 k_2$,
3. $k_3 = 0,75 k'$,	7. $k_2' = 0,025 k$,	11. $k_2 = k_2$,
4. $k_4' = 0,024 k'$,	8. $k_3 = 0,0195 k$,	12. $k_3 = 0,014 k_2$,
	9. $k_4 = 0,0007 k$,	13. $k_4' = 0,0006 k_2$.

Используя равенства 2, 7 и 3, 12, получим:

$$\begin{aligned} 14. k &= 50,8 k', \\ 15. k_2 &= 53,6 k'. \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя в уравнения (6) значения k_i , выраженные через k' по равенствам 14 и 15, получим следующие зависимости:

для изопропилбензола	для диизопропилбензола	
$\beta_1 = 1,93 k'$	$\beta_2 = 2,00 k'$	
$k_1 = 50,8 k'$	$k_2 = 53,6 k'$	
$k_2' = 1,27 k'$	$k_3 = 0,75 k'$	
$k_3 = 0,98 k'$	$k_4 = 0,0321 k'$	(8)
$k_4 = 0,0355 k'$		

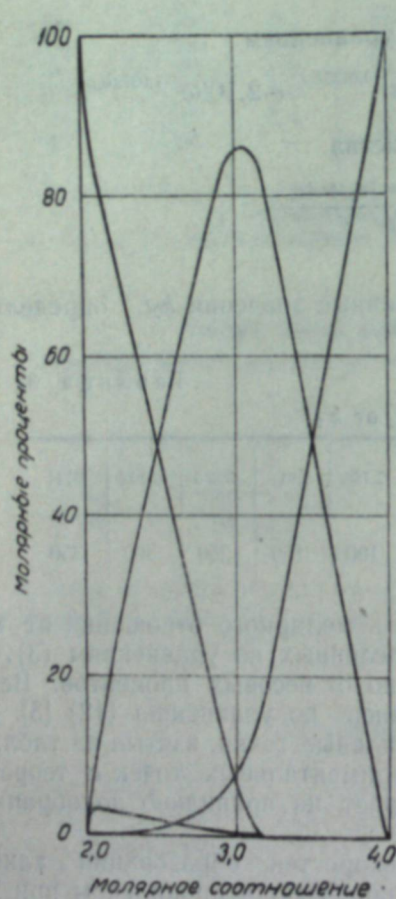


Рис. 1. Молярный состав системы пропилен — диизопропилбензол.

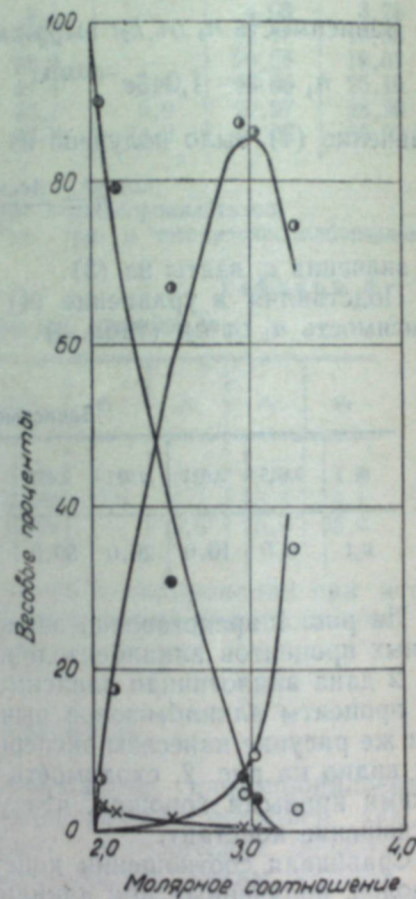


Рис. 2. Весовой состав системы пропилен — диизопропилбензол.

Опытные данные: \times — изопропилбензол, \bullet — диизопропилбензол, \circ — триизопропилбензол, \circ — тетраизопропилбензол.

Приведенное в равенствах (6) и (8) выражение констант через k' позволяет сделать заключение, что во всех случаях, т. е. при алкилировании бензола, моно- и диизопропилбензола пропиленом при 20°, были подобраны близкие соотношения констант. Кроме того, алкилирование моно- и, в особенности, диизопропилбензола позволяет уточнить константы k_3 и k_4 . Исходя из констант, полученных при алкилировании моно- и диизопропилбензола, уточненное соотношение скоростных постоянных для бензола $k_1' : k_2' : k_3' : k_4' = 1 : 1,27 : 0,83 : 0,0305$.

При указанных соотношениях уравнения состава имеют вид:

$$\begin{aligned} c_0 &= 100e^{-kt}, \\ c_1 &= 100(3,704e^{-kt} - 3,704e^{-1,27kt}), \\ c_2 &= 100(16,98e^{-0,83kt} - 27,67e^{-kt} + 10,69e^{-1,27kt}), \\ c_3 &= 100(1,097e^{-0,0305kt} - 17,63e^{-0,83kt} + 23,69e^{-kt} - 7,158e^{-1,27kt}), \\ c_4 &= 100(1 - 1,097e^{-0,0305kt} + 0,648e^{-0,83kt} - 0,723e^{-kt} + 0,172e^{-1,27kt}). \end{aligned} \quad (9)$$

Правильность и тождественность соотношений скоростных постоянных, найденных для систем пропилен — бензол [4], пропилен — моноизопропилбензол [1] и систем, опубликованных в настоящем сообщении, может быть подтверждена сравнением молярных составов систем, вычисленных по соответствующим уравнениям при условии исчезновения из системы бензола и изопропилбензола. При этих условиях реакция идет практически только в одном направлении — в сторону образования высших алкилбензолов.

Данные, приведенные в табл. 4, еще раз подтверждают, что для трех исследованных систем — пропилен — бензол и пропилен — моно- и диизопропилбензол — подобраны верные соотношения констант скоростей образования алкилбензолов.

Таблица 4

Состав систем в молярных %									
n	c_2	c_3	c_4	Вычислены по уравнениям	n	c_2	c_3	c_4	Вычислены по уравнениям
2,79	15,41	76,59	4,00	(3) [4]	3,09	1,79	87,03	11,03	(3) [4]
2,80	16,25	76,36	3,95	(2) [1]	3,09	1,90	86,33	11,53	(2) [1]
2,79	21,81	74,21	3,16	(3)	3,09	2,19	86,02	11,71	(3)
2,98	6,62	85,43	7,01	(3) [4]	3,14	0,45	84,39	15,14	(3) [4]
2,99	6,40	85,38	7,41	(2) [1]	3,14	0,80	84,54	14,66	(2) [1]
2,99	9,70	83,69	6,04	(3)	3,14	0,85	83,93	15,29	(3)

Анализируя соотношение скоростных постоянных (6), можно заключить, что при 20° реакционная способность бензола меньше реакционной способности изопропилбензола в 0,87 раза, но больше реакционной способности диизопропилбензола в 1,2 раза. У тетраизопропилбензола скорость образования в 33,2 раза меньше, чем у изопропилбензола, в 42,3 раза меньше, чем у диизопропилбензола и в 27,6 раза меньше, чем у триизопропилбензола.

Используя равенства 8 и 12 (6), можно найти соотношения констант алкилирования бензола, моно- и диизопропилбензола, исключая константу β_1 — константу обратной реакции.

Так, для исследования систем при 20° имеет место следующее соотношение констант: $k_1 : k_2 : k_3 = 1 : 1,39 : 0,0195$.

Это соотношение указывает, что при 20° у изопропилбензола реакционная способность в 1,39 раза больше, чем у бензола. У диизопропилбензола она очень мала, даже по сравнению с изопропилбензолом.

Выводы

1. Подобраны константы скоростей образования алкилбензолов при алкилировании диизопропилбензола пропиленом при 20° и выведены уравнения состава системы.

2. Уточнены константы скоростей образования алкилбензолов для систем пропилен—бензол при 20° и выведены уравнения состава.

3. Показано, что система пропилен—бензол при значениях молярного отношения около 3 и выше может быть вычислена по уравнениям состава пропилен—бензол, пропилен—изопропилбензол и пропилен—динизопропилбензол.

Уральский филиал
АН СССР

Поступила в редакцию
10/11 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Насакина, Алкилирование изопропилбензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия. Изв. СОАН СССР, № 1, 1959.
2. В. Г. Плюснин, Е. П. Бабин, М. Н. Родигин, М. И. Насакина, Закономерности образования изопропилбензолов в присутствии хлористого алюминия. Сб. работ Ин-та химии, посвящ. 25-летию юбилею Уральского филиала АН СССР, т. 3, 1959.
3. В. Г. Плюснин, О закономерностях образования алкилбензолов в процессе алкилирования. Сб. «Химическая переработка нефтяных углеводородов» (Тр. Всес. совещ. по комплексной химич. переработке нефтяных газов). Изд. АН СССР, 1956.
4. Е. П. Бабин, В. Г. Плюснин, М. И. Насакина, Влияние температуры проведения процесса на соотношение между константами скорости образования алкилбензолов при алкилировании бензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия. Изв. СОАН СССР, № 11, 1958.

В. А. ЛАНИН, Р. И. СИДОРОВ

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛОВ СЛАНЦЕВОЙ СМОЛЫ

Исследование состава фенолов дегтей, как и всяких сложных смесей органических соединений, начинается с разделения этих смесей на более простые по своему составу группы веществ.

При разделении сложных смесей фенолов малоэффективными оказались такие физические методы, как ректификация, фракционная кристаллизация и избирательное растворение. Каждый из этих трех методов обладает известными преимуществами, но даже комбинирование их не позволяет разделить фенольные смеси ни на индивидуальные соединения, ни на отдельные классы фенолов. Фракционную кристаллизацию трудно применить к смесям фенолов, поскольку эти смеси при нормальной температуре жидкие, а при низкой превращаются в стекловидную массу. Ректификацией разделить смеси фенолов нельзя, исключая отделение карболовой кислоты и о-крезола, так как температуры кипения отдельных соединений близки между собой. Возможности избирательного растворения продемонстрированы в табл. 1, где собраны данные о растворимости некоторых фенолов в различных растворителях. Таблица составлена нами по данным многочисленных исследователей.

Таблица 1

Растворимость фенолов в различных растворителях

Фенолы	Растворители			
	вода	петролейный эфир	бензол	ацетон
Карболовая кислота	8,4%	2,5%	р	р
Триметилфенолы	н	р	р	р
Фенилфенолы	н	н	р	р
Двухатомные фенолы	р	н	н	р
Триметил-двухатомные фенолы	р	н	р	р
Нафтолы	н	н	р	р
Триметилнафтолы	н	н	р	р
Трехатомные фенолы	р	н	н	р
Инданолы и тетрагидронафтолы	н	р	р	р
Оксикумароны	н	р	р	р

Примечание: Здесь «р» — хорошая растворимость в указанных растворителях, «н» — плохая растворимость.

Из табл. 1 видно, что достичь четкого разделения фенолов селективными растворителями не удастся.

Многие исследователи пытались переводить фенолы в другие соединения с помощью тех или иных химических реакций, чтобы полученные новые соединения разделить известными физическими методами

разделения (так называемые «химические методы разделения»). Большинство этих исследователей пошло по пути превращения фенолов в кристаллические продукты с тем, чтобы разделить их фракционной кристаллизацией.

Это методы:

1. Получение арилгликолевых кислот [1]
2. > уретанов [2]
3. > солей сульфокислот [3]
4. > солей сульфэфиров [4]
5. > бромпроизводных [5]

и некоторые другие.

Однако все эти методы хороши лишь для анализа наиболее простых фенольных смесей — кипящих ниже 225°. По мере повышения температуры кипения фенольных фракций трудности фракционной кристаллизации соединений, полученных из этих фракций, увеличиваются. Фракции, кипящие выше 225°, как правило, дают жидкие продукты синтеза с небольшим выходом последних. Это можно объяснить и возрастающей примесью фенолов других классов (например инданолов) и, что наиболее вероятно, возрастающей сложностью фенольных смесей.

Другие исследователи пошли по пути превращения фенолов в жидкие соединения, обладающие, наряду с повышенной стабильностью, иными температурами выкипания. Новые соединения в дальнейшем разгонялись на более узкие фракции, и эти фракции анализировались тем или иным путем.

Это следующие методы:

1. Получение простых эфиров (метиловых и этиловых). [6]
2. Получение виниловых эфиров. [7]
3. Алкилирование изобутиленом. [8]

Как и предыдущие, эти методы оказались пригодными лишь при исследовании состава фракций, выкипающих до 225°, так как состав высекающихся фракций очень сложен. Необходимо отметить, что окончательную оценку этому направлению исследований еще трудно вынести, так как почти все авторы имели дело либо с плохой ректификацией, либо с очень широкими фракциями. Там, где исследователи использовали узкие фракции, разделение проходило хорошо. Например, удалось разделить смесь м- и п-крезолов по методу алкилирования изобутиленом.

Имеется еще целый ряд методов разделения сложных фенольных смесей на более простые:

1. Гидролитическое расщепление фенолятов. [9]
2. Гидролитическое расщепление сульфокислот фенолов. [10]
3. Гидролитическое расщепление уретанов. [11]
4. Получение комплексных соединений. [12]

Первые три метода основаны на различной скорости расщепления тех или иных соединений фенолов. Все эти методы в настоящее время оставлены либо из-за недоработки (первый), либо из-за недостаточной эффективности (второй и третий). Получение комплексных соединений фенолов в настоящее время развивается очень медленно.

За последние 17 лет к исследованию состава фенольных смесей все чаще стали привлекать хроматографические методы разделения. Первые опыты были проведены в Германии под руководством Биленберга [13—15]. Однако в дальнейшем из всех видов хроматографического раз-

деления сложных смесей фенолов получили распространение только методы распределительной и бумажной хроматографии [16—27], при этом основной целью опытов было разделение низкокипящих фенолов на индивидуальные соединения.

К сожалению, работ, посвященных разработке методики разделения сложных естественных смесей высококипящих фенолов, очень мало.

Нами исследован состав фенолов сланцевой смолы и на примере хроматографического разделения фенолов, растворимых в петролейном эфире, показана возможность применения промывной хроматографии к разделению сложных фенольных смесей, кипящих в широких интервалах. Выявлены также основные закономерности хроматографического разделения сложных фенольных смесей.

Для исследования брались фенолы бензиновой и керосиновой фракций дегтя прибалтийских горючих сланцев, выделенные 10% раствором NaOH на комбинате в Кивийяли. Они очищались от водорастворимых фенолов — 3,2%, от оснований — 0,2%, от кислот — 4,3%, от нейтральных масел — 16,4%. Разгонка сухих очищенных фенолов представлена в табл. 2.

Таким образом, общее количество фенолов сланцевой смолы складывается из водорастворимых (3,2%) и очищенных (75,9%) фенолов.

Поскольку сложную смесь фенолов можно разделить на более простые смеси избирательным растворением, полученные очищенные фенолы делились с помощью различных растворителей на 3 группы: растворимые в 100-кратном количестве петролейного эфира, растворимые в 15-кратном количестве бензола и остаток, полностью растворившийся лишь в ацетоне.

Для хроматографического разделения были взяты фенолы, растворимые в петролейном эфире. Хроматографическое разделение проводилось на силикагеле марки АСМ, крупностью 70—180 меш и активностью 12 ед. (по бензолу из н-гептана), взятом в 10-кратном количестве по отношению к весу фенолов. Всего было разделено 780 г фенолов. Разделение проводилось с помощью бензола, сернистого эфира и ацетона. Фенолы наносились на силикагель в растворе петролейного эфира. В процессе хроматографирования было отобрано 48 фракций. Результаты разделения представлены на рис. 1.

Анализируя кривые графика, можно заключить, что вся масса фенолов разделилась на 3 части: первая (25%) состоит, по-видимому, из полициклических фенолов (высокие n_D^{20} , малые % OH); вторая (31—33%) представляет собой довольно сложную смесь соединений, о характере которых можно судить лишь после дальнейших исследований; третья (40%) представляет собой смесь одноатомных и двухатомных фенолов (большие % OH).

Потери при хроматографическом разделении составляют 2,5%.

В дальнейшей работе все 48 фракций были объединены в 12 групп, как это указано на рис. 1, по соответственно сходным % OH и n_D^{20} . Каждая группа затем разгонялась в вакууме на лабораторной ректификационной колонке, эффективностью 7 т.т. Фракции, полученные при разгонке групп, характеризовались по молекулярному весу, % OH, % ОСН₃, n_D^{20} , d_4^{20} и элементарному составу. На основании этих данных делались выводы о составе групп.

Таблица 2

Разгонка очищенных фенолов

Температура кипения, °С	Получено в % на очищенные фенолы
до 180	0,3
180—185	0,9
185—205	8,3
205—230	26,2
230—250	10,9
250—300	13,4
остаток	34,7
потери	5,3

Основными показателями, по которым мы относили фракции к классу тех или иных соединений, были n_D^{20} , % ОН и молекулярный вес. При этом принималось, что:

- 1) полициклические одноатомные фенолы имеют одну гидроксильную группу на молекулу и n_D^{20} выше 1,57;
- 2) моноклицические одноатомные фенолы имеют, наряду с одной гидроксильной группой, n_D^{20} ниже 1,5510;
- 3) моноклицические двухатомные фенолы имеют две гидроксильные группы на молекулу и n_D^{20} , в среднем лежащий между 1,55 и 1,58;
- 4) гетероциклические соединения определялись с помощью элементарного состава. Тогда наличие одной гидроксильной группы при двух кислородных атомах прямо указывало на присутствие гетероциклических соединений, так как количество эфиров было очень мало.

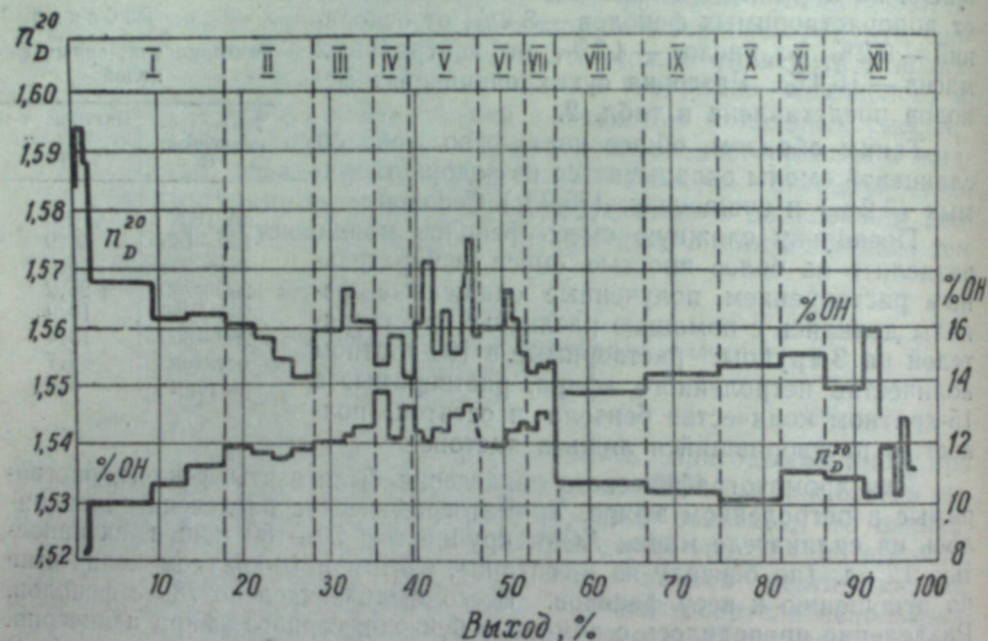


Рис. 1. Результаты хроматографического разделения фенолов, растворимых в петролейном эфире.

Результаты, полученные при ректификации 12 групп фракций, представлены на рис. 2 и 3.

На рис. 3 видно, что карболовой кислоты нет в первых группах фракций. Основное ее количество содержится в VII группе. Некоторое, правда малое, содержание карболовой кислоты отмечено в VIII—X группах. В этих группах, кроме того, содержится м-крезол (доказан нитрованием по Рашигу).

XII группа фракций вновь содержит заметное количество соединений, выкипающих до 186° , но не являющихся карболовой кислотой. Основное количество крезолов отмечено в VIII и IX группах фракций, основное количество ксиленолов (фракция $205-225^\circ$) — в I—IV группах. X и XI группы фракций также содержат значительное количество соединений, кипящих в этих пределах.

Таким образом, соединения, кипящие в пределах $205-225^\circ$, в процессе хроматографии разделились на две группы веществ. Было также

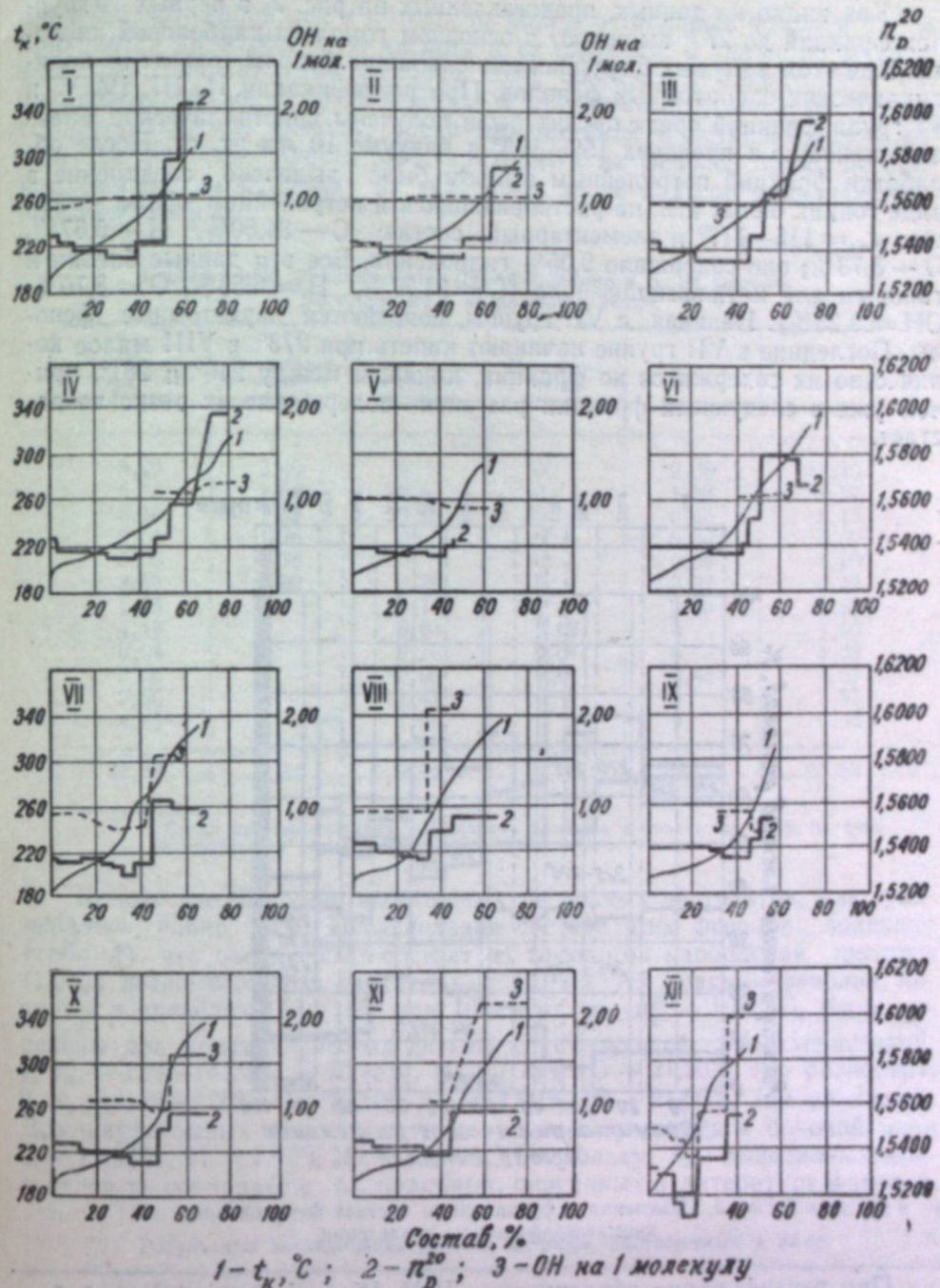


Рис. 2. Результаты разгонки группы фенолов, полученных при хроматографическом разделении.

показано, что основное количество фенолов состава $C_{10}H_{14}O$ содержится в первой группе фракций, а фенолов состава $C_9H_{12}O$ — во второй.

Для низкокипящих фенолов первых двух групп фракций были получены арилгликолевые кислоты, которые после многих перекристаллизаций плавилась при 186° , $141-142^\circ$, 134° , что отвечает наличию в исходной смеси 1, 2, 3- и 1, 2, 4-кисленолов, а также п-крезола.

Как видно из данных, представленных на рис. 2, в первых 10 группах фракций до 270° выкипают в основном гомологи карболовой кислоты. При этом в первых 6 группах вышекипящие фенолы состоят из полициклических одноатомных фенолов. При ректификации II, III, IV, V и VI групп фракций среди прочих были получены кристаллические фракции, кипящие в пределах 152—153° в вакууме 10 мм рт. ст. После обработки фракций петролейным эфиром было выделено соединение в виде тонких белых игл, не растворяющихся в петролейном эфире, имеющее $t_{пл} = 116—117°$ и элементарный состав: С—84,60%, Н—6,67%, О—8,73%; оно содержало 9,05% гидроксила. Все эти данные близки к таковым для метилфенилфенола (С=84,77%, Н=6,53%, О=8,70%, ОН=9,23%). Начиная с VII группы, появляются двухатомные фенолы. Последние в VII группе начинают кипеть при 273°, в VIII малое количество их содержится во фракции, кипящей между 246° и 281°, причем уже в следующей фракции разгонки содержание их резко возрастает.

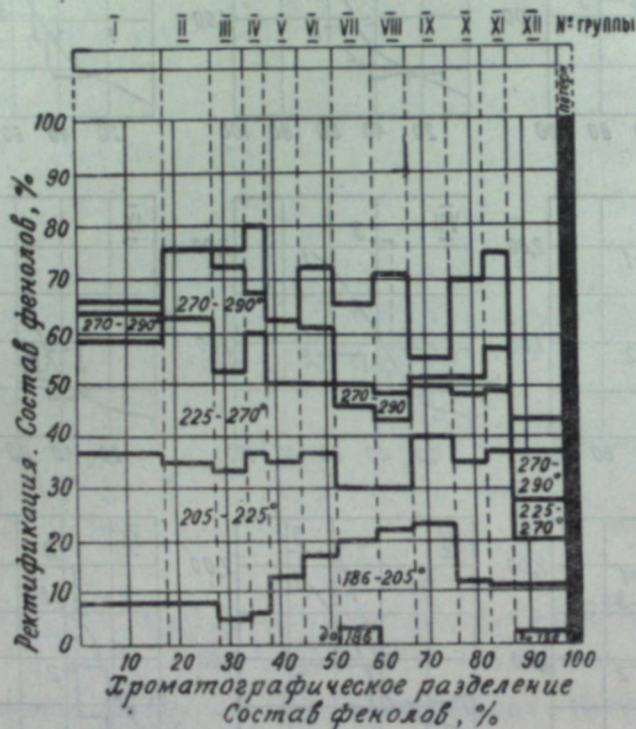


Рис. 3. Изменения в фракционном составе фенолов при хроматографическом разделении.

При ректификации объединенных VIII, IX и X групп фракций было найдено, что двухатомные фенолы начинают кипеть при 280°. XI группа содержит двухатомные фенолы, кипящие выше 286°. Таким образом, низкокипящие двухатомные фенолы, если и присутствуют среди фенолов, растворимых в петролейном эфире, то в крайне незначительных количествах. И, наоборот, высококипящие двухатомные фенолы содержатся в них в значительных количествах. Полученные результаты показаны в табл. 3.

Подсчитанные на основании этих данных соотношения фенолов таковы: из всех фенолов, растворимых в петролейном эфире, 34,4%

представляют собой пек и потери; из 65,6% оставшихся фенолов 41,7% приходится на карболовую кислоту и ее гомологи, а также на метиловые эфиры двухатомных фенолов, 8,5% составляют одноатомные бициклические фенолы, 10,0% — двух- и трехатомные фенолы, включая и гетероциклические фенолы, среди них имеются в незначительном количестве неполные эфиры, 5,4% приходится на фенолы, прямо не принадлежащие ни к одному из указанных выше классов и являющиеся промежуточными.

Таблица 3
Состав групп фракций хроматографирования в % на фенолы, растворимые в петролейном эфире

Моноциклич. одноатомные фенолы	Полициклич. одноатомные фенолы	Фенолы с двумя атомами кислорода	Метиловые эфиры фенолов	Прочие	Итого
6,92	2,49	0	0	2,08	11,49
5,78	1,56	0	0	1,03	8,37
3,16	1,51	0	0	0,46	5,13
2,05	1,25	0	0	0,39	3,69
3,06	0,78	0	0	0,36	4,20
2,80	0,92	0,39	0	0,37	4,48
1,55	0	0,77	0	0,28	2,60
4,18	0	3,63	0,09	0	7,90
3,94	0	0,70	0,04	0	4,68
3,06	0	0,99	0,04	0,48	4,57
2,50	0	1,47	0	0	3,97
4,46*	0	1,99	0	0	4,45
41,46	8,51	9,94	0,17	5,45	65,53

* Среди них присутствуют нейтральные вещества в количестве 0,68% на фенолы, растворимые в петролейном эфире.

Количество фенолов, выделенных из водных экстрактов, как указывалось, равно 3,2%. Исследование состава этих фенолов показало (табл. 4), что они до 275° состоят из гомологов карболовой кислоты (1,5%), выше 275° — из двухатомных (1,0%). Из фракции фенолов, кипящих в пределах 147—165° при 10 мм рт. ст. ($n_D^{20} = 1,5620$), были выделены два кристаллических фенола со следующей характеристикой: 1. $t_{пл} = 139—141°$; С—70,75%, Н—7,75%, О—21,50% (по разности); 2. $t_{пл} = 125—126°$; С—70,50%, Н—7,90%, О—21,60% (по разности). Для двухатомных фенолов с тремя атомами углерода в боковой цепи С=71,04%, Н=7,90%, О=21,06%. Поскольку $t_{пл}$ выделенных кристаллов не совпадает с $t_{пл}$ подобных, описанных в литературе фенолов.

Таблица 4
Результаты исследования состава фенолов, растворимых в воде

№ фракции	$t_{к}, °C$ при 10 мм рт. ст.	Выход, г	Выход, %	n_D^{20}	Цвет	Состав
1	74—80	5,5	14,0	1,5385	Бесцветная	Гомологи карболовой кислоты
2	80—101	10,6	40,8	1,5320	"	
3	101—132	1,0	43,3	1,5225	Желтая	
4	132—147	1,0	45,7	1,5270	"	
5	147—165	5,6	59,8	1,5620	"	Двухатомные фенолы
6	165—182	7,0	77,4	1,5645	Желто-красная	
Итого		30,7				

следует предположить, что выделенные фенолы еще не описаны в литературе.

Фенолы, растворимые в бензоле (28% от всего количества сланцевых фенолов), при ближайшем рассмотрении (табл. 5) оказались состоящими из гомологов карболовой кислоты (5,5%) и двухатомных фенолов (11,3%). В табл. 6 показан групповой состав сланцевых фенолов.

Таблица 5

Результаты исследования состава фенолов, растворимых в бензоле

№ фракции	$t_{\text{к}}$, °C при 740 мм. рт. ст.	Выход, г	Выход, %	ОН на 1 мол.	Молекулярный вес	ОСН ₂ , %	n_D^{20}	Цвет	Состав фракций, %			ОН, %
									гомологи карболовой кислоты	эфиры двухатомных фенолов	двухатомные фенолы	
1	197—220	7,0	10,8	1,08	130	1,5	1,5330	желт.	93,5	6,5	0	14,20
2	220—250	7,01	21,6	1,37	160	1,3	1,5410	"	36,5	6,5	37	14,60
3	250—270	2,01	24,7	1,62	175	2,3	1,5500	"	25,0	13,0	62	15,72
4	270—290	6,98	35,4	1,90	190	1,3	1,5572	"	2,2	7,8	90	16,95
5	290—305	5,94	44,5	2,05	215	1,3	1,5638	"	0	8,6	100	17,10
6	305—327	10,06	60,0	2,33	220	0,9	1,5590	красн.	0	6,6	100	18,01

Примечание. Общее количество гомологов карболовой кислоты в водорастворимых фенолах — 14,7%, эфиров двухатомных фенолов — 4,2%, двухатомных фенолов — 40,1%. Остаток и потери разгонки составляют ~ 40%.

Таблица 6

Состав фенолов бензиновой и керосиновой фракций сланцевой смолы

Фенолы	Моноциклич. одноатомные	Полициклич. одноатомные	Моноциклич. двухатомные	Всего	Пек, потери	Всего
Растворимые в воде	1,9	0	1,2	3,1	0,9	4,0
Растворимые в петролейном эфире	27,6	6,2	7,2	41,0	21,5	62,5
Растворимые в бензоле	5,3	0	10,8	16,1	10,7	26,8
Растворимые в ацетоне	—	—	—	—	6,7	6,7
Итого	34,8	6,2	19,2	60,2	39,8	100,0

Количество бициклических и двухатомных фенолов в суммарных фенолах бензиновой и керосиновой фракций, несомненно, выше, так как они имеют высокие температуры кипения, поэтому значительная их часть может содержаться в остатке от перегонки.

По процессу хроматографического разделения можно сделать следующие замечания: не вызывает сомнения факт плохой адсорбируемости полициклических фенолов сланцевой смолы, так как при хроматографическом разделении они выходят первыми. Несомненно также повышенная адсорбируемость двухатомных фенолов. Среднее положение между этими классами занимают одноатомные фенолы. Что касается адсорбируемости гомологов карболовой кислоты, то было замечено, что наименьшей адсорбируемостью обладают гомологи с наибольшим молекулярным весом, наивысшей — карболовая кислота.

Таким образом, в результате проделанной работы был определен состав фенолов бензиновой и керосиновой фракций дегтя прибалтийских сланцев и выяснены основные закономерности в хроматографическом разделении сложных фенольных смесей на силикагеле.

Выводы

1. Определен групповой состав фенолов бензиновой и керосиновой фракций дегтя прибалтийских сланцев.

2. Показано наличие следующих фенолов: карболовой кислоты, м-крезола, п-крезола, 1, 2, 3-ксиленола, 1, 2, 4-ксиленола.

3. Выделены, но не идентифицированы два двухатомных фенола с тремя атомами углерода в боковой цепи и один полициклический фенол, принадлежащий, по-видимому, к ряду фенолфенолов.

4. Выяснены основные закономерности в хроматографическом разделении сложных фенольных смесей на силикагеле.

Восточно-Сибирский филиал
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
29/VIII 1959

ЛИТЕРАТУРА

- W. Steinkopf, Th. Höpner, Mitteilung aus dem Institut für organische Chemie der technischen Hochschule Dresden. Über die phenolischen Bestandteile eines Generatorsteers aus böhmischer Braunkohle, J. pr. Chem., 113, 17, 1926.
- E. Fromm, H. Eckard, Über Braunkohlen — Urteer, Ber., 56, 948, 1923.
- F. V. Hessert, Zur Kenntnis der Phenole des Braunkohlenteers, Z. ang. Chem., 43, 771, 1930.
- K. E. Schulze, Notizen Nitrirung der Kresole, Ber., 20, 410, 1837.
- И. Раппопорт, З. Васильева, К. Жирнова, ХТТ, т. 7, 634, 1935.
- P. Klason, H. Meelquist, Untersuchung der in schwedischem Nadelholzteer enthaltenen Phenole, Z. ang. Chem., 40, 1231, 1927.
- Г. Г. Скворцова, Винилирование фенолов смолы полукоксования черемховских углей и исследование их химического состава. Автореф. дисс., Иркутск, 1955.
- П. Мошкин, Тр. ВНИГИ, вып. 1, стр. 104, М.—Л., Гостоптехиздат, 1942.
- A. Weindel, Beiträge zur Kenntnis der Urteerphenole, H. Brennst.—Chem., 14, 217, 1925.
- H. Brückner, Brennst.—Chem., 9, 208, 1928.
- В. И. Забавин, ХТТ, вып. 5, 480, 1933; вып. 2, 116, 1935.
- F. M. Potter, H. B. Williams, The determination of o-cresol, J. Soc. Chem. Ind., 51, 59, 1932.
- W. Bielenberg, H. Goldhahn, Zur chromatographischen Bestimmung von Oxybensolen (I Mitteilung), Brennst.—Chem., 21, 236, 1940.
- W. Bielenberg, L. Fischer, Zur chromatographischen Bestimmung von Oxybensolen (II Mitteilung), Brennst.—Chem., 22, 278, 1941.
- W. Bielenberg, H. Goldhahn, Über die Adsorption von Oxybensolen an Bleicherden, Koll.—Z., 97, 151, 1941.
- V. Mraz, Dělení o-dihydroxy benzenů rosdélovací chromatografií na papíre, Chem. Listy, 44, 259, 1950.
- R. L. Hossefeld, Paper Partition Chromatographic of simple phenols, J. Amer. Chem. Soc., 73, 852, 1951.
- T. R. Sweeney, J. D. Bultman, Separation of phenols by partition chromatography, Analyt. Chem., 25, 1358, 1953.
- J. Franc, Kvantitativní stanovení o-, m-, p-kresolu a fenolu v. technikem trikresolu, rosdélovací chromatografií na silikagelu, Chem. Listy, 48, 1526, 1954.
- R. A. Cartwright, E. A. Roberts, Paper chromatography of phenolic substances, Chem. a. Ind., 45, 1389, 1954.
- H. Stoltenberg, Chromatographische Bestimmung kleiner Mengen O-Kresol in Kresolgemischen, Z., anal. Chem., 146, 181, 1955.
- E. Terres, F. Geberl, H. Hülsemann, H. Peterleit, H. Toepf, W. Ruppert, Zur Kenntnis der physikalisch-chemischen Grundlagen der Gewinnung und Zerlegung der Phenolfraktionen von Steinkohlenteer und Braunkohlenschwefel, Brennst. Chem., (I Mitteilung), 36, 68, 1955, (II Mitteilung), 36, 162, 1955.

н-вторичного октилового спирта. В предварительных опытах было установлено оптимальное для анализа количество силикагеля — 5 г. При такой загрузке адсорбента в колонку наибольшая четкость разделения компонентов смеси достигалась с применением мелочи (—270 меш). При определении углеводородов в искусственных смесях было обнаружено постоянное отклонение в сторону занижения примерно на 2% (абсолютных). Такое постоянное расхождение полученных результатов с истинным содержанием углеводородов, как оказалось, объясняется потерями последних на адсорбенте. Специальными опытами по вытеснению чистых углеводородов было показано, что эти потери на адсорбенте возрастали пропорционально увеличению количества использованного силикагеля. Величина потерь на адсорбенте, отнесенная к 1 г силикагеля, составляла в среднем 0,0036 мл/г. Для одной и той же партии силикагеля при проведении опыта в стандартных условиях эти потери являются постоянной величиной, которую в целях уточнения анализа необходимо учитывать как поправку. Например, при анализе 1 мл продукта любого состава на 5 г силикагеля потери углеводородов составят 0,018 мл. Эту величину нужно прибавить к количеству выделенных углеводородов и лишь затем производить расчет содержания последних.

В табл. 1 приведены данные определения состава искусственных смесей изооктана и октилового спирта.

Таблица 1

Содержание углеводородов в искусственных смесях

Содержание изооктана в смеси с н-октановым вторичным спиртом, об. %	Найдено углеводородов, об. %			Отклонение от истинного значения, абс. %
	1	2	средн.	
10,0	9,8	10,1	10,0	0,0
30,0	28,8	29,1	29,0	-1,0
50,0	48,8	50,2	49,5	-0,5
62,5	62,5	62,6	62,6	+0,1
80,0	79,4	80,5	79,9	0,0
100,0	99,8	100,0	100,0	0,0

Для проверки влияния природы спиртов на результаты вытеснительного проявления было составлено по две смеси (10 и 30%) изооктана с метанолом, н-бутанолом, изоамиловым спиртом и спиртами С₇—С₉. Полученные результаты определения содержания углеводородов в смесях оказались идентичными предыдущим. Было проверено также влияние добавки к смеси углеводородов со спиртами небольшого количества (3%) метиловых эфиров карбоновых кислот С₇—С₉, обычно присутствующих в продуктах их гидрирования. Как оказалось, примесь эфиров карбоновых кислот на результаты анализа не влияет.

Прибор для адсорбционного анализа (рис. 1) состоит из колонки а (длина 210 мм, внутренний диаметр 10 мм) с удлиненным конусом (90 мм), в нижнем конце которого впаив стекланный фильтр, и капиллярного приемника б. Последний изготавливается из микробюретки вместимостью 1,0 мл, с ценой наименьшего деления 0,01 мл; общая длина приемника около 150 мм, длина капиллярной части около 120 мм. Приемник проверяется по микробюретке вместимостью 1 мл; в случае необходимости на показания его вводится поправка.

Проведение анализа сводится к следующему. В адсорбционную колонку, установленную вертикально, загружается небольшими порция-

ми 5 г силикагеля. Уплотнение слоя адсорбента достигается постукиванием по колонке стеклянной палочкой, защищенной резиновой трубкой. Далее нижняя часть колонки подсоединяется к водоструйному насосу и при непрерывном просасывании воздуха через столб силикагеля микропипеткой заливается 1 мл продукта. В тот момент, когда продукт полностью впитывается, осторожно заливаются (без промедления) 10—15 мл этилового спирта для вытеснения продукта. Когда последний почти достигнет конца колонки, отключают ее от водоструйного насоса и одевают на нее с помощью каучуковой трубки капиллярный приемник. Зазор между приемником и каучуковой трубкой, необходимый для выхода вытесняемого воздуха, создается кусочком проволоки в (см. рис. 1). Верх колонки соединяется с источником давления. Вытеснение углеводородов из колонки производится при постоянном давлении (0,7—1,0 ати). Давление подбирается таким образом, чтобы анализ продолжался 40—50 минут.

Отбор углеводородов в приемник прекращают, когда на нижнем конце колонки появляется окрашенная капля; ее спускают в стаканчик с метанолом. Если капля падает вниз, отбор углеводородов закончен, если она остается на поверхности метанола, следующие за ней капли спускают в стаканчик с метанолом до тех пор, пока последняя из них не упадет на дно (обычно остается на поверхности метанола одна капля). Далее для компенсации потерь углеводородов спускают в приемник из колонки такое число капель, какое оставалось на поверхности метанола, отсоединяют от колонки приемник, закрывают его пробкой и после установления в течение 5—10 мин. постоянного уровня в нем записывают объем жидкости.

Перед началом анализа для каждой партии силикагеля определяется величина потерь на адсорбенте. Для этого берется 1 мл чистого углеводорода и заливается в колонку с 5 г силикагеля, как это указано выше. Вытеснение углеводородов ведется так, как и в рабочем опыте, этиловым спиртом. Конец выхода из колонки углеводородов и начало появления вытеснителя (спирта) фиксируются, как обычно, по поведению окрашенных капель в стаканчике с метанолом. Разность между количеством взятого для анализа продукта и количеством вытесненных углеводородов в мерном приемнике составляет величину потерь на адсорбенте.

По данной прописи анализа было определено содержание углеводородов во многих пробах гидрогенизатов метиловых эфиров карбоновых кислот С₇—С₉. Когда при разделении в фильтрате не обнаруживались углеводороды, с учетом поправки на потери, содержание углеводородов в пробе аттестовалось, как «менее 1,8%».

В табл. 2 приведены данные анализа шести проб гидрогенизатов с

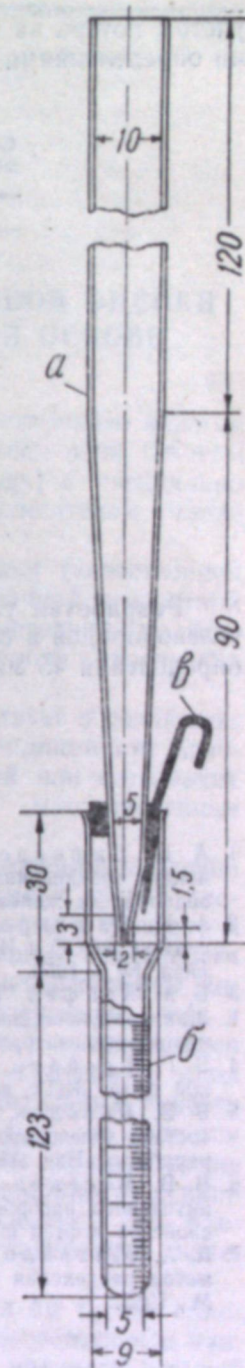


Рис. 1. Прибор для адсорбционного анализа.

учетом потерь на адсорбенте. Расхождение между двумя параллельными определениями колебалось от 0,0 до 1,0%.

Таблица 2

Содержание углеводов в гидрогенизатах метиловых эфиров карбоновых кислот $C_7 - C_9$

Углеводы, об. %			Расхождение между двумя параллельными определениями, абс. %
1	2	средн.	
5,6	6,6	6,1	1,0
10,4	10,6	10,5	0,2
14,1	14,6	14,4	0,5
18,6	19,1	18,9	0,5
38,1	38,1	38,1	0,0
43,1	43,1	43,1	0,0

Выводы

Разработан ускоренный хроматографический метод определения углеводов в смесях со спиртами до C_9 . Продолжительность одного определения 45 мин.

Поступила в редакцию
3/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Башкиров, М. И. Хотимская, Н. А. Орлова, О кислородсодержащих соединениях, образующихся при синтезе углеводов из окиси углерода и водорода на железном катализаторе. ДАН СССР, т. 106, № 1, 1956.
2. А. Н. Башкиров, С. М. Локтев, М. И. Хотимская, Состав продуктов синтеза из CO и H_2 над кизельгуровыми катализаторами. Химия и технология топлива, № 5, 1956.
3. Б. М. Хейфец, Н. В. Миловидова, И. Б. Раппопорт, Состав и свойства продуктов синтеза, полученных из окиси углеводорода и водорода над железными катализаторами. Химия и технология топлива, № 2, 1956.
4. Б. Г. Фрейдин, К кинетике окислительного превращения углеводов в жидкой фазе. ЖПХ, вып. 6, 1958.
5. В. В. Веселов, К вопросу об определении адсорбционным методом группового состава углеводородных смесей. Сб. Иссл. черемх. углей и продуктов их хим. переработки, Изд. АН СССР, М., 1955.
6. В. В. Веселов, Некоторые пути ускорения и повышения эффективности вытеснительного адсорбционного метода анализа углеводородных смесей. Сб. Состав и свойства нефтей и бензино-керосиновых фракций. Изд. АН СССР, М., 1957.
7. Е. А. Михайлова, Б. А. Казанский, Адсорбционный хроматографический метод разделения углеводов, Сб. Иссл. в обл. хроматографии. Изд. АН СССР, М., 1952.

Н. Ф. ТЮМЕНЦЕВ

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИКИ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВ НА ГЕНЕТИКО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОСНОВЕ

В последние годы в нашей стране развернулись чрезвычайно важные для сельскохозяйственной практики работы по бонитировке почв. Об этом свидетельствуют опубликованные материалы [1—5 и др.] и специально поставленные на обсуждение доклады на Первом делегатском съезде почвоведов в мае 1958 г.

Одним из главных вопросов правильной бонитировки (качественной оценки) почв является разработка достаточно обоснованной и понятной методики. В нашей стране еще нет общепризнанной методики, но возникли некоторые разновидности ее, что говорит о периоде творческих исканий в этом направлении.

Прежний опыт бонитировки почв [6, 7] свидетельствует о различных способах решения вопроса. Одни признают главным индикатором качественных особенностей почв только урожайность одной или нескольких культур, другие — морфологические признаки, третьи — многочисленные данные о химизме почвы.

Мы считаем наиболее удачным выразителем качественного различия почв совокупность морфологических признаков, химизма и уровня плодородия по величине урожаев. Содержание гумуса, азота и фосфора в слое определенной мощности как раз и выражает главные особенности самой почвы. С содержанием гумуса связываются основные черты химизма и разнообразных физических свойств почвы. Содержание азота и фосфора определяет уровень обеспеченности главными питательными веществами и долговечность плодородия. Мощность гумусового слоя отражает представление о сосредоточении гумуса и питательных веществ в корнеобитаемом слое. Содержание этих веществ к тому же является функцией почвообразования и в основных чертах дает представление о типичности почвы. При таком положении нет надобности всякий раз принимать в расчет многие другие признаки, поскольку они входят в самое понятие типа, подтипа или другой типологической категории.

Выражая запасы гумуса, азота, фосфора (или хотя бы только одного гумуса) в $t/га$, мы находим количественную меру качественного различия сравниваемых почв. Определение этой меры является основой метода качественной оценки, или бонитировки почв на генетической основе. При этом не исключается принятие в расчет некоторых специфических свойств почвы, по которым они могут существенно отличаться от своих типичных представителей.

Ниже разъясняются сущность и детали метода и применение его в практике качественной оценки почвы.

Вся совокупность приемов, принятых нами при бонитировке почв колхозов Томской области, основывается на следующих положениях. Качественная оценка почв является логическим завершением почвенных

обследований, а показатель, выражающий ее,— объективной мерой сравнения местных условий различных территорий.

Качественная оценка почв колхозов Томской области включала следующие элементы работы:

- установление номенклатуры почв на основе многолетних полевых обследований и камерального изучения;
- выявление среднетипичных почвенных разновидностей;
- определение степени различия этих почв;
- проведение агропроизводственной группировки почв по хозяйствам и районам;
- определение доступности территории в целом в зависимости от характера рельефа и контурности для сельскохозяйственного использования;

е) отнесение земель хозяйств к той или иной категории по состоянию местных природных условий.

В результате было установлено наличие выщелоченных и оподзоленных черноземов, черноземно-луговых, серых, лесных, дерново-подзолистых и подзолистых почв, дерново-луговых (аллювиально-дерновых) почв пойм рек, разновидностей болотных почв и переходных почв от болотных к подзолистым, серым лесным и черноземно-луговым. Этот перечень еще больше усложнялся различием в механическом, составе, в степени выраженности почвообразования, в окультуренности, мощности перегнойного горизонта и т. д.

Из списка почв были выделены характерные среднетипичные по морфологическим признакам и химизму подтипы почв суглинистого механического состава: выщелоченные черноземы, темно-серые и светло-серые лесные почвы, дерново-подзолистые почвы, достаточно хорошо изученные и описанные К. А. Кузнецовым [8], К. П. Горшениным [9] и другими авторами.

В результате морфологического изучения и химического анализа собранных в районах Томской области образцов Е. М. Непряхиным [10] было вычислено содержание гумуса, азота и фосфора в почвах в тоннах на гектар с учетом объемного веса.

По этим же признакам подзолистые почвы охарактеризованы для Томской области [11] и в дополнение к этому для Васисского сортоучастка (по запасам гумуса [9]), расположенного в 60 км от границ Томской области в пределах одной подзоны.

Подзолистые почвы Нарыма по своим свойствам не отличаются от аналогичных почв соседнего Васисского района Омской области.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что только светло-серая почва выходит за пределы закономерности по запасу фосфора, которого в слое 0—100 см больше, чем в этом слое всех других почв. Это обстоятельство связано с повышенным содержанием фосфора в горизонте В.

Выразив приведенные в табл. 1 показатели в процентах от выщелоченного чернозема и взяв средние арифметические из данных по гумусу, азоту и фосфору, получим следующие относительные величины (табл. 2).

Эти средние проценты и были затем приняты за исходные данные для вычисления оценочных баллов каждой из перечисленных разновидностей почв. Полученные данные отражают общие представления об уровне плодородия названных почв. Сомнение вызывает лишь темно-серая лесная почва: полученный для нее средний процент характеризует ее как почву более высокого уровня плодородия, чем чернозем выще-

Таблица 1
Содержание гумуса, азота и фосфора в почвах разных типов, т/га

Почвы	Гумус в слое, см			Азот в слое, см			Фосфор в слое, см		
	0—100	0—50	0—20	0—100	0—50	0—20	0—100	0—50	0—20
Выщелоченный чернозем	471,3	374,3	179,6	24,5	18,7	9,0	12,7	7,8	3,3
Темно-серая лесная	505,8	429,2	190,5	28,8	23,7	10,3	12,4	7,9	3,6
Серая лесная	321,0	262,0	154,9	19,1	14,2	8,2	10,4	6,4	3,5
Светло-серая лесная	253,2	203,1	119,1	15,2	12,1	6,3	13,1	7,6	3,5
Дерново-подзолистая	157,8	112,0	60,9	11,2	7,0	3,4	10,3	5,2	2,3
Подзолистая	125,0	78,0	45,2	7,8	4,5	2,4	5,0	3,5	1,8

Таблица 2
Относительное содержание запаса гумуса, азота и фосфора в % от выщелоченного чернозема

Почвы	В слое, см			В среднем из трех слоев
	0—100	0—50	0—20	
Выщелоченный чернозем	100	100	100	100
Темно-серая лесная	108	110	110	109
Серая лесная	76	72	95	81
Светло-серая лесная	84	74	81	79
Дерново-подзолистая	53	48	47	49
Подзолистая	36	30	32	33

лоченный. Следует пояснить, почему за исходную величину было принято среднее арифметическое из трех мощностей. Основная масса корней культурных растений распространяется в слое 0—20 см, но многие из них проникают до глубины 50 см, а некоторые и глубже 100 см, используя отсюда запасы влаги и некоторых питательных веществ. Если основываться только на запасах слоя 0—20 см, то не будет отражена роль нижних слоев почв, если же взять запас только для одной из двух других мощностей, то нивелируется особое значение слоя 0—20 см, играющего главную роль в жизни почвы и растений. Применяемый способ исчисления позволяет выявить особое значение верхнего слоя почвы.

Принимая за меру сравнения выщелоченный чернозем, мы основывались на признании устойчивого высокого уровня плодородия этой почвы. Кроме того, и по предварительной шкале, разработанной Почвенным институтом АН СССР, СОПС и ВНИИЭСХ, выщелоченным черноземам Западной и Восточной Сибири присвоен балл 100—110 [4].

Принятый нами за эталон средний выщелоченный чернозем Кожениковского района характеризуется следующими свойствами (табл. 3).

Соответственные данные получены и для других разновидностей почв при разработке сравнительной оценки.

Большую трудность представила оценка других почв. На предварительном этапе для аллювиально-дерновых почв поймы мы приняли

Таблица 3

Свойства выщелоченного чернозема

Горизонт, см	Глубина взятия образца, см	Валовое содержание, %			Объемный вес	Процент частиц менее 0,01 мм
		гумус	азот	фосфор		
A _п , 0-23	0-15	9,76	0,49	0,179	0,92	52,7
A, 23-38	24-34	7,50	0,38	0,160	1,0	55,8
AB, 38-50	40-50	4,11	0,20	0,120	1,1	58,1
B ₁ , 50-70	55-60	2,52	0,14	0,092	1,2	59,3
B ₂ , 70-80	70-80	1,09	0,07	0,074	1,2	60,7
BC, 80-100	90-100	0,90	0,06	0,070	1,3	61,3

относительную оценку — 73%, основываясь на расчетах, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика аллювиально-дерновых почв поймы Оби

Район	Число	Гумуса в слое, см			Азота в слое, см			Среднее
		0-20	0-50	0-100	0-20	0-50	0-100	
В т/га								
Шегарский	1	157	217	317	8,6	18,7	27,7	
Колпашевский	5	127	248	316	—	—	—	
Парабельский	3	—	238	—	—	—	—	
В % от выщелоченного чернозема								
Шегарский		87	58	67	93	100	113	86
Колпашевский		70	66	67	—	—	—	68
Парабельский		—	64	—	—	—	—	64
В среднем								73

Еще большую сложность представило проведение качественной оценки болотных почв из-за очень плохой изученности их в пределах Томской области. Основываясь на некоторых данных анализов низинных торфяников, а также на общеизвестном признании высокого уровня плодородия осушенных торфяно-болотных почв в СССР и за рубежом [12], мы оцениваем эти почвы так же высоко, как и выщелоченные черноземы, т. е. баллом 100.

Для уточнения качественных особенностей рассматриваемых почв были привлечены данные об урожаях яровой пшеницы в полевых опытах, проведенных еще в довоенные годы на опорных пунктах Томской зональной станции на различных почвах [13], приняты в расчет урожай всех зерновых культур в среднем за 1954—1956 гг. и отдельно озимой ржи за два года по зонам МТС с интересующими нас почвами.

Признавая важнейшим фактором почвообразования растительность, мы можем оценивать ее состояние, характер развития и урожайность как выразитель биологических свойств почвы, подобно тому, как характеризуют эти свойства по численности и составу микрофлоры и запасам корней. При таком положении урожайность как количественный показатель биологического свойства должна органически входить в оценку почв.

Приведем данные об относительной урожайности зерновых культур (табл. 5 и 6).

Таблица 5

Урожай зерновых культур в % в среднем за 1954—1956 гг. по зонам МТС с типичными почвами

Почвы	Зоны МТС	Урожай, %
Выщелоченные черноземы Темно-серые лесные Серые лесные	Вороновская, Уртамская	100
	Баткатская, Ювалинская, Поросинская	98
	Томская, Турунтаевская, Асиновская, Гусевская, Зырянская	74
Светло-серые лесные	Пудинская	67
Дерново-подзолистые	Парабельская	62
Подзолистые	Районы: Александровский и Верхнекетский	43

Таблица 6

Урожай озимой ржи по МТС с типичными почвами (за 1954 и 1956 гг. в среднем)

Почвы	Зоны МТС	Урожай, %
Выщелоченные черноземы Темно-серые лесные Серые лесные	Вороновская, Уртамская	100
	Баткатская, Поросинская	92
	Томская, Турунтаевская, Гусевская	75
Светло-серые лесные	Пудинская	60
Дерново-подзолистые	Парабельская	49

Обобщая результаты оценки почв по их внутренним свойствам (см. табл. 2) и по урожайности (см. табл. 5 и 6), получим следующие величины, выражающие их относительную ценность (табл. 7).

Таблица 7

Сравнительная оценка почв по сумме признаков

Почвы	По свойствам почвы	По урожаю зерна			Средний процент (балл) Б
		яровой пшеницы в опытах	всех зерновых	озимой ржи	
Выщелоченные черноземы	100	100	100	100	100
Темно-серые	109	95	98	92	99
Серые	81	83	74	75	78
Светло-серые	79	61	67	60	67
Дерново-подзолистые	49	48	62	49	52
Подзолистые	33	—	43	—	38

Из табл. 7 видно, что при любом способе исчисления порядок расположения почв по их качеству неизменно остается одним и тем же, кроме почв темно-серых. Учет данных по урожайности позволил более отчетливо выразить ступенчатость в различии между почвами.

Эти расчеты и послужили основанием для установления исходных оценочных баллов (Б) для шести основных разновидностей почв первой агропроизводственной группы. На этой основе затем была произведена хозяйственная оценка различных почв всех колхозов Томской области, где завершены почвенные обследования.

Мы понимаем, что выведенные баллы нуждаются в уточнении, это в дальнейшем и должно производиться, однако, в настоящее время при неотложной необходимости иметь хотя бы приближенную основу они удовлетворяют практическим требованиям оценочных работ. Ниже приводим основную оценочную шкалу.

Основная оценочная шкала типичных суглинистых почв

Почвы	Оценочный балл B
1-я группа (всестороннего хозяйственного значения)	
Выщелоченный чернозем	100
Темно-серая лесная	99
Серая лесная	78
Светло-серая лесная	67
Дерново-подзолистая	52
Подзолистая	38
2-я группа (преимущественно кормового значения)	
Аллювиально-дерновые	73
3-я группа (мелиоративного фонда)	
Осушенные торфяно-болотные	100
Осушенные перегнойно-болотные	100

Таким образом, в основе построения этой шкалы лежат в равной мере как генетические, так и производственные свойства почв. Это и дает основание назвать предлагаемый метод оценки почв генетико-производственным.

Приведенная шкала является только основой оценки почв, так как она построена применительно к типичным разновидностям с суглинистым механическим составом. В действительности в природе встречается много отклонений от почв, принятых за типичные: отклонения по механическому составу, мощности гумусового и других горизонтов, по культурному состоянию и другим признакам. Их нельзя не принимать в расчет при проведении оценочных работ. Это вызывает необходимость вводить коррективы и поправки.

Введение поправок на отклонение от типичности основывается на том, что каждое специфическое свойство индивидуальной почвы по-своему отражается на запасе гумуса и питательных веществ, на урожайности и на податливости почвы для обработки, окультуривания и произрастания растений. Среди этих внутренних свойств мы выделяем механический состав, мощность гумусового слоя, увлажнение, заболоченность и окультуренность. Приводим шкалу поправок на эти свойства почвы, а затем дадим обоснование принятым коэффициентам.

Шкала поправок на внутренние свойства почвы

Свойства почвы	Коэффициент поправки K_B
Механический состав	
Супесчаный	0,9
Тяжелосуглинистый	0,9
Мощность пахотного гумусового слоя	
Маломощные — менее 16 см (ср. 14)	0,7
Среднемощные — 16—18 см (ср. 17)	0,8
Нормальные — более 18 см (ср. 20)	1,0

Свойства почвы	Коэффициент поправки K_B
Заболоченность	
Сильная (почва мокрая торфяная)	0,1
Повышенная, в виде оглеения и выхода грунтовых вод на глубине 50—75 см	0,6
Средняя, в виде оглеения нижних горизонтов почвы — С и В и выхода грунтовых вод на глубине 75—100 см	0,7
Слабая, в виде оглеения нижнего горизонта С и выхода грунтовых вод ниже 100 см	0,8
Окультуренность	
Почвы мягкой пашни давно освоенных земель	1,0
Целинные почвы под лесами	1,0
Почвы освоенных травопольных севооборотов	1,1
Почвы освоенных севооборотов и правильных систем удобрения	1,3
Почвы удобряемых огородов, садов и прифермских севооборотов	1,9

Вполне возможно, что для одной почвы придется принимать несколько поправок. Например, имея тяжелосуглинистую светло-серую лесную почву с мощностью гумусового горизонта 17 см с полей освоенных травопольных севооборотов и системы удобрений, мы должны принять поправочный коэффициент 0,94. Он будет производным из частных поправок на тяжелый механический состав — 0,9, на мощность гумусового слоя — 0,8 и на окультуренность — 1,3. Произведение этих трех величин и дает число 0,94, или K_B — коэффициент поправки на внутренние свойства почвы. На этот коэффициент и следует умножить исходный балл основной шкалы для светло-серой типичной почвы: $B \times K_B = B_1$, получим балл исчислений.

Учитывая многостороннее влияние механического состава на плодородие и технологические свойства почвы, мы рассчитали поправочные коэффициенты, исходя из следующих оснований. По данным В. П. Горячкина, сопротивление тягловому усилию в зависимости от механического состава выражается следующими величинами (kg на $1 cm^2$): для песчаных почв — 0,3, среднесуглинистых — 0,5, тяжелосуглинистых — 0,6. По сокращению затрат на обработку эти данные трансформируются в такие относительные величины: для песчаных почв — 1,7, для среднесуглинистых (а также тяжелосуглинистых черноземных) — 1,0, для тяжелосуглинистых (и для глинистых черноземных) — 0,8. Положение супесчаных почв между песчаными и суглинистыми позволяет определить сокращение затрат на обработку из среднего арифметического между 1,7 и 1,0, что дает число 1,35. Но при легкости обработки супесчаные почвы всегда отличаются меньшим запасом питательных веществ и гумуса, менее благоприятным водным режимом. Сравнительная обеспеченность супесчаных почв питательными веществами, по данным К. П. Горшенина [9], для различного механического состава северных районов Западной Сибири выразится коэффициентом 0,4. Тогда коэффициент поправки на всю совокупность свойств, обусловленных механическим составом, выразится как среднее арифметическое $(1,35 + 0,4) : 2 = 0,875$, или округленно 0,9. Конечно, более глубокое обоснование коэффициента поправки требует проведения специальных исследований. Но для практических целей наше обоснование поправки, близкое к исчислениям Н. А. Качинского [14], может быть принято.

Аналогичным образом рассчитан коэффициент поправки на тяже-

лосуглинистый механический состав. При повышенном сопротивлении тягловому усилию эти почвы при прочих равных условиях обладают повышенным запасом питательных веществ и характеризуются лучшей водообеспеченностью. Сравнение однотипных почв с разным механическим составом, по сводке К. П. Горшенина, показывает, что запасы питательных веществ в тяжелосуглинистой почве в среднем на 12% выше, чем в среднесуглинистой. Выражая это различие для тяжелосуглинистой почвы по отношению к среднесуглинистой коэффициентом 1,1 и принимая в расчет приведенный выше коэффициент по сокращению затрат на обработку — 0,8, получим среднее арифметическое $(1,1 + 0,8) : 2 = 0,95$, или округленно 0,9.

Поправки на различие в мощности пахотного слоя приняты из следующих соображений. Принимая за норму мощности пахотного (гумусового) слоя почвы 20 см, коэффициент поправки для маломощной почвы (при средней мощности 14 см) определим как $14 : 20 = 0,7$, для среднеспособной (при средней мощности 17 см) — как $17 : 20 = 0,8$. Понятно, что при детальном оценочных работах могут быть установлены более дробные коэффициенты поправок. Однако увлекаться этим не следует, так как самый тип почв уже в известной мере отражает и роль мощности гумусового горизонта по основной шкале.

Поправки на заболоченность построены приближенно. Почвы высшей степени заболоченности при коэффициенте поправки 0,1 полагалось бы зачислить в разряд абсолютных неудобий и исключить из учета. Но ведь со временем и эти почвы будут мелиорированы и вовлечены в продуктивные угодья.

Коэффициенты для повышенного, среднего и слабого заболочивания основаны на том, что с повышением уровня грунтовых вод ухудшается тепловой и пищевой режим почвы, а это приводит к ослаблению развития растений и снижению урожая.

Поправки на окультуренность нужно вводить потому, что этот фактор с каждым годом приобретает возрастающее значение. Практически повышение плодородия почвы путем окультуривания не ограничено. Из всех степеней окультуривания мы берем лишь те три, которые приведены в шкале поправок на внутренние свойства почвы.

Исходя из наблюдений за повышением плодородия почвы, в многолетних опытах Томской опытной станции установлены примерные коэффициенты поправок на окультуренность по соотношению урожайности культур за период трех ротаций севооборота.

Наличие основной и дополнительной шкал позволяет произвести качественную оценку почв обследованной территории. Одновременно нужно производить и агропроизводственную группировку их. Покажем опыт выполнения той и другой работы на примере колхоза «Сибирь» Кожевниковского района (табл. 8).

В колхозе севооборот не освоен. По хозяйственному значению почвы колхоза объединяются в следующие три группы: 1-я — почвы всестороннего хозяйственного использования — от выщелоченных черноземов до светло-серых лесных; 2-я — почвы кормового назначения — аллювиально-дерновые (пойменные) и 3-я — почвы мелиоративного фонда — торфяно- и перегнойно-болотные.

Рельеф местности в колхозе почти равнинный, средний размер контура пашни в пределах 8—4,6 га.

Казалось бы, что исчислением B_k можно завершить качественную оценку почв, но в таком виде этот показатель еще не отражает полноты местных условий, влияющих на продуктивность сельского хозяйства. Для механизированного крупного хозяйства большое значение имеют

Таблица 8
Качественная оценка почв колхоза «Сибирь» Кожевниковского района

Агропроизводственные группы и разновидности почв	Площадь, га	Отличительные свойства	Балл исчислений, B_i	Всего баллов
<i>1-я гр. — почвы всестороннего хозяйственного использования</i>				
Черноземы выщелоченные	1263	глинистые	90	113 670
Темно-серые лесные	6206	тяжелосуглинистые	89	552 334
Серые лесные	2411	»	70	168 770
Светло-серые	85	»	60	5 100
<i>2-я гр. — почвы животноводческих угодий</i>				
Аллювиально-дерновые (пойменные)	2507	слабозаболоченные	66	165 462
<i>3-я гр. — почвы мелиоративного фонда</i>				
Торфяно-болотные	418	мокрые	10	4 180
Перегнойно-болотные	2160	»	10	21 600
Итого	15 050			1 031 116

Средний балл в расчете на площадь общую 68 (B_k)
Средний балл в расчете на площадь без 3-й гр. почв 81 (B_k)

пространственное расположение территорий, доступность отдельных участков для всех видов машин и орудий. Для равнинных и безлесных территорий это обстоятельство не имеет значения, но для местностей со сложным рельефом, с заболоченностью и залесенностью учитывать его необходимо.

Эти факторы мы объединяем в понятие «местные природные внутрихозяйственные условия». Конкретным выразителем их будут являться рельеф и контурность. Основываясь на обобщенных наблюдениях производственников [15] и на данных статистического учета [16], мы приняли еще одну шкалу поправок для учета этих условий (табл. 9).

Таблица 9

Шкала поправок на местные природные внутрихозяйственные условия

Элементы местных природных внутрихозяйственных условий	Группа сложности местных условий	Коэффициент поправки K_m
Контурность		
Размеры контура угодий в среднем более 8 га	1	1,0
» от 8 до 4,6 га	2	0,9
» менее 4,6 га	3	0,8
Рельеф		
Равнинный и близкий к нему	1	1,0
Пересеченный, затрудняющий использование техники, но преодолимый для тракторов с орудиями и машинами на малых скоростях	2	0,9
Пересеченный, вынуждающий делать объезды	3	0,8

Обоснованием для установления этих коэффициентов послужили расчеты производительности тракторов и комбайнов за 1954—1956 гг.

в зонах МТС с различным рельефом и различной контурностью (табл. 10).

Таблица 10

Обоснование шкалы поправок на местные природные условия

Группа сложности местных условий	Число МТС	Выработка за сезон в расчете на один				Среднее значение, %	Коэффициент поправки
		трактор 15-С		комбайн С-6			
		га	%	га	%		
<i>Поправка на контурность</i>							
1	5	558	100	311,5	100	100	1,0
2	14	475	85	288	92	88,5	0,9
3	7	452	81	263	81	81	0,8
<i>Поправка на рельеф местности</i>							
1	2	536	100	306	100	100	1,0
2	14	505	94	288	94	94	0,9
3	5	419	78	241	79	78,5	0,8

Поправки на контурность большей частью будут иметь временное значение. Увеличение размеров полей путем раскорчевки лесов и осушения болот, улучшение конфигурации контуров являются конкретными мерами улучшения местных условий.

Поправка на K_m позволит определить окончательный оценочный балл. Привлечение коэффициента K_m позволяет говорить не просто о качественной оценке почв, а о хозяйственной оценке местных условий в целом — почв, рельефа, контурности.

Продолжая качественную оценку местных условий колхоза «Сибирь», мы должны умножить полученные в табл. 8 баллы B_k на соответствующий коэффициент поправки на местные условия — K_m . Поскольку в колхозе группа сложности рельефа 1-я (равнина), а группа сложности контурности — 2-я, то коэффициент поправки на рельеф будет равен 1, а на контурность — 0,9. Произведение их и даст величину $K_m = 0,9$. Умножая полученный ранее балл 81 (табл. 8) на 0,9 (K_m) будем иметь $B_o = 73$. Это и есть окончательный оценочный балл в расчете на 1 га (без болот). Все расчеты по бонитировке можно свести к формуле:

$$B_o = \frac{(B_1 P_1 + B_2 P_2 \dots B_n P_n) \cdot K_m}{P}$$

где B_o — окончательный бонитировочный балл определенной территории,

B_i — исчисленный оценочный балл для каждой почвы ($B_i \cdot K_m$),

P_i — площадь каждой разновидности почв в га,

P — общая площадь землепользования,

K_m — коэффициент поправки на местные внутрихозяйственные условия.

Вся работа по качественной оценке завершается обобщением оценок отдельных хозяйств по всему району или области и отнесением их к определенной категории. В зависимости от значения балла приняты следующие категории:

Категория I — 100—91 балл	Категория VI — 50—40 балл.
» II — 90—81 »	» VII — 40—31 »
» III — 80—71 »	» VIII — 30—21 »
» IV — 70—61 »	» IX — 20—11 »
» V — 60—51 »	» X < 10 »

По этим данным составляется районная или областная карта местных условий колхозов и совхозов, которая и используется в качестве оперативного документа в сельскохозяйственных органах.

При подготовленных исходных данных о площадях почв и их свойствах, сведениях о рельефе и контурности вся работа по бонитировке почв хозяйства легко выполнима в процессе составления очерка-отчета о почвенном обследовании.

К качественной оценке почв следует приступить после выполнения всех анализов, составления морфологических таблиц и почвенных карт. К этому же времени должны быть подготовлены сведения о контурности и характере рельефа. Материалы о контурности почвовед получает в отделе землеустройства, дополняя их своими наблюдениями в период полевых работ. Данные о рельефе нужно собирать во время полевого периода и систематизировать так, чтобы выявить группу сложности территории по характеру рельефа.

На основе описанной методики в Томской области произведена качественная оценка почв всех колхозов, где были завершены почвенные обследования.

Бонитировка почв предъявляет высокие требования к качеству полевых почвенных обследований и камеральных работ.

Приведенные шкалы не должны связывать работника в случае обнаружения такой разновидности почвы, которая не подходит к указанным выше. Тогда, используя приведенный метод определения исходного балла, можно произвести вычисление для любой новой почвы после химического анализа ее.

Выявленные в результате бонитировки различия местных условий между хозяйствами в пределах районов и между районами в пределах области определяют необходимость дифференцированного подхода к каждому из них в практике организационно-хозяйственного руководства и планирования развития сельского хозяйства, а также при построении системы хозяйства и системы земледелия.

Томский
государственный университет

Поступила в редакцию
20/VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Бривкали, Качественная оценка почв в Латвийской ССР. Удобрение и урожай, № 9, 1958.
2. Качественный учет и оценка земель. Сб. Вопросы географии, вып. 43, Географиздат, М., 1958.
3. М. Н. Малышкин, Опыт бонитировки почв Новосибирской области. Почвоведение, № 4, 1958.
4. С. С. Соболев, М. Н. Малышкин, Качественная оценка почв и земельных угодий. Земледелие, № 10, 1958.
5. С. Д. Черемушкин, Об экономической оценке земли. Всес. и. н. ин-т экономики сельского хозяйства, вып. 32, М., 1958.
6. В. В. Докучаев, Сочинения, т. IV, изд. АН СССР, М.—Л., 1950.
7. Н. М. Сибирцев, Избранные сочинения, т. I, 1951.
8. К. А. Кузнецов, Почвы юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. Тр. Томского гос. ун-та, т. 106, 1949.
9. К. П. Горшенин, Почвы южной части Сибири. Изд. АН СССР, М., 1955.
10. Е. М. Непряхин, Запасы гумуса, азота, фосфора и калия в почвах юга Томской области. Докл. VII научной конф. Томск. гос. ун-та, вып. 3, 1957.
11. М. К. Барышников, Осоково-глинистые болота западного Васюганья (Нарымский край). М., 1929.

12. Э. А. Митчерлих, Почвоведение. М., 1957.
13. Н. Ф. Тюменцев, Особенности удобрений почв в льноводстве деградированных суглинков Сибири. Тр. Томск. опытной станции, вып. 1, 1947.
14. Н. А. Качинский, Оценка основных физических свойств почв в агрономических целях и природного плодородия их по механическому составу. Почвоведение, № 5, 1958.
15. Краткий справочник по использованию тракторов и сельскохозяйственных машин в колхозах. Томск, 1958.
16. Народное хозяйство Томской области. Статистический сборник, 1957.

Е. В. ДОРОГОСТАЙСКАЯ

**О СМЕНАХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
В СВЯЗИ С ТЕРМОКАРСТОМ НА СЕВЕРЕ ЯКУТИИ**

В области вечной мерзлоты широко распространено явление, называемое термокарстом. Вызываемые им нарушения земной поверхности весьма сходны с карстовыми, но причина их иная. «Под термокарстом подразумеваются такие просадочные или провальные формы рельефа земной поверхности, которые возникают в результате нарушения термических условий грунтов участка, что в конечном итоге приводит к вытаиванию льда, заключенного в верхней части вечномерзлой толщи» ([1] стр. 289). Термокарстовые провалы могут быть очень небольшими (западины, блюдца, воронки) или же значительных размеров (провальные озера, ложбины, котловины). Термокарст нередко сочетается с явлениями оползней, ветровой и водной эрозии, что приводит к образованию весьма своеобразных форм рельефа. Одной из таких форм являются бугры-байджарахи, им и посвящена настоящая работа. Мы обследовали несколько участков побережья полуострова Быковского (устье Быковской протоки дельты р. Лена) с целью наблюдения за сменами растительности на байджарахах. Эти смены являются одним из примеров смен растительности на обнажающихся субстратах.

Полуостров Быковский расположен близ юго-западной оконечности дельты р. Лена, ограничивая с севера бухту Тикси. По А. И. Гусеву [2], территория полуострова входила некогда в область древней поймы Лены (или ее притока Кендэй), но впоследствии эта территория испытала некоторое поднятие и вышла из поемного режима. Полуостров сложен рыхлыми песчаными и глинистыми аллювиальными наносами, скованными мерзлотой и прикрытыми незначительным слоем торфа, достигающим сравнительно большой мощности лишь в депрессиях рельефа. Обширное приморское понижение к северо-востоку от Хараулахского хребта, в которое входит и Быковский полуостров, А. И. Гусев называет «областью мерзлотного рельефа». Для этой области характерны скопления ископаемого льда — мощные, очевидно, являющиеся фирнизированными снежниками в депрессиях рельефа, или погребенными наледями, менее мощные — ледяные прослойки, линзы и, наконец, та особая форма залегания ископаемого льда, которой большое внимание уделил А. И. Попов, назвав ее «клиновидно-решетчатой» [3], а позднее «трецинно-полигональной» [4]. По мнению А. И. Попова, образование этой формы льда неразрывно связано с двумя факторами: а) наличием взаимно-перпендикулярных морозных трещин грунта и б) прошлым поемным режимом территории, обусловившим периодическое расширение этих трещин и накопление в них льда. Имея клиновидные очертания на поперечных разрезах трещин, в плане это скопление льда представляет собой решетку, в более или менее прямоугольных клетках которой находятся, как бы зажатые во льду земляные блоки [3]. В случае вытаива-

ния льда эти блоки неминуемо должны обособиться в виде земляных столбов или конусов.

Ископаемые льды встречаются на Быковском полуострове часто, по С. Г. Пархоменко [5], они даже составляют его существенную часть. Медленное поднятие морского побережья на севере Якутии и потепление климата ведут к таянию погребенных льдов, что в больших масштабах наблюдается и на Быковском полуострове. На всей береговой линии полуострова можно наблюдать признаки его интенсивного разрушения — осыпи, обвалившиеся глыбы торфа, обнажения массивов льда. Чрезвычайно широко развит здесь и процесс образования байджарахов, так что Быковский полуостров можно считать классическим объектом для изучения этого интересного явления.

По вопросу образования байджарахов все исследователи сходятся на том, что эта форма рельефа каким-то образом связана с процессом таяния ископаемого льда. Но о том, как именно проходит этот процесс, в литературе не было указаний до выхода в свет работы Б. А. Тихомирова [6]. Уделяя большое внимание байджарахам и в предыдущих работах [7—9], в последней Б. А. Тихомиров собрал воедино свои многочисленные полевые наблюдения и данные геоморфологов и создал четкую схему образования байджарахов путем деградации тетрагональных болот вследствие таяния льда в трещинах тетрагонов. Тетрагональные, или валиково-полигональные, болота являются той формой почвенно-растительного покрова, которая соответствует упомянутой выше трещинно-полигональной форме залегания ископаемого льда. Б. А. Тихомиров рассматривает все стадии, которые проходит тетрагональное болото с момента выхода из поемного режима до превращения его в скопление земляных бугров-байджарахов.

На Быковском полуострове небольшие участки типичных тетрагональных болот сохранились лишь в центральной его части, сравнительно низкой, богатой озерами и лагунами. Большая часть полуострова относится ко второй, древней речной террасе и представляет собой слегка наклоненную к югу равнину, возвышающуюся над уровнем моря на 8—10 м. Тетрагональные болота, широко распространенные здесь в прошлом, к настоящему времени подверглись значительной деградации и находятся на стадии плоскобугристого болота с сильно обводненными мочажинами ([6], фиг. 9, профиль 3 и 4 сверху). Такое болото является исходным комплексом для образования байджарахов на Быковском полуострове. Понятно, что на обширной плоской равнине со сплошным моховым и торфяным покровом изменения рельефа, связанные с таянием ископаемого льда, могут идти лишь очень медленно, мало заметно для человеческого глаза. В прибрежной же части полуострова процесс термокарстовой деградации тетрагональных болот чрезвычайно ускоряется вследствие водной эрозии, деятельность которой здесь очень интенсивна в связи с понижением базиса эрозии (поднятие суши). В сочетании с действием морского прилива термокарст и эрозия быстро разрушают берега полуострова. Текущая вода ускоряет процесс таяния льда и углубления сети ложбин между повышениями бугристо-мочажинного комплекса. Низкие торфяно-землистые бугры, вытаявая, дают ряды сравнительно высоких конусовидных байджарахов, рыхлый землянистый субстрат которых очень легко разрушается действием различных гидрологических и климатических факторов. Байджарахи образуются и на внутреннем побережье полуострова — по берегам лагун и озер. Многочисленные ложки и овраги, выходящие к берегам, имеют направление одной из осей тетрагональной системы, тогда как по другой оси идет отщепление рядов байджарахов, параллельных друг другу и бере-

гу. Проанализировав изменение строения и растительности оврага, впадающего в одну из лагун, на всем его протяжении от вершины к основанию, мы получили картину, по всей видимости, очень сходную с процессом, происходящим во времени — переходом бугристо-мочажинного болота в ряды конусообразных земляных бугров (рис. 1).

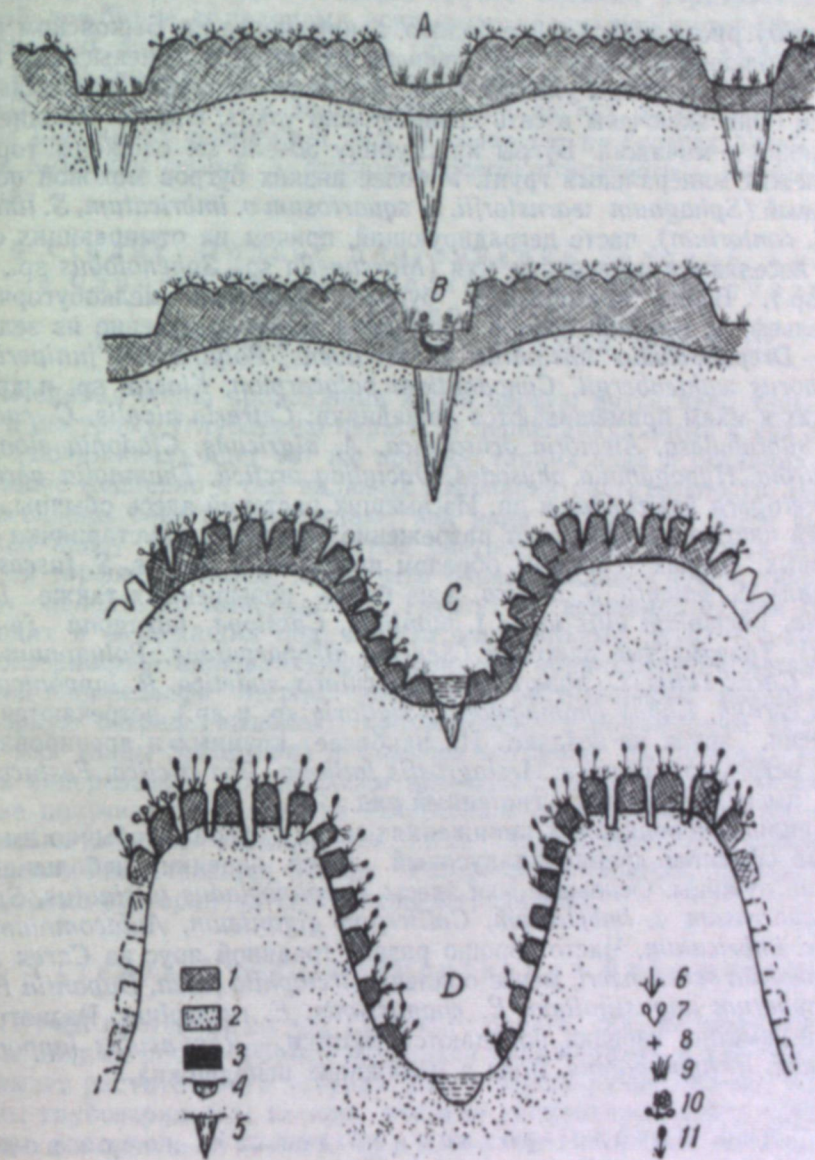


Рис. 1. Схема образования байджарахов на Быковском полуострове (поперечные разрезы оврага) и смены растительности на них.

1 — торф, 2 — минеральный грунт, 3 — лед, 4 — ручей, 5 — лед, 6 — тундровые кустарнички (*Dryas punctata*, *Vaccinium vitis idaea*), 7 — стелющиеся ивы (*Salix polaris*, *S. fuscensens*, *S. reptans*, *S. pulchra*, *S. arctica*), 8 — *Cassiope tetragona*, 9 — пушицы и осока (*Eriophorum scheuchzeri*, *E. chamissonis*, *E. angustifolium*, *Carex stans*), 10 — калужница (*Caltha palustris*), 11 — злаки (*Alopecurus borealis*, *Deschampsia borealis*, *Arctagrostis latifolia*, *Poa alpigena*, *Calamagrostis groenlandica* и др.).

1 стадия. Относительный покой (очень медленная деградация тетрагонального болота под влиянием поднятия суши, без видимого участия водной эрозии) (рис. 1, А)

Это бугристо-мочажинное болото, занимающее на Быковском полуострове большие площади. Развившиеся из тетрагонов невысокие (20—30 см) и плоские бугры уже приняли округлые очертания при диаметре 5—15 м. Они включены в сеть сравнительно узких, сильно обводненных понижений — мочажин. Бугры на глубину 30—50 см сложены торфом, ниже лежит минеральный грунт. У более низких бугров моховой покров сфагновый (*Sphagnum warnstorffii*, *S. squarrosum* v. *imbricatum*, *S. fimbriatum*, *S. contortum*), часто деградирующий, причем на отмирающих сфагнумах поселяются печеночные мхи (*Marsipella* sp., *Sphenolobus* sp., *Lophozia* sp.). Более повышенным буграм свойствен мелкобугорчатый нанорельеф* и моховой покров, состоящий преимущественно из зеленых мхов — *Drepanocladus uncinatus*, *D. revolvens*, *Polytrichum juniperinum*, *Oncophorus wahlenbergii*, *Cynodontium polycarpum*, *Kiaeria* sp. и др. На бугорках к мхам примешиваются лишайники: *Cetraria nivalis*, *C. cucullata*, *C. subtubulesa*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Cladonia elongata*, *C. pleurota*, *Hypogymnia physodes*, *Dactylina arctica*, *Thamnolia vermicularis*, *Peltigera pezizoides* и др. Из высших растений здесь обычны, хотя большей частью произрастают разреженно, тундровые кустарнички — на сфагновых буграх главным образом ивы: *Salix polaris*, *S. fuscescens*, *S. reptans*, *S. pulchra*, *S. arctica*, а на более повышенных также *Dryas punctata*, *Vaccinium vitis idaea* f. *pumilum*, *Cassiope tetragona* (в ложбинках). Травянистые растения (*Senecio atropurpureus*, *Polygonum viviparum*, *Carex stans*, *C. hyperborea*, *Pedicularis sudetica*, *P. lapponica*, *Saxifraga cernua*, *Rubus chamaemorus*, *Stellaria* sp. и др.) встречаются спорадически, яруса не создают. На наиболее крупных и дренированных буграх встречаются злаки: *Arctagrostis latifolia*, *Poa arctica*, *Festuca brevifolia*, имеющие, однако, угнетенный вид.

В сильно обводненных понижениях между буграми обычно имеется мощный сфагново-дрепанокладусовый ковер, нередко небольшие, но глубокие лужицы. Основные мхи здесь: *Drepanocladus uncinatus*, *Sphagnum squarrosum* v. *imbricatum*, *Calliergon giganteum*, *Aulacomnium palustre* v. *imbricatum*. Часто хорошо развит травяной ярус из *Carex stans* и *Eriophorum scheuchzeri*, менее обильны *Arctophila fulva*, *Dupantia Fisheri*, *Eriophorum angustifolium*, *E. chamissonis*, *E. russeolum*. Разнотравье почти незаметно, изредка попадаются лютики — *Ranunculus lapponicus*, *R. pallasii*, *R. hyperboreus*. Вода в мочажинах неподвижна.

2 стадия. Начало эрозионной деятельности воды (рис. 1, В)

В центральной части мочажины у вершины оврага определился небольшой ток воды, в моховом ковре на дне этого «ручейка» отлагаются частицы ила, и дно начинает уплотняться. Особи пушицы здесь имеют меньшие размеры, чем в обычной мочажине, а вдоль ручейка обильно разрослась калужница (*Coltha arctica*). Мощность торфяно-иловатых отложений в мочажине 60 см, ниже — лед.

* Термин «нанорельеф» употребляется в понимании Л. Г. Раменского ([10], стр. 166), т. е. как слагающийся из элементов с горизонтальными размерами от 1 дм до 1 м и вертикальными от нескольких сантиметров до 0,5—1 м.

3 стадия. Соединение эрозии с термокарстом. Дренаж и растрескивание торфяного горизонта (рис. 1, С)

Размыв торф, ручей углубился до ледяного клина, что повело к быстрому таянию льда. Оседание грунта вызвало образование неглубокой ложбинки со склонами, покрытыми подсыхающим торфом. В торфе на склонах ложбинки появились глубокие трещины, но растительность еще не изменилась. Ручей имеет замоховелые, но уже довольно плотные берега. *Caltha arctica* и виды *Eriophorum* на них отсутствуют, а *Carex stans* принимает угнетенный вид. В травостое на берегах ручья появляются *Saxifraga cernua*, *S. foliolosa*, *Senecio atropurpureus*, *Nardosmia glacialis*.

4 стадия. Полное протаивание ледяной жилы в овраге. Обнажение минерального грунта. Таяние поперечных жил и образование байджарахов (рис. 1, D)

Ледяная жила, проходящая вдоль оврага, интенсивно тает, что ведет к быстрому углублению оврага. В перпендикулярных к ней ложбинках (мочажинах) идет тот же процесс таяния льда и оседания грунта, но более медленно и без видимых изменений растительности. В результате склоны оврага приобретают вид ряда бугров, все более выявляющихся книзу. На склонах бугров растрескивание субстрата ограничивается торфяным слоем, после чего образовавшиеся куски торфа начинают сползать по минеральному грунту. На вершинах бугров трещины заходят и в лежащий под торфом минеральный грунт — темно-серый грубозернистый аллювиальный песок, они образуются на местах понижений нанорельефа бугров, поэтому из растительного покрова здесь в первую очередь выпадают приуроченные к понижениям влаголюбивые мхи (виды *Sphagnum*) и *Cassiope tetragona*. На бугорках (повышениях нанорельефа) почти совсем исчезают лишайники, а в моховом покрове получает преобладание *Polytrichum juniperinum*. Все интенсивнее развиваются здесь злаки, в том числе *Calamagrostis groenlandica*, *Poa alpigena*. Увеличивается обилие *Polygonum viviparum*, *Luzula confusa*, тундровые кустарнички постепенно деградируют.

5 стадия. Конец формирования байджарахов

Ручей протекает по дну глубокого оврага, склоны которого образованы рядами почти сформировавшихся байджарахов, а дно практически не имеет растительного покрова. Дно и берега ручья лишены ила и сложены грубозернистым песком, местами сцементированным зеленым налетом водоросли (*Vaucheria* sp.) или мхом *Psilopilium cavifolium*. Этот мох распространен на подвижном субстрате в области образования байджарахов весьма широко, поэтому его цементирующая роль может иметь некоторое значение для закрепления байджарахов и осыпей. Одиночные экземпляры *Saxifraga foliolosa*, *S. nelso niana*, *Chryso-splenium alternifolium* встречаются иногда по берегам ручья. По всему оврагу неравномерно и беспорядочно рассеяны торфяные глыбы, сползшие с бугров, растительность их носит случайный характер — частично это растения, сохранившиеся от первоначальной растительности бугров исходного бугристо-мочажинного болота, частью вновь поселившиеся. Характерны лишь *Artemisia tilesii*, иногда дающая густую щетку молодых особей, да обильно спороносящий на торфе *Psilopilium cavifolium*.

Площадь вершин первоначальных бугров комплекса сократилась благодаря сползанию откалывающихся глыб грунта до размеров небольшой площадки (2—2,5 м в диаметре), сложенной несколькими столбообразными бугорками. Между кочками имеются трещины до 50 см глубиной при ширине 30—40 см, отвесные стенки которых в верхней части состоят из сухого торфа, а в нижней — из уплотненного влажного песка. Дно трещин плоское, голое или покрыто тонким ковром зеленых мхов (*Psilopilium cavifolium*, *Aulacomnium turgidum*, *Drepanocladus uncinatus*, *Mnium* sp., *Dicranum congestum*, *Distichium montanum*, *Dicranella subulata*, *Meesia triquetra*, *Plagiothecium* sp.), цветковые растения представлены лишь чахлыми одиночными экземплярами *Saxifraga cernua*, *S. foliolosa*, *S. nelsoniana* и *Cardamine bellidifolia*. На вершинах кочек, как и на сползающих глыбах грунта, пышно разрастаются злаки: *Arctagrostis latifolia* достигает здесь 60 см высоты, *Poa alpigena* — 40 см, *Deschampsia borealis* — 50 см. Дерновины злаков мощные, с большим количеством стеблей. Из тундровых кустарничков местами сохранились ивы и совсем угнетенная, едва заметная *Dryas punctata*; мхи и лишайники почти отсутствуют, сохранился лишь *Polytrichum juniprinum*, да кое-где на осохшем торфе появляются новые, сравнительно сухолюбивые мхи: *Ceratodon purpureus*, *Funaria hygrometrica*, *Timmia austriaca*, *Rhytidium rugosum*, *Distichium montanum*. В поперечных ложбинах между байджарахами процесс деградации растительности тундровых мочажин идет не так интенсивно, и ко времени полного формирования бугров остатки болотной растительности здесь еще присутствуют.

В некоторых случаях процесс сползания торфяного слоя идет до конца и байджарахи приобретает вид земляного конуса, но чаще бугры сохраняют форму усеченного конуса с основанием 5—7 м, вершиной 1—2 м в диаметре и высотой 3—5 м. Склоны бугров крутые, на большей части поверхности лишены растительности и, будучи сложены грубозернистым песком, подвержены осыпанию грунта при его высыхании или сплыванию — при сильном увлажнении. Тем не менее, некоторые тундровые виды не только произрастают здесь, но часто достигают больших размеров и обилия, чем на соседних местообитаниях. Способы приспособления этих видов к подвижному субстрату, на наш взгляд, могут быть различными. К первой группе относятся виды, которые дают прочную дернину или куст, сопротивляющиеся разрыву и сползающие по склону целиком. Это главным образом злаки: *Deschampsia borealis*, *Festuca brevisifolia* и полынь (*Artemisia tilesii*). Вторая группа — корнеотпрысковые и корневищные растения: *Alopecurus borealis*, *Poa alpigena*, *P. arctica*, *Festuca rubra*, *Parria nudicaulis* и др. Этим видам разрыв корневой системы при движении субстрата не только не вредит, но иногда способствует их размножению и расселению. И, наконец, третья группа объединяет виды с хорошим в данных условиях семенным возобновлением, всходы которых на байджарахах наблюдались нами неоднократно: *Cochlearia groenlandica*, *Papaver lapponicum*, *Senecio congestus*, *Descurainia sophioides*, *Artemisia tilesii*, *Cardamine bellidifolia*, *Gentiana tenella*, *Saxifraga caespitosa*.

Если разрушению морским прибоем и эрозией подвергаются участки, где ископаемый лед залегает глыбами неопределенной формы или совсем отсутствует, байджарахи не образуются и их заменяют обычные береговые оползни, на которых произрастают те же оползневые виды, что и на байджарахах. Особенно характерны для оползней *Artemisia tilesii* и *Senecio congestus*. Последний иногда дает крупные, издали заметные желтые куртины.

Срок развития отдельного байджараха, по-видимому, очень невелик

[6, 8] и исчисляется всего двумя-тремя десятками лет. Еще короче срок существования байджараха в его «классической» форме — в виде высокого и острого конуса. Осыпание и оплывание склонов, как правило, приводят к округлению формы байджараха, а затем к полному сравняванию его с поверхностью. Примеры такого медленного разрушения байджарахов под действием климатических факторов часто наблюдаются на внутренних берегах полуострова (рис. 2). Здесь невысокие «зачинающиеся» бугры сменяются по направлению к берегу остроконусовидными буграми, находящимися «в расцвете» своего развития, а еще

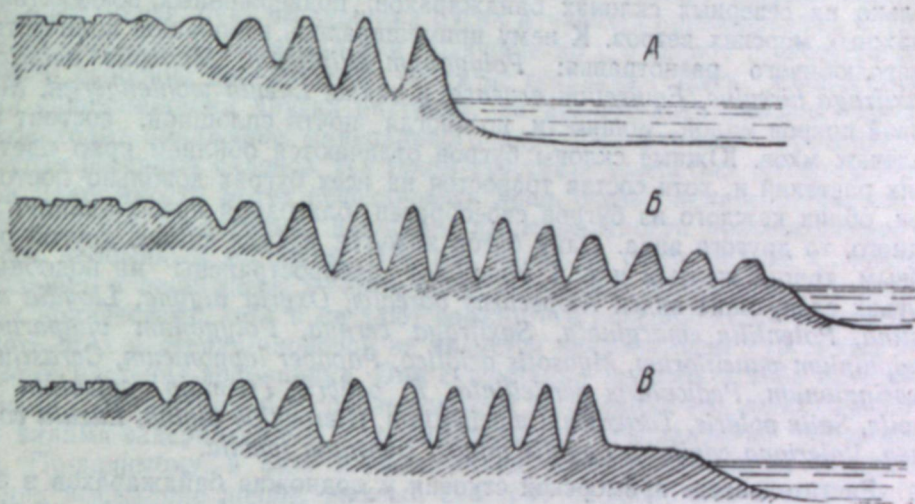


Рис. 2. Схема путей эволюции байджарахов на Быковском полуострове: А — на берегу залива Неелова, Б — на берегу лагуны в центре полуострова, В — на берегу моря Лаптевых (мыс Быков).

ближе к берегу они переходят в «деградирующие» куполообразные бугры, постепенно сравнивающиеся с приморским пляжем. На берегу залива Неелова (юго-западное побережье полуострова) наблюдается особенно интенсивное разрушение суши морским прибоем. Это, по-видимому, можно объяснить значительным повышением уровня воды в заливе в период весеннего половодья на р. Лена, так как в него впадает один из рукавов дельты Лены — Быковская протока. Здесь байджарахи местами просто не успевают образоваться, а там, где образуются, разрушаются прибоем так скоро, что одновременно могут существовать не более 1—3 рядов байджарахов.

В некоторых случаях растительность разрушающихся склонов байджарахов развивается достаточно быстро для того, чтобы закрепить своими корнями его поверхность и сохранить его характерную конусообразную форму. С таким явлением мы столкнулись на северо-восточном побережье Быкова мыса, обращенном к морю Лаптевых. Здесь нет сильно размывающих грунт ручьев, и процесс образования байджарахов очень замедлен. 5—6 рядов байджарахов сохраняют форму высоких, острых конусов. Прибой их не размывает, так как на этом берегу преобладает аккумулятивный процесс, образуются пляжи до 20 м шириной, нередко значительно уже (на 1—2 м), приподнятые над уровнем моря.

Склоны таких «стабилизовавшихся» байджарахов в какой-то мере задернованы, и виды, свойственные рыхлым, подвижным субстратам, упоминавшиеся выше, здесь практически отсутствуют. Особенно поразило нас полное отсутствие на обследованных участках побережья моря Лаптевых *Senecio congestus*, вида, широко распространенного по побе-

режью залива Неелова. *Cochlearia groenlandica*, *Descurainia sophioides* встречаются лишь случайно, единичными экземплярами. «Оползневые» злаки — *Deschampsia borealis*, *Arctagrostis latifolia*, *Calamagrostis groenlandica* и другие произрастают на вершинах тех бугров, где сохранились столбообразные кочки. И только *Alopecurus borealis*, весьма характерный и для подвижных склонов, здесь становится основным, часто доминирующим видом. Как в окрестностях Тикси и на Западном Таймыре [9], этот злак является здесь основным задернителем рыхлого субстрата. К моменту нашего посещения *Alopecurus* являлся доминирующим видом только на северных склонах байджарахов, подверженных воздействию влажных морских ветров. К нему примешивалось небольшое количество влаголюбивого разнотравья: *Polygonum ellipticum*, *Muosotis asiatica*, *Saxifraga hirculus*, *Equisetum arvense*, а также *Luzula wahlenbergii*. Моховой покров малой мощности, но иногда почти сплошной, состоит из зеленых мхов. Южные склоны бугров отличаются обилием ярко цветущих растений и, хотя состав травостоя на всех буграх довольно постоянен, облик каждого из бугров своеобразен, благодаря преобладанию то одного, то другого вида. Один бугор кажется издали синим, другой розовым, третий желтым и т. д. Наиболее распространены на подобных буграх следующие виды: *Alopecurus borealis*, *Oxyria digyna*, *Lloydia serotina*, *Potentilla emarginata*, *Saxifraga cernua*, *Polygonum viviparum*, *Delphinium pauciflorum*, *Myosotis asiatica*, *Papaver lapponicum*, *Cerastium beeringianum*, *Pedicularis verticillata*, *P. oederi*, *Trisetum spicatum* v. *molle*, *Salix polaris*, *Taraxacum macilentum*, *Hierochloe alpina*, *Luzula confusa*, *Valeriana capitata*, *Lagotis minor*, *Gentiana tenella*.

Растительность приморской ступени у подножия байджарахов в основных чертах та же, что и на северных склонах байджарахов, но еще более гигрофильна. Здесь нередко наблюдается сплошной и мощный моховой ковер из *Drepanocladus uncinatus* с примесью *Brachythecium latifolium*, в травяном же ярусе, кроме лисохвоста, иногда доминирует хвощ (*Equisetum arvense*), характерны *Polygonum ellipticum*, *Saxifraga hirculus*.

Тот же бугристо-мочажинный комплекс, из которого образуются бугры-байджарахи, дает на Быковском полуострове еще одно поверхностное образование — бугры пучения. Они рассеяны по болоту на значительном расстоянии друг от друга (одновременно можно видеть не более 2 бугров) и представляют собой куполообразные торфяные вздутия 2—3 м в диаметре и 70—100 см высотой. Нанорельеф и растительность вершин этих бугров весьма напоминают нанорельеф и растительность байджарахов. Здесь также имеются столбообразные бугорки-кочки с полинно-злаковым мощным травостоем на них (*Arctagrostis latifolia*, *Alopecurus borealis*, *Calamagrostis groenlandica*, *Poa arctica*, *Artemisia tilesii*). В трещинах между бугорками растительности почти нет, встречаются лишь одиночные экземпляры *Saxifraga cernua* и «мох оползней» *Psilopilium cavifolium*. Растительность склонов бугра пучения довольно неопределенна, но нередко здесь можно встретить растения, свойственные стабилизирующимся байджарахам: *Luzula confusa*, *Hierochloe alpina*, *Polygonum viviparum*, *Pedicularis oederi* и др. Нами подмечена некоторая закономерность в строении таких бугров пучения: юго-восточный склон их обычно более пологий, и растительность его постепенно переходит в типичную растительность болота, тогда как северо-восточный склон обычно круто обрывается к небольшой лужице — мочажине, гораздо более обводненной, чем другие мочажины болота. Для таких лужиц, кроме влаголюбивых злаков (*Arctophila fulva*, *Dupontia fischeri*), характерны лютиковые: *Caltha arctica*, *Ranunculus pallasii*, *R. lapponicus*.

Подведем итоги наших наблюдений. Широко распространенный на Быковском полуострове процесс термокарстово-эрозийного преобразования бугристо-мочажинной тундры в группы бугров-байджарахов и дальнейшая эволюция этих байджарахов сопровождаются рядом смен растительности. При образовании байджараха в первую очередь происходит сильный дренаж грунта, ведущий к быстрому осушению торфяного горизонта. Это приводит к гибели первоначальной болотной растительности. В дальнейшем минерализация торфяного горизонта приводит к быстрому улучшению условий существования на нем растений, на что прежде всего реагируют злаки. Пышно разрастаясь на осохшем торфе, будь то вершина бугра пучения, столбообразные бугорки на вершине байджараха или ползущие по его склону глыбки торфа, злаки, особенно дерновинные, почти не оставляют здесь возможности для существования других растений, за исключением полыни. Затем происходит обнажение минерального ядра байджарахов, образование крутых песчаных склонов. На таком субстрате вследствие его значительной подвижности могут существовать лишь очень немногие растения, обладающие свойствами, дающими им возможность приспособиться к столь необычным условиям. Это, как правило, очень редкие в тундре растения, и лишь здесь, не имея конкурентов, они произрастают в заметных количествах, хотя и не дают сомкнутого покрова. Однако большая часть этих растений-пионеров не является закрепителем субстрата, это скорее растения-временники. Они существуют недолго и либо исчезают вместе с байджарахом в случае быстрой деградации его, либо сменяются видами-задернителями, способствующими стабилизации байджараха. По-видимому, в силу климатических условий местности, затрудняющих высыхание почвы, рыхлый субстрат байджарахов подвержен не столько развеванию, сколько оплыванию. Поэтому здесь цементирующую роль может играть в некоторых случаях водоросль (*Vaucheria*) или мох (*Psilopilium cavifolium*) и в особенности *Alopecurus borealis* — сравнительно влаголюбивый злак. Последний является основным видом травостоя байджарахов, имеющих стабилизовавшуюся конусообразную форму и пестрый своеобразный растительный покров, сильно отличающийся от других растительных группировок тундры.

Термокарстовые явления зачастую приводят к нежелательным для хозяйственной деятельности человека последствиям (порча дорог в результате провальных явлений, наклон телеграфных столбов, поврежденные здания, выпадение территории из хозяйственного пользования вследствие образования рвов, трещин, обвалов, осыпей). Растительный покров — фактор, противодействующий деформации грунта. Знание процессов естественного зарастания обнажившихся субстратов на севере дает орудие борьбы с термокарстом и эрозией с помощью фитомелиорации (подсев трав, скрепляющих поверхность).

В заключение приношу глубокую благодарность профессору А. Н. Оксеру за определение лишайников и И. Д. Кильдюшевскому за консультацию при определении мхов.

Ботанический институт
им. В. Л. Комарова АН СССР

Поступила в редакцию
12/VI 1953

ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Сумгин, В. П. Качурин, Н. И. Толстихин, В. Ф. Туммель. Общее мерзловедение. Изд. АН СССР, 1940.
2. А. И. Гусев, Послетретичная история северной части Хараулахского хребта. Изв. Гос. геогр. об-ва, вып. XX, № 2, 1938.

3. А. И. Попов, Морозобойные трещины и проблема ископаемых льдов. Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева, т. III. Изд. АН СССР, 1952.
4. А. И. Попов, Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата. Изв. АН СССР, сер. геогр. № 2, 1953.
5. С. Г. Пархоменко, Некоторые данные о природе Нижне-Ленского края. Тр. комиссии по изуч. Якутской АССР, т. III, ч. 1. Изд. АН СССР, 1929.
6. Б. А. Тихомиров, Некоторые вопросы динамики поверхностных образований Арктики в связи с генезисом бугров-байджарахов. Вопросы физ. геогр., Сб. к 75-летию акад. А. А. Григорьева, Изд. АН СССР, М., 1958.
7. Б. А. Тихомиров, О растительности бугров-байджарахов на севере Якутии. Природа, № 11, 1938.
8. Б. А. Тихомиров, О географическом распространении бугров-байджарахов на севере Евразии. Природа, № 1, 1948.
9. Б. А. Тихомиров, Явления эрозии в Арктике в связи с растительным покровом. Проблемы Арктики, № 1, 1948.
10. Л. Г. Раменский, Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. Сельхозгиз, 1938.

В. А. ССОРИН

КОРНЕВАЯ СИСТЕМА СОСНЫ В ЗАБАЙКАЛЬЕ (БУРЯТСКАЯ АССР)

Особенности строения корневой системы сосны, мощность ее развития и соотношение массы вертикальных и горизонтальных корней, помимо общего научного интереса, имеют большое практическое значение как для лесного хозяйства, так и для лесной промышленности.

Пень сосны с обгнившей заболонной частью древесины, «созревший», т. е. простоявший примерно 10—15 лет и приобретший за это время эффективную смолистость, является сырьем для канифольно-экстракционных предприятий: из пневого осмола добывают канифоль, скипидар, флотореагенты и другие продукты, широко применяемые в самых различных отраслях промышленности. За последние годы эта отрасль лесохимической промышленности получает все большее развитие, а ежегодный рост механизации лесозаготовок с продвижением их в малоосвоенные лесные массивы и с значительным увеличением площадей вырубок обеспечивает ей дальнейший рост. В связи с тем, что новые предприятия канифольно-экстракционной промышленности проектируются на базе вырубок сосновых лесов Восточной Сибири, вопросы запасов и качества «пневого осмола» для этой территории приобретают серьезное значение.

Для развития канифольно-экстракционного производства в последнее время приобретает большой интерес возможность использования не «спелого» пневого осмола, а свежего соснового пня, сразу после рубки древостоя. В этом случае потери на снижение выхода химических продуктов на 1 складочный куб. метр сырья могут компенсироваться выгодами широкого кооперирования лесохимического производства с лесозаготовительными предприятиями. Кроме того, корчевка пней вскоре после рубки создает благоприятные условия для естественного возобновления и проведения лесохозяйственных мероприятий и исключает неизбежное уничтожение большого количества молодого леса, появившегося на старых вырубках.

Запасы свежих сосновых пней почти не изучены. Необходимо обратить особое внимание на строение корневой системы сосны в различных географических районах ее обширной области распространения. Обладая значительной экологической пластичностью, сосна образует чистые и смешанные древостой в очень разнообразных условиях произрастания, как на крайне сухих, бедных или богатых почвах, так и на почвах избыточного увлажнения, вплоть до сфагновых болот.

Наши наблюдения показывают, что строение корневой системы сосны в различных географических районах имеет свой специфический облик и отражает основные особенности условий произрастания в данном районе.

В настоящей статье приводятся материалы изучения строения корневой системы сосны в Бурятии.

Забайкалье, в пределах рассматриваемой территории бассейна

р. Уда, характеризуется резкой континентальностью климата (среднегодовая температура воздуха равна $-0,2^{\circ}$, при амплитуде абсолютной температуры в 74°) с малым среднегодовым количеством осадков (226 мм) и, следовательно, общей сухостью распространенных здесь песчаных и супесчаных почв, образовавшихся из продуктов разрушения, переноса и переотложения коренных кристаллических пород типа гранитов.

Основной лесобразующей породой в бассейне Уды является сосна (насаждения с господством сосны занимают 57% лесопокрытой площади). Чистые сосняки занимают как надпойменные (боровые) террасы рек, сложенные мощной толщей древнеозерных и речных аллювиальных отложений (состоящих из песков различной крупности и гравийно-галечных материалов), так и склоны водораздельных хребтов, покрытые элювиально-делювиальными отложениями (представленными большей частью супесями и легкими суглинками, с примесью щебня в нижних горизонтах), мощностью, обычно не превышающей 2,5—3 м.

Только на склонах северных экспозиций (с высоты, примерно, 850—900 м) с более увлажненными суглинистыми почвами, сосняки уступают место смешанным сосново-лиственничным и чистым лиственничным древостоям.

В наиболее благоприятных (оптимальных) для данного района условиях произрастания, на глубоких и сравнительно рыхлых песчаных почвах (III—IV класса бонитета), сосна образует в Бурятии поверхностно-якорную корневую систему, состоящую из довольно четко разграничивающихся горизонтальных и вертикальных корней. Стержневой корень у взрослых деревьев выражен слабо и по своему развитию в глубину не превышает боковых якорных корней, отходящих от наиболее крупных поверхностных горизонтальных корней.

Такое характерное строение корневой системы хорошо видно на приводимых фотографиях (см. рис. 1, 4, 9).

Исключение, в отношении строения корневой системы, составляет для данного района сосна по склонам водораздельных хребтов с мало-мощными и мелкими неразвитыми почвами островного характера, с близким залеганием и выходом на поверхность материнских горных пород, где развитие корневой системы дерева не имеет определенной закономерности.

В целях более детального изучения строения корневой системы сосны в рассматриваемом районе были проведены визуальное обследование и фотографирование корневых систем сосновых выворотов, а также специальные раскопки и зарисовки корневой системы сосны, с одновременной характеристикой почвенного профиля.

Специальное обследование было проведено в типе леса — сухой остепненный бор. Выбранный для обследования участок (Додогольский бор) расположен на слабовсхолмленном приподнятом плато (абсолютная отметка 600 м), в пойме р. Уда, на ее правом берегу, сложенном в основном песчаными древнеаллювиальными пойменными отложениями и частично остатками отложений конусов выноса древних водных потоков правобережной части Уды. Первичные отложения этих наносов в дальнейшем перекрывались аллювиальными пойменными отложениями р. Курба (правого притока Уды) и самой Уды.

Средняя таксационная характеристика насаждения 10 С — 160 лет + С — 200 и 120 лет, полнота 0,4 (0,3—0,5); средняя высота 19 м, средний диаметр 36 см, запас 120 м³, класс бонитета — IV.

Древостой Додогольского бора в результате деятельности человека и влияния низовых пожаров неоднороден по полноте и возрасту. В



Рис. 1. Выворот корневой системы семенника сосны на лесосеке, расположенной на нижней части склона в бассейне р. Большой Тарбагатай, левого притока Уды. Тип. леса «сухой бор», почва глубокая песчаная, класс бонитета IV, диаметр дерева 40 см, высота 19 м, глубина основной массы корней 1,2 м, стержневого корня 1,5 м.

образовавшихся окнах основного полога развились куртины более молодого леса и подрост.

Подлесок представлен единичными экземплярами раkitника (*Calluna pygmaea* L. Dl.).

Травяной покров состоит из редко разбросанных экземпляров, главным образом, засухоустойчивых растений, из которых у места, где велись работы, были зарегистрированы: *Poa batryoides* Trin., *Kaeleria gracilis* Pers., *Orastachus malacophylla* (Pall.) Fisch., *Pulsatilla patens* (submultifida), *Pulsatilla Turczaninowii*, *Astragalus fruticosus* Pall., *Aster alpinus* (L.) *Artemisia commutata* Besr., *Artemisia frigida* Willd., *Scabiosa Ficherii*, *Silene jenisseensis*, *Carex pediformis*, *Potentilla tanacetifolia* Willd., *Veronica incana*, *Astragalus adsurgens*, *Chenopodium aristatum* L., *Stipa sibirica* L.

Почва представлена слабо подзолистым песком (описания двух разрезов приводятся ниже).

На участке было выбрано 3 модельных дерева, различных по возрасту. Два из них (№ 1 и 3) характеризовали основной древесный полог по возрасту, высоте, диаметру и общему развитию. Модельное дерево № 2 характеризовало молодое поколение древостоя, развивающееся куртинами в окнах основного полога.

У выбранных модельных деревьев была обнажена с поверхности корневая система, вплоть до самых тонких оконечностей поверхностных корней. Глубина раскопки поверхностных корней доводилась до 25—30 см. Полученный план корневой системы был зарисован.

Размещение корневой системы в вертикальной плоскости изучалось траншейным методом, с удалением грунта на стене траншеи, обращенной к дереву, по плоскости, проходящей через центр ствола. Это давало возможность проследить путь стержневого корня до самого его окончания. Полученный поперечный разрез корневой системы зарисован.

совывался с помощью масштабной сетки. Определение высоты и диаметра (на высоте груди и на пне), а также возраста дерева (по срезу на пне) производилось после спиливания дерева.

При рытье траншеи подробно описывался почвенный профиль и брались почвенные образцы из всех установленных генетических горизонтов для механических и химических анализов, а также для определения влажности почвы. Образцы брались не ближе, чем в 2 метрах от дерева. Для определения общего типа строения корневой системы вблизи места раскопок разыскивался естественный выворот, который после очистки корневой системы от грунта фотографировался.

В результате проведения указанных работ получены следующие данные.

Модельное дерево № 1

Возраст дерева 195 лет, высота 20 м, диаметр на высоте груди 36 см, диаметр у шейки корня 44 см.

Раскопка и расчистка поверхностных горизонтальных корней дерева показала, что они располагаются в верхних горизонтах почвы, в основном на глубине 10—25 см и не глубже 35 см. Радиус распространения основной части поверхностных корней находится в пределах 10 м, хотя некоторые из корней тянутся на 13 м и более (рис. 2).

Многие поверхностные корни, особенно расположенные близко к поверхности почвы, повреждены при низовых пожарах и загнили.

Описание почвенного разреза:

- A_0 — подстилка, маломощная (0,5—1,0 см), покрывающая поверхность почвы на 40—60%, состоящая из сухого опада древесной (хвои, шишек) и травянистой растительности.
- A_1 , 0—3 см, — пылевато-песчаный, коричневатый-серый, сухой, бесструктурный; попадают корешки растений. Переход к следующему горизонту постепенный.
- A_2 , 3—12 см, — желтовато-палевый, с серым оттенком, рыхлый, рассыпчатый, сухой, мелкий песок; попадают корешки растений.
- B_1 , 12—40 см, — светло-бурый (желтоватый) песчаный, значительно плотнее предыдущего, с неоднородной слабой комковатой структурой, почти сухой; пронизан мелкими корешками древесных пород и травянистых растений.
- B_2 , 40—160 см, — желто-палевый песок, с сероватым тоном; свежий, более рыхлый, чем предыдущий горизонт, бесструктурный; встречаются корни древесных растений.
- B/C , 160—240 см, — горизонт неоднороден по механическому составу. В нем наблюдается слоистость, не имеющая, однако, определенной закономерности и строгой горизонтальности. Одни из этих слоев, мощностью от 1 до 3 см, представляют собой мелкий, желтый (охристый) суглинистый хрящ, свежий и плотный. Другие представляют собой сыпучий песок, рыхлый, довольно крупный (но неоднородный по величине частиц), серовато-палевый. Корни дерева сильно ветвятся в плотных прослойках, местами обходя их по поверхности.

Данные механического и химического анализов образцов по горизонтам этого почвенного профиля приведены в табл. 1.

Образцы для определения влажности почвы были взяты так, чтобы подтвердить данные глазомерного определения влажности по почвенному профилю и одновременно охарактеризовать влажность ее основных генетических горизонтов. Определения влажности дали следующие результаты:

Влажность почвы, %	10	25	75	150	220
Глубина взятия образца, см	2,3	3,3	3,6	1,9	6,5

Таблица 1
Данные механического и химических анализов образцов из почвенного разреза у модельного дерева № 1*

Горизонт	Мощность горизонта, см	Глубина взятия образца, см	Механический состав										Гидролитическая кислотность в м.э. по Коплену	Сумма поглощенных оснований в м.э.	рН вытяжки		Максимальная гигроскопичность, %			
			процент содержания фракций размером в м.м												солонной	водной				
			20—10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,13	0,13—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	Менее 0,005					
A_1	0—3	2	—	—	—	—	—	1,1	9,4	8,5	23,8	42,5	6,1	5,0	3,6	2,8	10,8	6,0	6,8	1,8
A_2	3—12	8	—	—	—	—	—	2,4	11,9	10,2	27,4	34,3	3,4	6,6	3,8	1,2	6,8	6,1	6,8	1,6
B_1	12—40	30	—	—	—	—	—	2,1	12,2	11,7	29,7	31,3	3,1	5,8	4,1	0,9	7,6	5,5	6,8	1,6
B_2	40—160	90	—	—	—	—	1,8	—	14,8	14,8	31,7	29,0	2,1	3,1	2,9	0,5	8,2	5,9	6,8	1,2
B/C	160—240	210	—	—	—	0,2	0,6	13,6	29,0	16,3	24,8	12,4	0,3	1,1	1,7	0,5	7,2	6,1	6,9	1,8
	160—240	210	0,6	0,5	0,7	3,9	6,1	15,4	13,2	8,1	15,9	19,6	5,4	4,0	6,5	18,0	6,1	6,9	6,9	3,5

* Механические анализы почв выполнены в грунтовой лаборатории Гипролесстранса Ю. И. Вачваладзе, химические анализы и определение максимальной гигроскопичности выполнены аналитиком Г. А. Любимовой.

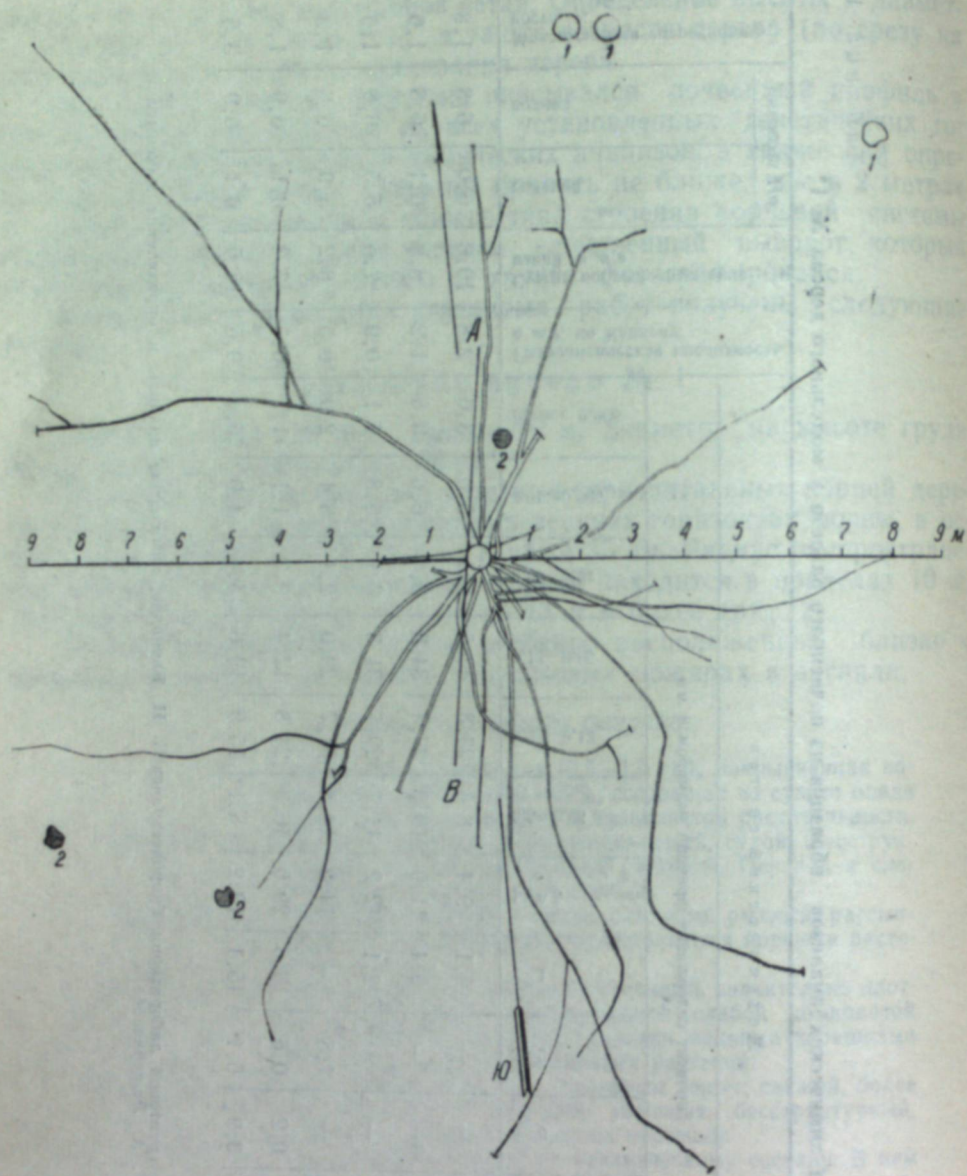


Рис. 2. Расположение поверхностных горизонтальных корней модельного дерева № 1 в плане.

Линия АВ показывает положение вертикального разреза (1 — растущие деревья сосны, 2 — сосновые пни).

Вертикальный разрез корневой системы этого дерева (рис. 3) показал, что наравне со стержневым корнем имеется целый ряд хорошо развитых якорных корней, отходящих от наиболее толстых горизонтальных корней. Якорные корни образуются в основном вблизи ствола и дальше 1,5 м от него уже почти не встречаются. Вертикально идущие корни опускаются на глубину до 240 см, причем глубина якорных корней иногда превышает стержневой корень.

Вблизи модельного дерева № 1 сфотографирован ряд выворотов, один из которых показан на рис. 4.



Рис. 4. Корневая система выворота сосны вблизи модельного дерева № 1.

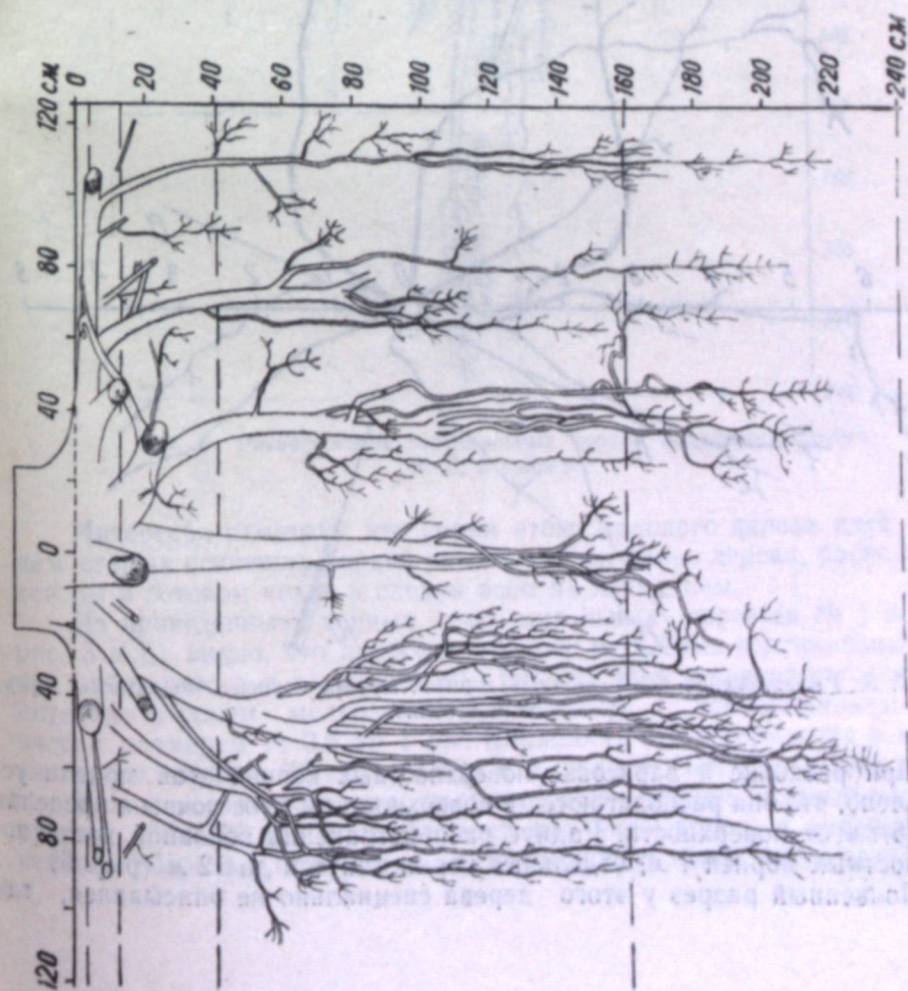


Рис. 3. Расположение вертикальных корней модельного дерева № 1, в разрезе.

Модельное дерево № 2

Возраст дерева 35 лет, высота 9,5 м, диаметр на высоте груди 15 см, диаметр у шейки корня 20 см. Эта молодая сосна росла на расстоянии 25 м от модельного дерева № 1 в составе куртины молодняка.

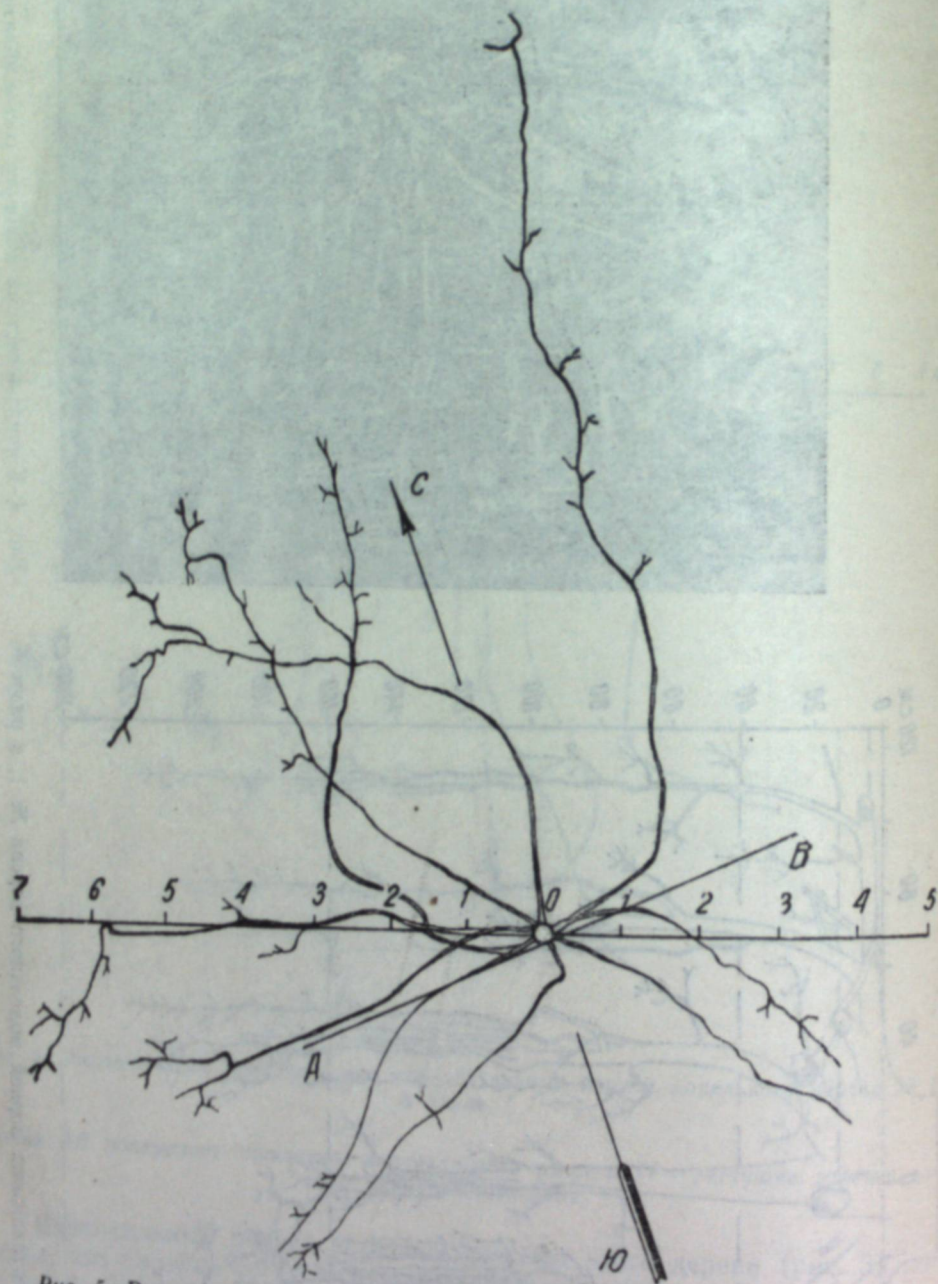


Рис. 5. Расположение поверхностных горизонтальных корней модельного дерева № 2, в плане.

При раскопке и зарисовке поверхностных корней этой модели установлено, что они располагаются в поверхностном слое почвы в пределах 10—15 см от поверхности. Радиус распространения основной части поверхностных корней 7 м, отдельные корни тянутся до 12 м (рис. 5). Почвенный разрез у этого дерева специально не описывался, так

как по характеру залегания, окраске и влажности горизонтов наблюдалась полная аналогия его с разрезом у модельного дерева № 1. Исключение составил последний горизонт (B/C), начинающийся с глубины 200 см, а не 160 см. Вертикальный разрез корневой системы этого дерева (рис. 6) показал, что сосна в молодом возрасте имеет корневую систему с ярко выраженным стержневым корнем, развитие которого в глубину аналогично развитию у взрослого дерева (модель № 1). Ясно намечается образование якорных корней, которые у дерева этого возраста достигают уже глубины 160 см.

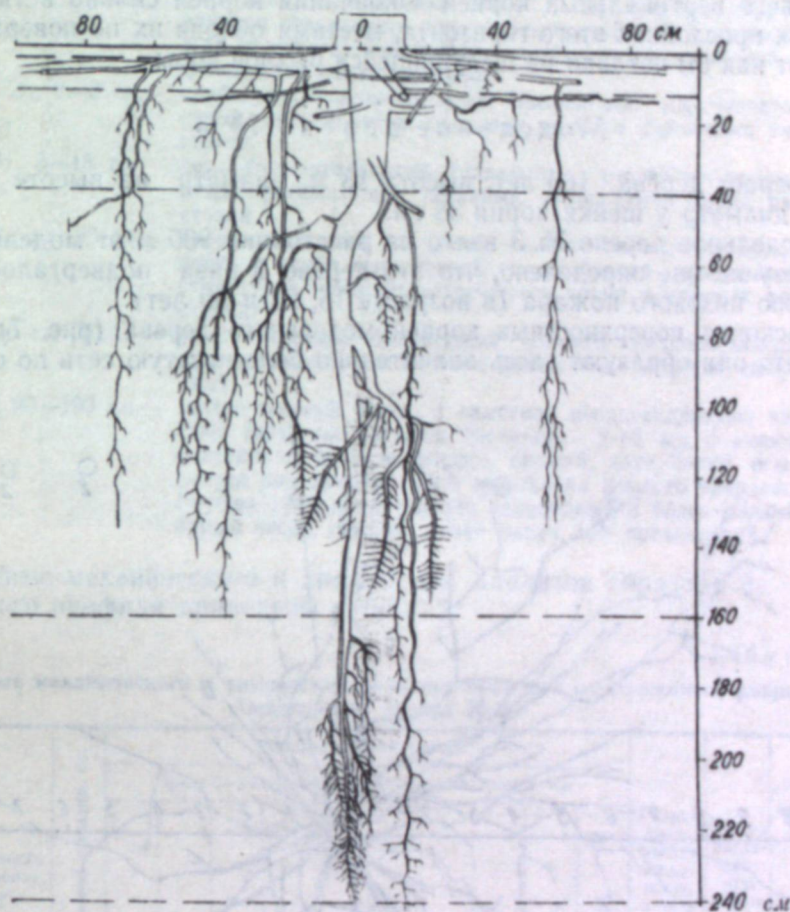


Рис. 6. Расположение вертикальных корней модельного дерева № 2, в разрезе.

Интересно отметить, что корни этого молодого дерева идут по ходам старых сгнивших корней росшего здесь ранее дерева, располагаясь как бы в готовом чехле и следуя всем их извилинам.

Из приведенных данных для модельных деревьев № 1 и 2 (см. рис. 3 и 6) видно, что наиболее сильное ветвление вертикальных корней наблюдалось в горизонте 40—160 см. Этот горизонт сложен сравнительно рыхлым мелкозернистым песком, с преобладанием (90%) частиц размером от 0,5 до 1 мм. Влажность этого горизонта в верхней части (на глубине 75 см) — 3,6%, а в нижней (150 см) — 1,9%.

Конечные разветвления вертикальных корней наблюдались в горизонте 160—220 см. Этот горизонт, как указывалось в описании почвенного разреза, отличается от предыдущего своей неоднородностью

по плотности и механическому составу. Более плотные прослойки, состоящие из суглинистого хряща, содержат 6,6% частиц размером менее 0,005 мм, т. е. количество относительно больше, чем в других горизонтах, а частицы более 1 мм составляют 27,2%. Менее плотные слои этого горизонта состоят из рыхлого песка, с преобладанием (83,7%) частиц размером от 0,13 до 2 мм, а частицы менее 0,005 мм составляют только 1,1%. В целом этот горизонт имеет влажность 6,5%, что вместе с наличием прослоек суглинистого хряща, более богатых минеральными питательными веществами, и определяет, по-видимому, проникновение в него вертикальных корней. Окончания корней сильно ветвятся в плотных прослойках этого горизонта, местами обходя их по поверхности, и имеют как бы чехлики из шелушащейся рыхлой коры.

Модельное дерево № 3

Возраст дерева 160 лет, высота 18 м, диаметр на высоте груди 29 см, диаметр у шейки корня 38 см.

Модельное дерево № 3 взято на расстоянии 900 м от модели № 1. По срезу на пне определено, что это дерево 3 раза подвергалось воздействию низового пожара (в возрасте 16, 23 и 50 лет).

Раскопка поверхностных корней модельного дерева (рис. 7) показала, что они образуют здесь значительно более густую сеть по сравнению

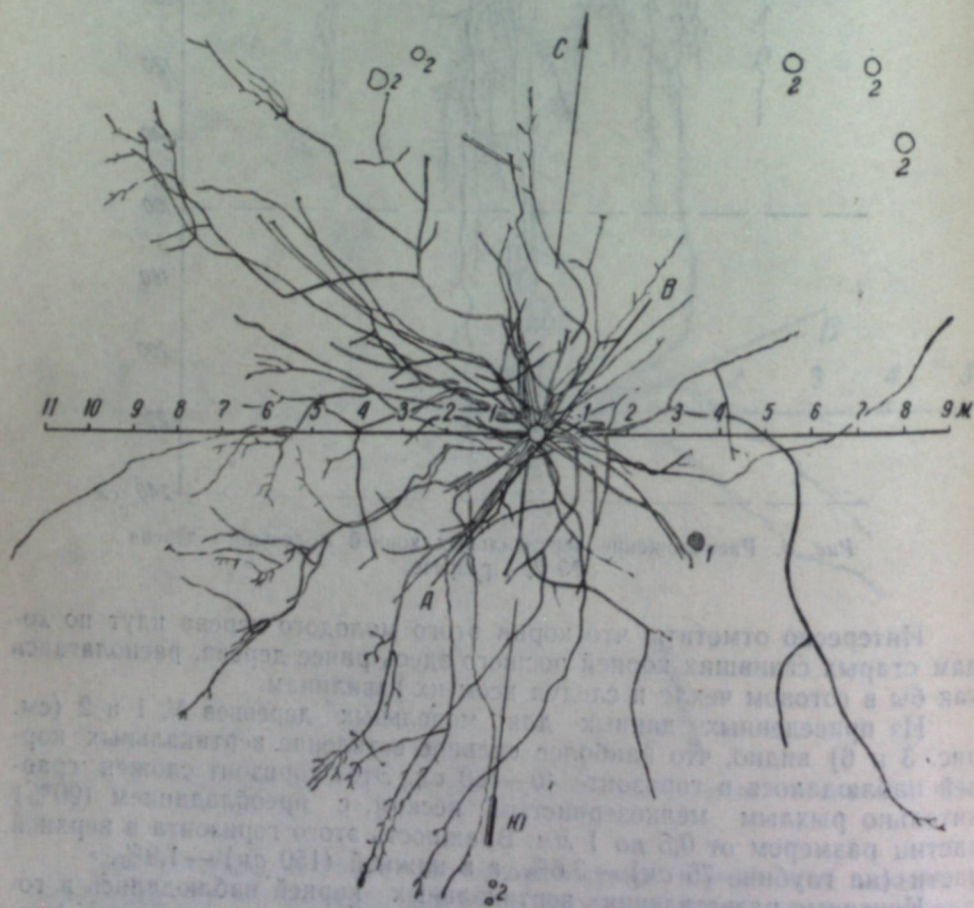


Рис. 7. Расположение поверхностных горизонтальных корней модельного дерева № 3, в плане (1 — старый сосновый пень, 2 — деревья растущей сосны).

нию с сетью поверхностных корней модели № 1. Это наблюдение подтвердилось и по ветровальным деревьям, найденным вблизи обоих модельных деревьев. Радиус распространения основной части поверхностных корней 11 м.

Основная масса поверхностных корней расположена на глубине 10—20 см.

Описание почвенного разреза:

- A_0 — подстилка, маломощная (0,5—1,0 см), рыхлая, покрывающая поверхность почвы только на 50—60%, состоящая из сухого слаборазложившегося опада древесной и травянистой растительности.
- A_1 , 0—3 см, — слабогумусированный, сухой (пылеватый), коричневатосерый, мелкий песок; пронизан редкими корешками растений.
- A_2 , (A_2/B), 3—10 см, — светло-буровато-желтый (палевый), с сероватым тоном, сухой, рассыпчатый, песчаный; встречаются корни растений.
- B_1 , 10—35 см, — буровато-желтый, песчаный, заметно плотнее предыдущего, с слабо выраженной неустойчивой комковатой структурой, свежий; встречаются корни древесных растений.
- B_2 , 35—90 см (100), — желто-палевый, однородный, свежий мелкопесчаный, сравнительно рыхлый (при высыхании делается сыпучим).
- B/C_1 , 90—190 см, — желто-палевый песок, с заметной неоднородностью частиц (крупные частицы достигают 2—3 мм и имеют окатанную круглую форму), свежий, хотя легко осыпается под лопатой. При высыхании немного твердеет. Глубже 190 см идет более однородный и более мелкий бурый песок, свежий, менее сыпуч, чем предыдущий.

Данные механического и химических анализов образцов из этого почвенного профиля приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные механического и химических анализов образцов из почвенного разреза модельного дерева № 3

Горизонт	Мощность горизонта, см	Глубина взятия образца, см	Механический состав										Гидролитическая кислотность в м/э по Каппену	pH вытяжки		
			Процент содержания фракций размером в м											Сумма поглощенных оснований, м/э	солевой	водной
			5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,13	0,13—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	меньше 0,005				
A_1	0—3	2	—	0,1	0,9	5,4	7,9	25,6	44,7	5,9	6,8	3,6	2,8	10,8	6,0	6,8
A_2	3—10	8	0,1	0,1	1,0	6,9	8,4	28,9	40,2	4,2	6,5	3,7	1,6	8,6	5,5	7,1
B_1	10—35	25	—	0,3	1,7	7,3	11,9	33,0	33,5	2,5	5,6	4,2	0,9	6,8	5,6	7,0
B_2	35—90	60	—	—	0,6	6,5	11,4	36,0	36,2	3,0	2,9	3,4	0,5	7,4	5,6	7,0
B/C_1	90—190	120	0,4	4,8	24,5	22,2	8,7	18,4	18,7	0,4	0,3	1,6	0,5	7,0	6,0	7,0
B/C_2	190 и глубже	210	—	0,9	7,5	9,2	7,0	28,6	38,6	2,8	2,3	3,1	0,5	7,8	6,1	7,2

Анализы образцов, взятые для определения влажности почвы, дали следующие результаты:

Глубина взятия образцов, см	10	25	65	115	200
Влажность почвы, %	2,2	2,8	3,1	1,4	3,9

Вертикальный разрез корневой системы этого дерева (рис. 8) показал, что стержневой корень его мало развит в глубину (на 130 см) и сильно сбежист. Наравне со стержневым корнем здесь имеется ряд хорошо развитых якорных корней, отходящих вниз от наиболее толстых горизонтальных корней вблизи ствола.

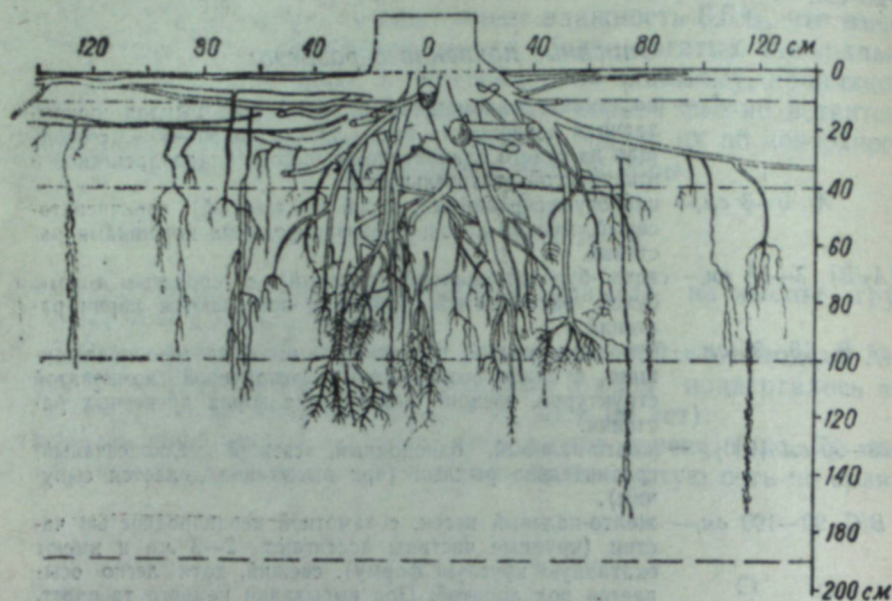


Рис. 8. Расположение вертикальных корней модельного дерева № 3, в разрезе.

Преобладающая масса вертикальных корней этого дерева идет только до глубины 120—130 см. Наиболее сильное ветвление их наблюдается в горизонте 40—100 см. Этот горизонт однородный, свежий, сравнительно рыхлый, мелкий песок, с преобладанием частиц размером от 0,05 до 1,0 мм (90,1%), влажность его 3,1%.

Горизонт 100—190 см, в который вертикальные корни проникают только на глубину 15—20 см, за исключением нескольких тонких якорных корней, идущих по ходам старых отмерших корней, сложен крупным песком, с преобладанием частиц размером 0,5—3,0 мм — 51,5%, и частицы размером 0,05—0,25 мм составляют 37,4%. Влажность его на глубине 115 см — только 1,4%. Горизонт ниже 190 см, сложенный однородным мелким песком, имел влажность 3,9%. Вертикальные корни дерева в нем практически отсутствовали.

Вблизи модельного дерева № 3 был также сфотографирован ряд выворотов корневых систем сосны, один из которых приводится на рис. 9.

При изучении строения корневой системы какой-либо древесной породы в различных местах ее ареала необходимо иметь в виду влияние температуры почвы. При отсутствии возможности проведения длительных наблюдений за температурой почвы некоторый интерес представляет и однократный замер температур почвы по горизонтам. Такой замер и был произведен в почвенных разрезах модельных деревьев № 1, 2 и 3 в период от 10/IX до 16/IX. Температура замерялась на поверхности почвы (в тени) и по горизонтам почвы на всю глубину распространения корневой системы (табл. 3).

На мощность развития и глубину проникновения в почву вертикальных корней сосны может оказать большое влияние глубина залегания грунтовых вод. Наличие их и глубина залегания зависят от релье-



Рис. 9. Корневая система выворота сосны вблизи модельного дерева № 3.

Таблица 3

Место замера	Температура почвы в °С на глубине в см								
	0*	10	30	50	80	100	150	200	240
Почв. разрез № 1, 12 час. 10/IX—1953 г.	26	15,5	15,0	14,0	13,5	13,0	11,0	9,5	8,5
Почв. разрез № 2, 14 час. 13/IX—1953 г.	28	16,5	13,5	12,0	11,5	11,0	10,0	9,0	8,5
Почв. разрез № 3, 15 час. 16/IX—1953 г.	18	15,0	14,0	11,5	11,0	10,5	9,0	8,0	—

* В этой графе приведена температура на поверхности почвы с затенением от прямых солнечных лучей.

ефа местности, состава четвертичных отложений и подстилающих пород. При наличии в рассматриваемом районе выраженного горного рельефа, выпадающие атмосферные осадки стекают по склонам водораздельных хребтов в виде поверхностного и внутрипочвенного стока. На пологой шлейфообразной части склона и террасах долины сток замедляется, поэтому только для этих элементов рельефа мы можем говорить о более или менее постоянном уровне грунтовых вод (правда, колеблющемся в зависимости от годового и сезонного количества осадков). По данным бурений на воду, произведенных Гипролестрансом в различных пунктах бассейна р. Уда, при изысканиях, связанных с освоением лесных массивов, установлено, что грунтовые воды, там,

где их можно было ожидать под участками соснового леса, залегают на глубине 5—12 м.

Наблюдения и фактический материал дают возможность сделать нижеследующие предварительные обобщения.

В Бурятии для корневой системы сосны, произрастающей по пологим элементам рельефа с глубокими и сравнительно рыхлыми песчаными почвами, характерно четкое разграничение горизонтальных и вертикальных корней. Горизонтальные корни развиваются в пределах верхних горизонтов почвы, не опускаясь глубже 30—35 см, располагаясь в основном на глубине 10—25 см. Радиус распространения основной части поверхностных корней взрослого дерева 10—12 м, а отдельные корни достигают 14 м и более.

Вертикальные корни представлены центральным стержневым корнем и целым рядом боковых якорных корней, отходящих вниз от наиболее толстых горизонтальных корней, в пределах 1,2—1,5 м от основания дерева.

В молодом возрасте сосна имеет корневую систему с хорошо выраженным стержневым корнем («редькой»), но уже в 30—40 лет ясно намечается образование боковых вертикальных корней. Развиваясь с возрастом дерева корневая система принимает поверхностно-якорную форму — стержневой корень замедляет рост и по своему развитию в глубину не превышает боковые якорные корни. Поэтому у взрослых деревьев самыми длинными корнями, идущими в глубину почвы, бывают часто боковые вертикальные, а не стержневой корень.

Якорные корни сравнительно тонки, разветвляясь на несколько еще более тонких корней, они идут в глубину, уже не давая разветвлений. Иногда на небольшой глубине они заканчиваются пучком более тонких корней, из которых одиночные идут иногда дальше в глубину почвы. Длинных горизонтальных ответвлений вертикальные корни не образуют, обычно от них отходят короткие ответвления, заканчивающиеся пучком мелких корешков.

Конечное ветвление значительной части вертикальных корней имеет сплюснутую веерообразную форму. Такое явление отмечалось А. П. Тольским [1] для сосняков Бузулукского бора и Э. Лайтакари (см. [2]) для сосняков южной Финляндии.

Внешних причин, обуславливающих сплюснутость корневых окончаний, как у взрослых, так и у молодых сосен в самой почве нет; это явление зависит от свойственного сосне ветвления корней вследствие отхождения их от двух ксилемных сосудисто-волокнистых пучков (см. [3]).

Данные многочисленных замеров основной массы вертикальной системы корней сосновых выворотов показывают, что она в общем не глубока и колеблется от 130 до 180 см (см. рис. 1, 4, 9). Однако во время вывала деревьев происходит обрыв окончаний вертикальных корней, поэтому фактическая длина их больше и может достигать 240 см.

Из причин, определяющих глубину проникновения вертикальных корней в почву, в условиях Бурятии, могут быть названы механическое препятствие (кристаллическая материнская порода или первичные продукты ее разрушения), влажность почвы и ее температура.

Закладка шурфов вблизи вываленных стволов сосны с характерной поверхностно-якорной корневой системой показала, что механические препятствия для проникновения корней в глубину отсутствовали.

В формировании корневой системы дерева большое значение имеет влажность почвы.

По данным А. П. Тольского [1], при влажности почвы вокруг корней около 2% (к весу почвы, высушенной при 100° С) и ниже ростки корней сосны оказывались нежизнеспособными. Содержание влаги в песке при 2% влажности близко, по мнению А. П. Тольского, к наименьшей влагоемкости, при которой вода уже с трудом потребляется растениями, вследствие чего корни замирают и деятельность их прекращается.

Влажность почвы, при которой наблюдаются признаки устойчивого завядания растений, принято называть коэффициентом завядания [4]. По Н. А. Качинскому [5], коэффициент завядания равен в среднем 1,5 МГ (максимальной гигроскопичности), а по Н. В. Лобанову [6], в естественных условиях 2—3 МГ.

Влажность же почвы, при которой корневая система растений вообще перестает всасывать влагу из почвы и растение гибнет, соответствует «мертвому запасу» влаги в почве, равному приблизительно величине максимальной гигроскопичности.

Из приведенных выше данных видно, что определенная нами естественная влажность почвы по горизонтам (см. характеристику почвенного разреза № 1) оказалась равной примерно двойной максимальной гигроскопичности и, следовательно, близка к коэффициенту завядания. Таким образом, можно предположить, что влажность некоторых нижних горизонтов почв может обуславливать глубину проникновения в них вертикальных корней.

Это хорошо подтверждается на примере строения корневой системы модельного дерева № 3. Основная масса его вертикальных корней расположена в пределах 120 см. Из описания почвенного разреза и данных механического анализа видно, что здесь, на глубине от 100 до 190 см, расположен горизонт, механический состав которого обуславливает быструю просачиваемость через него влаги выпадающих осадков. Этот почвенный горизонт мощностью 90 см и влажностью 1,4% явился как бы барьером, определяющим проникновение корней в глубину. Интересно, что дальше, с глубины 190 см опять пошел более однородный мелкий песок с влажностью 3,9%. Несмотря на это, вертикальные корни дерева в нем отсутствовали.

Помимо значительной сухости отдельных горизонтов почвы и общей незначительной влажности почв описываемого района, обусловленной малым количеством атмосферных осадков, большое значение для глубины распространения вертикальных корней может иметь глубина залегания грунтовых вод. Грунтовые воды, как указывалось выше, были встречены, в зависимости от характера рельефа и четвертичных отложений, на глубине от 5 до 12 м. В тех случаях, когда грунтовые воды находятся ниже известного предела, влияние их на влажность верхних слоев почвы прекращается и вертикальные корни сосны не идут глубоко в почву. Это положение, по-видимому, полностью применимо и к описываемому району Бурятии.

На строение корневой системы сосны в Бурятии большое влияние оказывает и температура почвы. При условии резкой континентальности климата, с неглубоким снежным покровом почвы описываемого района глубоко и сильно промерзают. Кроме того, необходимо иметь в виду, что бассейн р. Уда расположен на южной границе распространения вечной мерзлоты и входит в зону островного ее распространения на преобладающем фоне талых грунтов. Вблизи поверхности почв мерзлота встречается здесь главным образом в поймах рек, выходя за их пределы в верховьях рек и чаще по склонам долин северной экспозиции.

Это указывает на возможность существования вечной мерзлоты и

при других элементах рельефа, но на больших глубинах, а также на общую охлажденность грунтов.

От скорости и глубины оттаивания почвы с наступлением весны и лета зависит начало и продолжительность периода жизнедеятельности корневой системы. При наступлении вегетационного периода тепловая волна (температура выше 0°) на поверхности почвы может значительно опережать во времени тепловую волну в почве. Кроме того, в течение вегетационного периода температура почвы на определенной глубине от поверхности может достигать только незначительных положительных величин и, определяя начало и возможность деятельности камбия корней, обуславливать формирование корневой системы дерева.

О температуре почвы, определяющей начало деятельности корней сосны, в литературе имеются очень ограниченные и разноречивые данные. Так, Л. А. Гульбе [7] на основании анатомических исследований указывает, что начало деятельности камбия в толстых корнях сосны на глубине 1 фута (30 см) наблюдалось в первой половине июня при температуре почвы $11,6^{\circ}$, а в тонких корнях на глубине 3 футов (90 см), во второй половине июня при температуре $10,3^{\circ}$.

По наблюдениям А. П. Тольского [1], использовавшего внешние морфологические признаки роста корневых окончаний (размеры и окраску ростков), рост поверхностных горизонтальных корней сосны в Бузулукском бору начинался при средней суточной температуре не ниже 6°C , на глубине 10 см, чем подтвердились наблюдения Энглера. Рост же корневых окончаний на глубоких вертикальных корнях проходил при температурах не ниже $0,1^{\circ}\text{C}$.

По данным А. П. Тыртыкова [8, 9], полученным также на основании анатомических исследований, деятельность камбия в корнях сибирской лиственницы (в зоне елово-лиственничных редкостойных лесов северного предела лесной растительности) заканчивается при среднесуточной температуре почвы $2-3^{\circ}$. В корнях же сибирского кедра, ели и березы пушистой (того же района) деятельность камбия прекращается при понижении среднесуточной температуры почвы, в конце вегетации, до $6-7^{\circ}$.

Наблюдения А. И. Коровина и В. Н. Дохунаева [10], проведенные в районе Якутска, показали, что при раскопках, произведенных в августе, температура почвы в зоне проникновения окончаний наиболее глубоко идущих корней сосны оказалась равной $8-9^{\circ}$, лиственницы — $6-7^{\circ}$, березы — $7-8^{\circ}$ тепла.

По своей неприхотливости и приспособленности к различным климатическим условиям сосна, как известно, близка к лиственнице, хотя и уступает последней.

Все более понижающаяся температура почвы по направлению к северу кладет предел распространению сосны, корневая система которой менее пластична, чем у лиственницы и ели. В области распространения вечной мерзлоты и по окраине ее, где грунты достаточно охлаждены, особенно резко проявляется зависимость сосны от эдафических условий, и она, всецело господствуя на достаточно прогреваемых песках, не встречается на холодных, суглинистых и глинистых почвах. Эта закономерность прослеживается не только на северном пределе боров, но и на обширной территории Восточной Сибири и Забайкалья [11].

К сожалению, нет систематических данных, указывающих на глубину проникновения корней сосны в Бурятии, в зависимости от температур нижних слоев почвы. Однако те однократные замеры температур, которые были сделаны в ряде почвенных разрезов как в Бурятии, так и в Иркутской области, показали, что температура почвы на глубине

окончаний вертикальных корней сосны в период наибольшего прогрева почвы составляла $7-8^{\circ}$. Таким образом, подтверждаются данные, приводимые А. И. Коровиным и В. Н. Дохунаевым.

Гипролестранс

*Поступила в редакцию
23/III 1959*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Тольский, Материалы по изучению строения и жизнедеятельности корней сосны (по исследованиям в Боровом опытном лесничестве в Бузулукском бору). Тр. по лесному опытному делу в России, вып. 3, 1907.
2. Л. И. Яшинов, Корневая система сосны (морфологические исследования Эррки Лайтакарри, Гельсингфорс, 1927). Изв. Казанского ин-та сельского хозяйства и лесоводства (часть лесная), № 2, 1930.
3. Л. И. Яшинов, Реферат статьи Др. И. Лизе, «К познанию корневой системы обыкновенной сосны». Изв. Казанского ин-та сельского хозяйства и лесоводства (часть лесная), вып. IV, 1926.
4. А. А. Роде, Почвенная влага. Изд. АН СССР, М., 1952.
5. Н. А. Качинский, А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина, Опыт агрофизической характеристики почв на примере Центрального Урала. М.—Л., 1950.
6. Н. В. Лобанов, Критическая для высших растений почвенная влажность. Научно-агрон. журнал, № 10, 1926.
7. Л. А. Гульбе, О периодической деятельности камбия в корнях наших деревьев. Ежегодник С.-Петербургского лесного ин-та, вып. 3, 1888.
8. А. П. Тыртыков, Распределение корневых систем деревьев на северном пределе лесов. Вестник МГУ, № 10, сер. физ.-мат. наук, вып. 6, 1951.
9. А. П. Тыртыков, Деятельность камбия в корнях и стволах деревьев на северном пределе лесов. Бюлл. МОИП, отд. биол., т. 61, вып. 5, 1956.
10. А. И. Коровин, В. Н. Дохунаев, Некоторые данные о проникновении в почву корневых систем дикой и культурной растительности в районе г. Якутска. Уч. зап. Якутского гос. педагогич. и учит. ин-та, вып. 3, 1954.
11. Б. Н. Городков, Вечная мерзлота и растительность. Матер. КЕПС, № 80, Л., 1930.

Н. Ф. РЕЙМЕРС

К ВОПРОСУ О РОЛИ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ
В ВОЗОБНОВЛЕНИИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ТУВЫ

Введение

Вопрос о значении позвоночных животных в жизни лиственничных лесов Сибири исследован весьма слабо. Это вполне естественно, тем более, что зависимость анемохорной лиственницы от деятельности птиц и млекопитающих значительно слабее, чем зоохорных пород — кедра, дуба или бука. Лиственничные леса Тувинской автономной области изучены еще далеко не полно, а по той проблеме, которой посвящена предлагаемая статья, опубликованные материалы автору вообще не известны.

В ближайших к Туве областях процесс возобновления лиственницы изучен более полно. В Хакасии работали П. П. Поляков [1], Б. Н. Тихомиров и И. А. Тищенко [2], В. И. Богоявленский [3] и И. П. Велигорский [4], а в самое последнее время на Алтае изучал возобновление лиственницы Н. Н. Лащинский [5]. Эти исследователи сделали ряд выводов о степени успешности возобновления лиственницы в различных типах леса, а Н. Н. Лащинский обратил внимание на роль позвоночных животных в лиственничных лесах.

Ранее нам уже приходилось отмечать, что возобновительный процесс в кедровых лесах далеко не всецело зависит от деятельности позвоночных животных [6, 7]. То же было замечено и в отношении лиственницы [8] в условиях Алтая. Вредная деятельность грызунов сильно сказывается только при искусственных посевах семян. Поэтому в настоящей статье мы стремились ответить, главным образом, на два вопроса: 1) какое количество семян лиственницы способны уничтожить позвоночные животные в естественных условиях и 2) почему вредная деятельность позвоночных животных не может абсолютно определить успешность возобновления под пологом леса. Первый вопрос имеет несомненное практическое значение, второй, — при кажущейся чисто теоретической направленности, также не безынтересен для работников лесного хозяйства.

Стремясь осветить указанные вопросы, мы помимо изложенного в настоящей статье частного материала, собранного в Тувинской АО, используем наблюдения, проведенные ранее в лиственничных и кедровых лесах Алтая и Саян. Настоящая статья, таким образом, — один из этапов работы, начатой автором в 1951 г.

Район работ

Наши исследования проходили в Пий-Хемском районе Тувинской автономной области и, главным образом, в ближайших окрестностях города Турана. Время работы июнь—июль 1958 г. Лиственничные леса

в описываемом районе занимают лишь склоны северной, северо-восточной и частично северо-западной экспозиции. Высота гор не превышает 1200—1300 м. Наиболее распространенные типы леса — листвяги: спирейный, рододендровый и брусничниково-разнотравный. Лесные острова со всех сторон окружены степью, поэтому местность носит лесостепной характер. Фауна позвоночных животных лесных участков небогата, в нее входят как представители тайги, так и выходцы из лесостепи. Однако лесостепные животные глубоко в лесные острова не проникают.

В пределах леса отмечено более 30 видов гнездящихся или питающихся птиц и 9 видов млекопитающих (без копытных). Птицы: тетерев (*Lyrurus tetrix* L.), глухарь (*Tetrao urogallus* L.), рябчик (*Tetrastes bonasia* L.), пустельга (*Falco tinnunculus* L.), кобчик (*Falco vespertinus* L.), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus* L.), обыкновенная совка (*Otus scops* L.), обыкновенная кукушка (*Cuculus canorus* L.), обыкновенный козодой (*Caprimulgus europaeus* L.), большой пестрый дятел (*Dryobates major* L.), ворон (*Corvus corax* L.), ворона (*Corvus corone* L.), кедровка (*Nucifraga caryocatactes* L.), чечевица (*Erythrura erythrura* Pall.), клест-еловик (*Loxia curvirostra* L.), юрок (*Fringilla montifringilla* L.), белшапочная овсянка (*Emberiza leucocephalos* Gm.), дубровник (*Emberiza aureola* Pall.), садовая овсянка (*Emberiza hortulana* L.), лесной конек (*Anthus trivialis* L.), большая синица (*Parus major* L.), пухляк (*Parus atricapillus* L.), серая мухоловка (*Muscicapa striata* Pall.), мухоловка Мугимаки (*Muscicapa mugimaki* Temm.), пеночка кузнечик (*Phylloscopus collybitus* Vieill.), серая славка (*Silvia communis* Lath.), славка-завирушка (*Silvia curruca* L.), дрозд-деряба (*Turdus viscivorus* L.), темнозобый дрозд (*Turdus ruficollis* Pall.), синехвостка (*Tarsiger cyanurus* Pall.), обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus* L.); млекопитающие: арктическая бурозубка (*Sorex arcticus* Kerr.), средняя бурозубка (*Sorex macropygmaeus* Mill.), малая бурозубка (*Sorex minutus* L.), заяц-беляк (*Lepus timidus* L.), летяга (*Pteromys volans* L.), азиатская лесная мышь *Apodemus speciosus* Temm.), красно-серая полевка (*Clethrionomys rufocanus* Sund.), степная пеструшка (*Lagurus lagurus* L.), полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pall.).

Как видно из приведенного списка, в лиственничных лесах описываемого района летом нам не пришлось встретить таких характерных животных сибирских лесов, как поползень* и красная полевка. Не оказалось тут бурундуков и щура (*Pinicola enucleator* L.).

Методика исследований

Для процесса возобновления леса имеют значение главным образом семена, осыпавшиеся из шишек на землю (вернее — лесную подстилку). Нам не приходилось видеть, чтобы семена лиственницы прорастали в шишке. Чешуйки опавших шишек обычно (в условиях большой влажности) плотно прижаты, и необходимо значительное усилие, чтобы достать семя. Прорастают лишь свободно опавшие семена. Эти семена мы и учитывали, пользуясь методикой, предложенной нами ранее для подсчета кедровых орешков (наиболее подробно описана в 1956 и 1958 гг.). Эта методика уже была опробована и для учета лиственничных семян [8], поэтому описывать ее подробно вновь едва ли следует. Напомним ее лишь кратко и отметим некоторые детали в различении погрызов.

* По сообщению Н. Г. Коломийца (*in litt.*), поползни в окрестностях Турана появились поздней осенью.

подстилкой. В кедровых лесах [9], наоборот, мышевидные грызуны за-таскивают под подстилку значительное количество семян (не только кедра). Очевидно, малое количество семян в ходах грызунов изученного района объясняется составом фауны лесов, в которой отсутствует такой активный семяноед, как красная полевка (*Cletrionomys rutilus* Pall) и крайне редка азиатская лесная мышь. Количество млекопитающих, по нашим учетам, в спирейных лиственничниках показано в табл. 2.

Таблица 2

Результаты учета относительной численности мышевидных грызунов и землероек в лиственничных лесах лесостепной Тувы (листвяг спирейный)

Вид млекопитающего	Способ ловли и количество ловушко-суток	
	цилиндрами (на 100 л/с)	плашками-давилками (на 1000 л/с)
Арктическая бурозубка	10,0	3,3
Средняя бурозубка	0,4	—
Малая бурозубка	0,4	—
Азиатская лесная мышь	0,4	0,8
Красно-серая полевка	7,2	8,3
Степная пеструшка	—	0,8
Полевка-экономка	3,6	0,8

Данные табл. 2 были получены при установке давилок через 5 м в линию. Общее количество ловушко-суток 1200. Цилиндры были установлены попарно с прочисткой дорожек, и общее число цилиндросуток — 250. Для сравнения численности грызунов в лиственничном лесу заметим, что в кедровых лесах Саян ловится, по нашим наблюдениям, на 1000 ловушко-суток (плашки) 6—9 азиатских лесных мышей, 21—23 красно-серых полевок и 8—10 обыкновенных бурозубок, а в липовых лесах Кузнецкого Алатау осенью 1957 г. за 25 цилиндросуток нами было поймано 6 полевок-экономок, 7 обыкновенных землероек и 2 азиатские лесные мыши.

Общее количество семян лиственницы, уничтожаемых позвоночными животными, составляет, по нашим подсчетам, максимум 40% от всего количества свободно опавшего урожая. Грызуны и землеройки поедают до 35% семян, а птицы — не свыше 5%.

Когда же млекопитающие и птицы уничтожают основную массу семян? Очевидно, это происходит осенью и отчасти весной. Зимой жизнь млекопитающих сосредоточена под подстилкой, а, как показывают данные табл. 1, семян там, в том числе и поврежденных мышевидными грызунами, мало. Семена, занесенные полевками-экономками и азиатскими лесными мышами в норы прозапас, хотя и бывают поедены зимой, пропадают для возобновления еще осенью во время заготовки запасов. Летом, как показали наши наблюдения, полевки-экономки, красно-серые полевки и землеройки семян лиственницы почти не едят (табл. 3).

При изучении экологии мышевидных грызунов — обитателей кедровых лесов мы находили также, что основную массу семян эти животные поедают в бесснежный период и главным образом осенью. Другие авторы, например Л. В. Заблочкая [10—11], проводившая серию экспериментов в Приокско-Террасном заповеднике*, также отмечали, что мышевидные грызуны поедают основную массу семян хвойных пород

* Мне не удалось подобно Л. В. Заблочкой отличать семена, поврежденные землеройками, от семян, погрызенных мышевидными грызунами. Могу лишь отметить, что, если следовать ее указаниям в различении погрызов, то находимые нами семена нужно было относить в основном к поврежденным грызунами, а не бурозубками.

Таблица 3

Результаты анализа содержимого желудков мелких млекопитающих — обитателей лиственничных лесов лесостепной Тувы (листвяг спирейный)

Вид млекопитающего	Всего добыто экземпляров	Из них с пустыми желудками	Количество желудков, в которых обнаружены				
			семена лиственничные	семена, ближе не определенные	зеленая масса	животный корм	ближе не определенный корм
Арктическая бурозубка	30	10	1	4	4	15	1
Азиатская лесная мышь	2	—	1	1	1	1	2
Красно-серая полевка	25	1	—	—	24	1	3
Полевка-экономка	9	1	—	1	8	—	—

осенью. Очевидно, вообще в хвойных лесах мелкие млекопитающие приносят наибольший ущерб опавшему урожаю семян в осенний и ранневесенний периоды. Это следует учитывать при посевах леса.

Птицам семена лиственницы доступны лишь осенью, до того, как происходит массовый опад урожая. Нужно заметить, что в лиственничных лесах изученного района очень мало птиц, поедающих семена хвойных пород. Виды, существующие определенный период года исключительно благодаря питанию семенами и не склонные к постоянным кочевкам на большие расстояния (подобно клестам), например поползень или щур, летом отсутствуют в лиственничных лесах лесостепной Тувы нацело.

Таким образом, за осень и весну позвоночные животные уничтожают до 40% всех семян. Однако не все семена лиственницы полнозерны. Как видно из табл. 1, до двух третей урожая семян бывают невсхожими. Важно знать количество полноценных, здоровых семян, уничтожаемых позвоночными животными. Такие данные и сведены в табл. 4. Из потенциально всхожих семян позвоночные животные, как показывает табл. 4, уничтожают до 75%, а млекопитающие — до 66%.

Заметим, что количество уничтоженных семян, как видно из табл. 4 и предыдущих таблиц, не определяется типом леса. Учеты 2 и 6 проведены в различных типах леса, а число семян, поеденных животными, на этих участках приблизительно равно. То же можно сказать и об учетах 3 и 8. Если сравнить положение в лиственничных лесах с обстановкой кедровых лесов, то окажется [6, 9], что они аналогичны в отношении количества семян, уничтоженных позвоночными животными. В кедровых лесах птицы и млекопитающие уничтожают даже большее число семян — до 98,2% от всего урожая. Однако ни там, ни в лиственничных лесах животные не определяют успешности возобновительного процесса. Всегда семян остается достаточно для возобновления леса, животные лишь тормозят этот процесс. И это совершенно естественно. Если бы позвоночные животные роковым образом влияли на возобновление леса, они — обитатели этого самого леса — уничтожали бы свою собственную среду. В природе это парадокс, встречающийся редко и лишь при наличии особых обстоятельств (например при сверхразмножении паразита или вредителя). Полное уничтожение какого-нибудь корма всегда свидетельствует о его недостатке. А дефицит кормов всегда приводит к сокращению численности потребителя. Эта общеизвестная биологическая закономерность и проявляется в нашем случае. Рассмотрение табл. 4 показывает, что, чем меньше потенциально всхожих семян попадает в подстилку леса, тем больший процент их (относительно) сохраняется от вредной деятельности животных.

В ряде лесоводческих работ, в том числе касающихся возобнове-

Таблица 4

Количество потенциально всхожих семян лиственницы в лесной подстилке и роль позвоночных животных в их уничтожении

№ учета	Тип леса	Количество возобновления лиственницы на га в тыс.	Всего найдено семян, шт.	Из них потенциально всхожих семян	В том числе*				
					всходы	погибшие всходы	уничтожено		
							млекопитающими	птицами	насекомыми
9	Листвяг брусничниково-злаковый	36,3	514	228	4 1,7	92 40,3	112 49,3	16 7,0	4 1,7
1	Листвяг брусничниково-разнотравный	52,8	308	?	7 —	?	61 —	14 —	2 —
2	Листвяг спирейно-ирисовый	1,8	162	65	2 3,0	18 27,2	37 57,1	4 6,1	4 6,1
3	Листвяг спирейно-злаковый	1,7	196	61	2 3,2	32 52,7	16 26,2	4 6,5	7 11,4
5	Листвяг спирейно-караганниковый	21,0	186	67	3 4,4	18 26,8	34 51,0	6 8,9	6 8,9
4	Листвяг рододендрово-брусничниковый	4,7	297	132	15 11,3	31 23,5	74 56,1	5 3,8	7 5,3
6	Листвяг рододендрово-брусничниковый	0,2	126	67	4 5,9	14 20,9	44 65,8	4 5,9	1 1,5
7	Листвяг рододендрово-брусничниковый	8,0	25	11	1 10,0	6 60,0	3 30,0	1 10,1	—
8	Листвяг кизильниково-караганниковый	13,6	172	44	7 15,9	16 36,4	16 36,4	4 9,1	1 2,2

* Во всех колонках: верхние строчки — число семян в шт., нижние — количество семян в процентах ко всему числу опавших, потенциально всхожих.

ния лиственницы, например в статье Н. Н. Лашинского [5], констатируется, что позвоночные животные уничтожают громадное количество семян на площадках содействия естественному возобновлению леса. Н. Н. Лашинский указывает на решающую роль птиц и млекопитающих в уничтожении семян лиственницы на этих площадках. Это верно. Но автор делает, на наш взгляд, не совсем правильный вывод, что грызуны и птицы вообще могут быть значительным тормозом в восстановлении леса. Такое заключение неправомерно, так как при содействии естественному возобновлению леса человек создает искусственные условия, ориентирует грызунов на легкие поиски семян на площадках, лишенных дерновины. (Кстати, устройство лишенных дерновины дорожек привлекает грызунов, они бегают по ним как по удобным «трассам»).

В нетронутой природе вред грызунов оказывается значительно менее заметным, чем при вмешательстве человека. Методы содействия естественному возобновлению леса для успеха дела можно сочетать (при устройстве площадок) с истребительными мероприятиями против грызунов. Однако всегда ли это целесообразно? Лесовод, во что бы то ни стало стремящийся вырастить лес, нередко забывает об экономической стороне вопроса. И второе: каков должен быть подход в разработке методов содействия естественному возобновлению? Если лес не возобновляется, значит на вырубке или гари существует устойчивое равновесие, мешающее лесным породам поселяться. Совершенно естественно, что вмешательство человека встречает здесь предельное сопротивление, одна из форм которого — вредная деятельность грызунов. В ряде случаев такое природное равновесие временное. Например, вейник на вырубках и гарях постепенно самоизреживается, и это дает возможность

лесным породам заселить участок. Лесовод стремится сократить период безлесного равновесия и создать условия для существования другого устойчивого природного комплекса — леса. Разрушение безлесной ассоциации следует проводить с учетом всех положительных и отрицательных для этого дела факторов. Если, например, уже начался процесс самоизреживания вейника на гари, содействие естественному возобновлению площадками, лишенными дерновины, даст положительный эффект, несмотря на вредную деятельность позвоночных животных. Наоборот, при расцвете вейниковой ассоциации положительного результата от устройства площадок ожидать трудно. В этом, на наш взгляд, секрет того, что один и тот же метод содействия естественному возобновлению оказывается в одних случаях хорош, в других плох.

В лесном хозяйстве теоретически мыслимы два подхода. Либо нужно «помогать» природе (оставление семенников, возобновления — при рубках, охрана леса от пожаров, содействие его естественному возобновлению), либо, как в сельском хозяйстве, резко нарушать нежелательный природный комплекс и создавать на его месте новый, хозяйственно целесообразный. При первом подходе нужно обязательно учитывать состояние ассоциации. Роль же мышевидных грызунов и других агентов из мира позвоночных животных становится ведущей только при ошибочном или несвоевременном применении того или иного метода содействия естественному возобновлению леса.

Выводы

1. Позвоночные животные уничтожают в лиственничных лесах лесостепной Тувы до 40% всего количества семян и до трех четвертей их потенциально всхожей части.

2. Мышевидные грызуны уничтожают наибольшее количество семян в осенний период.

3. Птицы и млекопитающие не могут определить успешности возобновительного процесса в лесу, они лишь сдерживают его скорость. Причина этого заключается в биологической зависимости животных от условий населяемой ими среды.

4. На основании наблюдений в естественных условиях, следует полагать, что содействие естественному возобновлению леса методом площадок, очищенных от дерновины, даст положительный результат только в местах, где процесс заселения лесом уже начался. Абсолютно безлесные, устойчивые ассоциации едва ли можно заменить лесными с помощью устройства площадок без ряда дополнительных мероприятий, в том числе борьбы с мышевидными грызунами.

Биологический институт
Сибирского отделения АН СССР

Поступила в редакцию
23/X 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Поляков, Типы лиственничных лесов Хакасии. Тр. Сиб. ин-та сельск. хозяйства и лесоводства, т. XII, вып. 3, Омск, 1929.
2. Б. Н. Тихомиров, И. А. Тищенко, Ход роста сибирской лиственницы в Хакасском округе Сибирского края. Тр. Сиб. ин-та сельск. хозяйства и лесоводства, т. XII, вып. 3, Омск, 1929.
3. В. И. Богоявленский, Лесовозобновление в горных лиственничных лесах. Сб. тр. СибНИИЛХЭ «Лиственница сибирская», Красноярск, 1940.
4. И. П. Велигорский, Естественное возобновление в лиственничных лесах Сонского лесхоза. Тр. по лесному хозяйству, ЗСФАН СССР и Зап.-сиб. отд. ВНИТОЛес, вып. 2, Новосибирск, 1955.

5. Н. Н. Лашинский, Возобновление лиственницы сибирской в горных лесах Алтая. Тр. по лесному хозяйству Сибири, вып. 4, Новосибирск, 1958.
6. Н. Ф. Реймерс, Роль млекопитающих и птиц в возобновлении кедровых лесов Прибайкалья. Зоол. журнал, т. XXXV, вып. 4, 1956.
7. Н. Ф. Реймерс, Уничтожение сибирского шелкопряда зверями и птицами, населяющими кедровые леса, и восстановление шелкопрядников и гарей. Тр. по лесному хозяйству Сибири, вып. 4, Новосибирск, 1958.
8. Н. Н. Лашинский, Н. Ф. Реймерс, Роль животных в жизни лиственничных и кедровых лесов Алтая. Изв. СОАН СССР, вып. 2, 1959.
9. Н. Ф. Реймерс, Роль кедровки и мышевидных грызунов в кедровых лесах южного Прибайкалья. Бюлл. МОИП, сер. биол., вып. 2, 1956.
10. Л. В. Заблоская, Расхищение семян хвойных землеройками-бурозубками. Бюлл. МОИП, т. X, вып. 4, 1955.
11. Л. В. Заблоская, Растаскивание семян хвойных и липы землеройками-бурозубками. Тр. Приокско-террасного гос. заповедника, т. 1, 1957.

ХРОНИКА

ПЕРВОЕ СОВЕЩАНИЕ СИБИРСКОЙ ТЕМАТИЧЕСКОЙ КОМИССИИ ПО ПРОБЛЕМЕ «ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ»

Решениями XXI внеочередного съезда КПСС предусматривается значительное увеличение добычи угля на территории Сибири. При общем подъеме добычи угля по плану развития народного хозяйства страны к 1965 г. на 21—23% в восточных районах (без Урала) она возрастет на 40—45%. В свете этих решений исключительно важное значение приобретает разработка проблемы «Закономерности размещения ископаемых углей в земной коре как основа для их прогноза на территории СССР». Эта проблема утверждена Общим собранием Академии наук СССР 1959 г. в качестве одного из главных направлений научных исследований на ближайшее семилетие.

Исходя из решений XXI съезда КПСС, Центральная комиссия по проблеме «Закономерности размещения ископаемых углей в земной коре», совместно с Институтом геологии и геофизики СОАН СССР, созвала Сибирское учредительное координационное совещание по данной проблеме. Проведение такого совещания предусматривалось планом важнейших сессий, дискуссий, совещаний и конференций Сибирского отделения Академии наук СССР на 1959 г. и разрешено решением Бюро Президиума СОАН СССР № 19 от 6. I. 1959 г.

Совещание, состоявшееся 2—4 апреля 1959 г. в Новосибирске, рассмотрело планы научно-исследовательских работ, проектируемых на территории Сибири и Дальнего Востока на 1959—1965 гг. по угольной тематике, и заслушало 16 докладов и сообщений по истории угленосности и другим научным вопросам в области геологии угля, а также доклад академика А. А. Трофимука о Сибирском отделении АН СССР и его роли в изучении углей Сибири.

В совещании приняли участие и представили планы работ почти все основные научные и производственные геологические организации Академии наук СССР, Министерства высшего образования СССР, Министерства геологии и охраны недр СССР, Главгеологии РСФСР, Кемеровского и Свердловского совнархозов и других организаций, ведущих исследования в области геологии углей на территории Сибири и Дальнего Востока. Не представили планов работ: Институт геологии АН СССР, Сахалинский комплексный институт СОАН СССР, ВСЕГЕИ МГиОН, Читинское, Дальневосточное, Приморское и Северо-Восточное геологические управления Главгеологии РСФСР и Томский государственный университет МВО СССР.

При рассмотрении состояния и планов работ совещание констатировало, что в планах академических учреждений исследования по ведущей теме истории угленосности предусмотрены только по ЛАГУ АН СССР и частично по ЛАГУ Института геологии и геофизики СОАН СССР. В остальных организациях Академии наук СССР на территории Сибири проводятся работы, имеющие только косвенное отношение к истории угленосности. Исследования, непосредственно относящиеся к этой теме, еще не начаты, и развитие их семилетними планами, как правило, не предусматривается. Неакадемические организации, ведущие изучение геологии угля на территории Сибири и Дальнего Востока, выполняют исследования по стратиграфии, литологии, угленосности, составу углей и т. д., а также проводят коллективную работу по составлению монографии «Геология угольных месторождений СССР» и выполняют более узкие темы, выдвигаемые нуждами производства. Результаты всех этих работ являются ценным исходным материалом для истории угленосности.

Учитывая состояние работ по проблеме «Закономерности развития ископаемых углей в земной коре» и ее значение для выполнения семилетнего плана развития народного хозяйства СССР, совещание обращает внимание на необходимость всемерной активизации исследований по истории угленосности. С этой целью предлагается создание Сибирской тематической комиссии для координации работ по данной проблеме. Состав комиссии, избранной из представителей научных и производственных организаций, ведущих изучение геологии углей на территории Сибири и Дальнего Востока, рекомендуется для утверждения Бюро Президиума Сибирского отделения АН СССР. При анализе состояния планов научно-исследовательских работ по отдельным эта-

нам угленакопления совещание отметило наличие в планах ряда тем, способствующих ускорению поисков и разведки коксующихся углей для удовлетворения потребностей третьей металлургической базы Союза. Вместе с тем, обращается внимание на неравномерность охвата исследованиями различных этапов угленакопления и отставание в изучении некоторых угленосных бассейнов.

Так, в верхнепалеозойском этапе угленакопления отмечается отсутствие обобщающих тем по Таймыру. Планы сибирских академических организаций составлены без полного охвата вопросов нижне- и верхнемезозойского и третичного этапов угленакопления. Например, в планах ЛАГУ СОАН СССР отсутствует тематика по Чулымо-Енисейскому и Канскому бассейнам и не предусматривается участие лаборатории в изучении других бассейнов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Якутский филиал не занимается изучением Южно-Якутского бассейна. В планах Якутского и Дальневосточного филиалов отсутствует тематика по истории третичного угленакопления и т. д.

Совещание обратилось в Сибирское отделение с просьбой усиления работ по истории угленакопления и о включении в планы всех восточных филиалов, Института геологии и геофизики, а также Сахалинского и Бурятского комплексных институтов соответствующей тематики. Одновременно совещание высказало просьбу к Центральной тематической комиссии войти с ходатайством в Министерство геологии и охраны недр СССР и в Главгеологический РСФСР о включении в семилетние планы геологических управлений, трестов и научных институтов, начиная с 1960 г., тем по истории угленакопления. В решении совещания указаны конкретные рекомендации всем научным и производственным организациям о характере их участия в работах по изучению истории угленакопления на территории Сибири и Дальнего Востока.

Заслушанные на совещании доклады и сообщения по истории угленакопления и другим вопросам геологии угля признаны имеющими важное научное и практическое значение. Рассмотренные вопросы рекомендованы для дальнейшего их изучения. В частности, доложенные совещанию сотрудниками ЛАГУ АН СССР сводные карты пермского этапа угленакопления (Ф. А. Бочковский), нижнемезозойских угленосных провинций СССР (В. В. Мокринский) и комплекса карт по истории угленакопления Сучанского бассейна (И. И. Шарудо) рекомендованы в качестве макетов для составления сводных и региональных карт для других бассейнов. Вместе с тем, совещание отметило необходимость продолжения поисков и других рациональных методов и способов составления карт по истории угленакопления, имея в виду известную специфику условий формирования бассейнов различного генетического типа.

Учитывая важное значение генетической классификации углей при комплексном их изучении (доклад А. Б. Травина) и отсутствие единой классификации типов углей, совещание рекомендовало Центральной тематической комиссии создать в 1959 г. по этому вопросу специальное совещание. Кроме того, в связи с наличием в семилетнем плане научно-исследовательских работ значительного количества тем по стратиграфии Кузбасса, а также учитывая завершение ПИНЫ АН СССР монографии по насекомым пермо-карбона (доклад Б. Б. Родендорфа), признать необходимым созыв в 1961 г. междуведомственного совещания по уточнению стратиграфической схемы угленосных отложений бассейна.

Признан также целесообразным ежегодный созыв координационных совещаний по истории угленакопления и высказана просьба к Сибирскому отделению АН СССР об опубликовании материалов и решения настоящего совещания. В выступлениях и беседах участниками совещания неоднократно высказывалась мысль о необходимости самой тесной увязки в работе научных и производственных геологических организаций, а также о горячем желании ученых и работников геологической службы Советского Союза принять самое активное участие в решении важнейшей задачи семилетнего плана по интенсивному освоению природных ресурсов нашей страны, по рациональному размещению производительных сил на ее территории, по дальнейшему приближению промышленности к источникам сырья, топлива к районам потребления. Проведенное совещание, несомненно, окажет положительное влияние на укрепление междуведомственных деловых связей и рациональную мобилизацию коллектива сибирских геологов на решение научных и практических задач предстоящего семилетия в области геологии углей Сибири и Дальнего Востока.

И. Н. Звонарев

СТАТЬИ,

ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР»
В 1959 ГОДУ

За дальнейший расцвет науки в Сибири и на Дальнем Востоке, № 2.
Некрасов Н. Н., Шелест В. А. Советско-китайские научные исследования бассейна Амуре, № 10.

Экономика

Оленин А. С. Перспективы освоения крупнейших торфяных ресурсов Новосибирского экономического района, № 6.

Физико-математические и технические науки

Абрамов К. К., Ильин А. А. Определение частичных параметров контактной сети шахты, № 9.

Алексеев Л. С. О методе извлечения минеральных примесей из ископаемых углей, № 5.

Алферьева Н. Г., Карандеев К. Б. Об особенностях температурных характеристик точечных германиевых выпрямителей типа ДГ-Ц, № 3.

Баюла А. Г. О значении сопутствующих минералов для извлечения полезных компонентов на концентрационном столе, № 12.

Бороловский П. А. Фазохронное взаимодействие гармонически колеблющихся электронов с полем незамедленной обратной волны, № 11.

Борщевский Ю. Т. О параметрическом методе расчета плоской круговой решетки, № 5.

Борщевский Ю. Т. О построении профиля круговой решетки по заданному распределению давлений, № 7.

Владимиров В. М. К корреляционной связи прочности грунта на отрыв с влажностью, № 11.

Власов А. Я., Сафонов В. А., Сафонов И. А. Температурная зависимость магнитострикции никель-медных сплавов, № 2.

Власов А. Я., Гуськова И. Л. Температурная зависимость магнитострикции железа, № 3.

Виноградов А. Л. Автоматизированный асинхронный привод шахтной скиповой подъемной установки, управляемый с помощью жидкостного реостата, № 9.

Войтковский К. Ф. Скорость пластической деформации поликристаллического льда, № 4.

Гарцман И. Н. К вопросу о трансформации паводочной волны, № 12.

Гурков К. С. Влияние направления колебаний вибрирующего лотка на усилие его внедрения в штабель породы, № 8.

Гусев Е. П. К исследованию коэффициента полезного действия дальних электропередач, № 8.

Девятко Б. Н. Определение зависимости инерционности и регулируемости непрерывно действующих технологических аппаратов от их конструкций и режима работы, № 6.

Дзюбенко В. Т. Метод выбора формы щита и его положения в пласте, № 1.

Доильнищын Е. Ф. Исследование работы анализатора радиочастотного масс-спектрометра, № 9.

Дыхне А. М., Куниин И. А. Определение площади поверхности выпуклого тела по его проекциям, № 8.

Дюнин А. К. Основы теории метелей, № 12.

- Жданкович Л. Н., Комарова Т. Н., Сысков К. И., Балашенко В. А. О возможности получения гранулированного энергетического топлива из иркутских углей, № 11.
- Зыков А. А. Функции от графов, определяемые линейными уравнениями, № 5.
- Зыков А. А. Об определении длины дуги, № 12.
- Ильин А. А. Расчет затухания высокочастотных каналов по контактной сети шахт, № 7.
- Каминский В. С., Коршунов В. И., Соколова М. С. Обогащение буренских углей методами центробежной сепарации и комбинированными, № 1.
- Капустин Н. Г. Система расчетов для проектного обоснования мощности карьера, № 1.
- Карандеев К. Б., Мизюк Л. Я. О разработке аппаратуры для аэроэлектроразведки, № 7.
- Карымов Р. Г. Влияние активных сопротивлений на устойчивость настроенных электропередач, № 9.
- Киренский Л. В., Дрокин А. И., Лаптей Д. А. Влияние сжатия на температурный магнитный гистерезис никеля, № 2.
- Коротков Б. И. Решение задачи о фильтрации в случае «чистого шпунта» (при различных отметках дна нижнего и верхнего бьефов), № 2.
- Крумм Л. А. Две формы более общих уравнений экономичного режима объединенных энергетических систем, № 10.
- Крумм Л. А. О точности методики определения экономичных режимов энергосистемы № 11.
- Крумм Л. А. Некоторые результаты анализа дополнительной экономии при переходе от существующей упрощенной к более общей методике определения экономичных режимов объединенных энергосистем, № 12.
- Логвиненко А. Т., Федорова З. В. Безобжиговый тальковый кирпич и периклазофорстеритовый огнеупор из тальков Красноярского края, № 1.
- Лукашов Э. С. О самовозбуждении синхронной машины с регулятором, № 1.
- Лукашов Э. С. Самораскачивание синхронного генератора в настроенных электропередачах, № 4.
- Лукашов Э. С. Экспериментальное исследование самораскачивания генератора в настроенных электропередачах, № 8.
- Лисин Д. М. К вопросу о закономерностях процесса коксования углей, № 10.
- Маевская В. М. Зависимость между петрографическим составом угля и степенью его склонности к самовозгоранию, № 2.
- Макаров И. В. Метод анализа эффективности проходческих работ, № 4.
- Максимов Г. З. Надежность переключения полупроводникового триггера периодическими сигналами, № 6.
- Мелик-Степанов Ю. Г., Плаксин И. Н. К вопросу о выборе рационального способа обогащения титано-циркониевых россыпей Западной Сибири, № 3.
- Ольшевский О. В., Щербаков В. К. Симметричные короткие замыкания настроенных электропередач, № 6.
- Ольшевский О. В. О режиме напряжения компенсированной электропередачи, № 9.
- Орешкин В. Д. Внутренние напряжения в отливах, № 1.
- Путилова А. Т., Ольшевский О. В. Влияние распределения компенсирующих устройств на характеристики дальнейшей передачи, № 11.
- Решетняк Ю. Г. Исследование многообразий ограниченной кривизны посредством изотермических координат, № 10.
- Рыков И. А. Управление сдвоенными бессекционными щитами, № 6.
- Самочкин В. М. Переработка берегов водохранилища Новосибирской ГЭС на втором этапе его заполнения (1958 г.), № 8.
- Смолянинова Н. М., Геблер И. В. Опыт среднетемпературного коксования газовых углей Кузнецкого бассейна, № 4.
- Соловьев Ю. И. К задаче о предельном равновесии сыпучей среды под жестким штампом при отсутствии объемных сил, № 6.
- Страмковская К. К. К вопросу о спексаемости гуминовых кислот, № 4.
- Сунь Цао. О волноводе поверхностных волн тяжелой жидкости, № 5.
- Сыров Ю. П. Оптимальные режимы работы каскада ГЭС с водохранилищами длительного регулирования в энергетической системе, № 7.
- Троицкий Ю. В., Важенни В. И. Прибор для исследования электронных пучков с осевой симметрией, № 8.
- Харламова Е. И. О движении твердого тела вокруг неподвижной точки в центральном ньютоновском поле сил, № 6.
- Ходак Л. П., Кузнецов С. И., Иванов А. И., Серебренникова О. В., Молева Н. Г. О получении глинозема из глиноземистых доменных шлаков, № 2.
- Хрусталев И. К. Автоматический скиповый подъем, № 10.

- Цвид А. А. Расчет времени замораживания грунтов естественным холодом, № 6.
- Чайникова Н. А. Изучение взаимодействия собирателей с некоторыми разновидностями цинковой обманки месторождения Приморского края, № 10.
- Черменский М. П. Применение аэрометодов на рекогносцировочных изысканиях железных дорог, № 3.
- Щербаков В. К. Дальние электропередачи через линии, настроенные на полуволну, № 7.
- Щербаков В. К., Лукашов Э. С. Самовозбуждение генератора в настроенных электропередачах (о возможности участия реактивности генератора в настройке), № 5.

Химия

- Бабин Е. П., Плюсин В. Г., Насакина М. И. Алкилирование моноизопробилбензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия, № 1.
- Бабин Е. П., Плюсин В. Г., Зеленица М. И., Родигин Н. М. Обратимые реакции при алкилировании изопробилбензола пропиленом, № 11.
- Бабин Е. П., Плюсин В. Г., Насакина М. И., Родигин Н. М. Алкилирование диизопробилбензола пропиленом в присутствии хлористого алюминия, № 12.
- Бао Хан-шен. Вопросы комплексного использования китайских углей, № 2.
- Баркова Ф. Ф., Бунтин А. П. Взаимодействие твердого карбоната лития с хлористым водородом и хлором, № 2.
- Барышников Ф. А., Рузинова И. А., Федосова В. Я. К вопросу методики определения германия в каменном угле, № 5.
- Бацанов С. С., Дураков В. И. Определение ионности связей из поляризационных данных (предварительное сообщение), № 1.
- Бацанов С. С., Городецкая Л. И. Галогенселениды марганца, № 3.
- Бацанов С. С., Литвин Ю. А. Взаимодействие роданида меди с галогенами, № 9.
- Бергер А. С., Лилеев И. С. Кинетика взаимодействия β -двухкальциевого силиката с растворами едкого натра, № 2.
- Бокий Г. Б., Бацанов С. С. Кристаллохимическое обоснование общего хода качественного анализа, № 10.
- Быкова А. Г., Хазанов Е. И. К вопросу о выборе технологической схемы переработки нефелиновых пород Ужурского месторождения Красноярского края, № 6.
- Василевская А. Г. Двойные соединения из сульфатов кальция и натрия и их роль в формировании природного тенардита, № 1.
- Верещагин Л. И., Васильев Е. К., Нахманович А. С., Котляревский И. Л. Каталитический способ получения и некоторые физические характеристики 2, 4-, 2, 6-диметилпиридинов и 2, 4, 6-триметилпиридина, № 6.
- Веселов В. В. Прибор для ускоренного хроматографического анализа углеводородных смесей, № 4.
- Веселов В. В., Орешкин Д. Б., Попов Н. В. Хроматографический метод определения содержания углеводов в спиртах, получаемых гидрированием жирных кислот, № 12.
- Волкова Н. М., Гайдуков Г. В. Изучение процесса восстановления фторотитаната калия алюминием, № 4.
- Волкова Н. М., Гайдуков Г. В. Некоторые термодинамические данные фторотитаната калия, № 6.
- Гагаринский Ю. В., Маширев В. П. О кристаллогидратах тетрафторида циркония, № 11.
- Киргинцев А. Н. Применение дифференциального уравнения Ван-дер-Ваальса и законов Коновалова к процессам равновесной кристаллизации бинарных твердых растворов ионных солей в водных растворах, № 10.
- Киргинцев А. Н. Фазовые переходы в бинарных растворах, № 11.
- Колосов А. С. Система Na, Mg, Ca || $SO_4 - H_2O$ при 25°C, № 3.
- Котляревский И. Л., Волков А. Н., Фишер Л. Б. Лабораторный метод получения 2, 3-диметилбутана алкилированием изобутана этиленом, № 3.
- Котляревский И. Л., Волков А. Н., Фишер Л. Б. Алкилирование бутана и изобутана этиленом, № 4.
- Котляревский И. Л., Домнина Е. С. Дегидратация пропиленгликоля, изобутиленгликоля, метилэтилэтиленгликоля и их производных, № 8.
- Котляревский И. Л., Васильев Е. К., Верещагин Л. И. Некоторые физические характеристики 2-метил-6-R-пиридинов, № 9.
- Курбатов Д. И. Полярографическое поведение ниобия в присутствии титана и железа на фоне пирофосфорной кислоты, № 5.
- Курыдин К. С., Никонова Е. А., Козырева Р. А. Анабазин — ингибитор кислотной коррозии стали, № 3.
- Ланин В. А., Сидоров Р. И. Хроматографическое разделение фенолов сланцевой смолы, № 12.

- Латышев В. П., Попова Н. И. Изучение процесса каталитического окисления пропилена. Сообщение 3. О методах определения акролена в продуктах каталитического окисления пропилена над медным катализатором, № 9.
- Логвиненко А. Т., Урываева Г. Д., Третьякова А. С. О твердении магнезиального цемента, № 4.
- Ляпунов М. Ф. О формировании тенардита в озере Ажбулат, № 6.
- Маслова Е. И., Лилеев И. С. О взаимодействии между Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2 и CaO при температурах спекания (сообщение 4-е), № 6.
- Михайлов М. А., Ведерникова Т. И. Пирогидролиз фтористого кальция и флюорита в динамических условиях с добавкой двуокиси кремния, № 3.
- Михайлов М. А. Термодинамическое исследование системы $\text{CaF}_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (пар), № 4.
- Молева Н. Г., Иванов А. И., Ходак Л. П. Влияние содержания окиси кальция на структуру и свойства саморассыпающихся алюмокальциевых шлаков, № 8.
- Николаев А. В., Синицын Н. М. Изучение изотопного обмена в некоторых соединениях кобальта, № 7.
- Николаев Н. С., Опалевский А. А. Исследование растворов Mo(VI) во фтористоводородной кислоте, № 12.
- Ожигов Е. П., Коцупало Н. П., Боровицкая Н. В. Безавтоклавное разложение да-толитовой руды содой, № 5.
- Пешевницкий Б. И. Изучение процесса образования трикарбаматного комплекса уранила, № 9.
- Покровская О. Г. Скорость окисления моноаминомонокарбоновых кислот в различных условиях, № 8.
- Полова Л. В. Значение энергий термов электронных конфигураций f^3S , f^2d , f^2d^2 , № 7.
- Рожков А. М., Рафиков С. Р., Анучина И. Г. Совместная полимеризация дипентена с акрилонитрилом, № 5.
- Смирнов М. В., Циовкина Л. А. Катодные процессы при электролизе солевых расплавов, содержащих титан, № 10.
- Сосипатров Т. М., Ляпунов М. Ф. Изменение химического состава рапы озера Б. Ажбулат по многолетним данным, № 3.
- Сташкова Н. В., Зелянская А. И. Полярнографическое определение германия, № 1.
- Фотиев А. А., Андреев В. М. Укрупненные опыты по получению двуокиси титана сульфатно-натриевой плавкой, № 7.
- Хазанов Е. И., Кузьмина Г. В. Изменение фазового состава нефелино-содово-известняковой шихты при спекании в присутствии восстановителя, № 9.
- Цзян Бин-нань, Вей Ши-пин, Лин Ли-у, Гуан Чже, Чжоу Фын-ден, Калечиц И. В. К вопросу о гидрогенизации сланцевых смол на стационарных катализаторах, № 2.
- Чжан Да-юй. Некоторые итоги научно-исследовательских работ в области искусственных жидких топлив в Институте нефти Академии наук Китая, № 2.
- Шарова А. К., Фотиев А. А. Получение двуокиси титана из продукта восстановительной сульфатно-натриевой плавки ильменитового концентрата, № 4.
- Шарова А. К., Чуфарова И. Г., Виттих М. В., Шостак Ф. Т. Выделение германия из разбавленных растворов методом ионного обмена, № 8.
- Шарова А. К., Штин А. П. О фосфорнокислой соли ниобия, № 9.
- Штин А. П., Шарова А. К. О фосфорнокислой соли тантала. Сообщение 2-е, № 10.
- Яковлев Л. К., Лилеев И. С. Исследование химизма процессов, протекающих в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ при температурах спекания. Сообщение 1. Взаимодействие кианита с содой, № 5.
- Яковлев Л. К., Лилеев И. С. Исследование химизма процессов, протекающих в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ при температурах спекания. Сообщение 2. Взаимодействие между силикатом натрия и окисью алюминия и между алюминатом натрия и кремнеземом, № 8.

Биология

- Бардунов Л. В. Мхи побережий и гор Северного Байкала, № 9.
- Беляев Ю. Б. Аномалии у ондатры как показатель состояния популяции, № 4.
- Бромлей Г. Ф. Состояние популяции дикого пятнистого оленя и горала на Дальнем Востоке, № 2.
- Брянцева З. Н. О прививках некоторых декоративных цветочных растений, № 5.
- Брянцева З. Н. Об изменениях в азотистом обмене у растений под влиянием прививок, № 8.
- Брылев В. К. Увлажнение почвы талыми водами в Приобской лесостепи, № 1.
- Галуза О. И. Влияние торфяных удобрений на свойства темно-серых лесных почв и урожай картофеля в Томской области, № 2.

- Гительзон И. И., Терсков И. А. Физиологическое значение кислотной стойкости эритроцитов, № 6.
- Гукасия А. Б. Опыт использования микробиологического метода борьбы с сибирским шелкопрядом в Тувинской автономной области, № 9.
- Дорогостайская Е. В. О сменах растительности в связи с термокарстом на севере Якутии, № 12.
- Еловская Л. Г. Краткая характеристика почв бассейна реки Ирэлэ и возможности их сельскохозяйственного освоения, № 4.
- Золотарев Е. X. Современное состояние вопроса о применении средств индивидуальной защиты от нападения гнуса и клещей, № 9.
- Зольников В. Г. Некоторые критические замечания на статью С. А. Коляго «О систематике и построении генетических рядов почв», № 4.
- Ильин В. Б. Формы фосфора в каштановых почвах Центральной Кулунды, № 4.
- Иоганзен Б. Г. Спорные вопросы современной экологии. Сообщение 1, № 8.
- Иоганзен Б. Г. Спорные вопросы современной экологии. Сообщение 2, № 9.
- Карнаухов Н. И. К характеристике почв ельников Среднего Приангарья в пределах Усть-Удинского района Иркутской области, № 8.
- Клевенская И. Л. Распространение и состав актиномицетов в южных черноземах Кулунды, № 6.
- Ковалев В. Н. Фотопериодическая реакция некоторых сортов фасоли, № 7.
- Кожова О. М. Систематический список планктонных водорослей озера Байкал и некоторые данные по биологии их массовых форм, № 10.
- Коляго С. А. О систематике и построении генетических рядов почв (к основам палеопочвоведения). Сообщение 3, № 3.
- Коляго С. А. К вопросу использования почвенно-географических материалов для определения направления развития сельского хозяйства и соотношения его основных отраслей, № 6.
- Коляго С. А. Опыт палеогеографической оценки данных по истории хозяйственной деятельности человека на территории Минусинской впадины, № 7.
- Лавов М. А. Влияние соболя на численность белки в Восточной Сибири, № 1.
- Лашинский Н. Н., Реймерс Н. Ф. Роль животных в жизни лиственничных и кедровых лесов Алтая, № 2.
- Лопатин В. Д., Бухтеева А. В. К характеристике растительных зон острова Сахалин, № 10.
- Лурье М. А. К фауне короедов (*Ipidae*) Кемеровской и Новосибирской областей, № 4.
- Мазилкин И. А., Шлыкова О. М. Влияние источников азотного питания на азотный обмен в клетках *Vacc. megatherium*, № 3.
- Мельников В. К. Радиоактивный фосфор как индикатор физиологического состояния древесных растений, № 3.
- Мирошниченко Л. А. Микробиологические основы применения минеральных удобрений в почвах Иркутской области, № 6.
- Наплекова Н. Н. Антагонистическое действие актиномицетов на азотобактер, № 5.
- Наплекова Н. Н. Влияние температуры на развитие азотобактера, № 11.
- Некрасова Т. П., Сакович Н. Г. Плодоношение пихты сибирской (сообщение 2), № 1.
- Панфилов В. П. О влажности завядания растений на каштановых почвах Центральной Кулунды, № 1.
- Патриевская Г. Ф. Материалы к характеристике арундиелловых лугов Приханкайской равнины, № 5.
- Пешкова Г. А. Степи Приангарья и их связи со степями соседних территорий, № 11.
- Подгайная Е. С., Сухенко Ф. Т. Аргиназная активность пушистого и ржавого микроспорумов эпидермофитона и фузариев, № 11.
- Попов Л. В. К вопросу о генетической классификации типов леса, № 7.
- Реймерс Н. Ф. Птицы и млекопитающие в очагах массового размножения сибирского шелкопряда среди лиственничных лесов Тувы, № 10.
- Реймерс Н. Ф. К вопросу о роли позвоночных животных в возобновлении лесов лесостепной Тувы, № 12.
- Рейфман В. Г. Ржавость картофеля — результат нарушения фосфорного обмена, № 3.
- Роничевская Г. М. Реакция зародышевого эпителия семенника при местном и общем воздействии рентгеновыми лучами, № 10.
- Сакс А. И. К изучению эколого-анатомических особенностей видов и сортов земляники, № 5.
- Савельев Н. М. О биологических основах повышения семенной продуктивности люцерны, № 1.

- Савоськин И. П. Влияние внешних условий на химический состав клеточных оболочек, № 7.
- Селяков С. Н., Зальцман И. Г. Четвертичные погребенные почвы Приобского плато, № 1.
- Сидоренко А. И. Микробиологическая характеристика каштановых почв Центральной Кулунды, № 9.
- Славнина Т. П. Влияние процесса рассоления на содержание и подвижность питательных веществ в луговых солончаках Барабы, № 7.
- Ссорин В. А. Корневая система сосны в Забайкалье, № 12.
- Сухенко Ф. Т., Подгайная Е. С. Об использовании аргинина некоторыми грибами, № 7.
- Тарбаева Л. П. Биологический контроль за ростом и развитием бахчевых в условиях Новосибирска, № 9.
- Терновский Д. В., Терновская Ю. Г. Опыт изучения биологии обыкновенной сплюшки в период выкармливания птенцов, № 11.
- Тихомиров Б. А. Некоторые итоги и основные проблемы изучения растительного покрова севера Сибири, № 2.
- Уткин А. И. Краткая характеристика лиственничных лесов Центральной Якутии, № 3.
- Тюменцев Н. Ф. Методика качественной оценки почв на генетико-производственной основе, № 12.
- Шаповалов В. П. Влияние температуры и влажности на разложение растительных остатков в черноземах Северной Кулунды, № 9.

Краткие сообщения

- Барышников Ф. А. Удаление фосфора из молибденовых концентратов путем выщелачивания водными растворами соляной или серной кислоты, № 2.
- Бутаков И. Н. Метод теплового баланса в разрешении вопросов тепловой энергетики, № 5.
- Войцеховский Б. В., Коваль А. А., Сунь Цао. Теневой метод регистрации волн на поверхности жидкости, № 5.
- Гусынина Л. М. Особенности биологии малинной тли *Aphis idaei* V. d. Goot, № 11.
- Делова Г. В. Содержание углеводов и азотистых веществ в некоторых дикорастущих видах лука, № 7.
- Дюнин А. К. О полупирической теории турбулентного пограничного слоя, № 5.
- Ивановская О. И. Тли (*Aphidoidea*, *Homoptera*) зеленых насаждений г. Новосибирска, № 4.
- Коляго С. А. О генетической сущности «бурых лесных» почв Сибири, № 8.
- Кунии И. А. Абсолютный минимум одного функционала, № 11.
- Левинсон М. С., Комолова Г. С., Гуревич Ф. А. О механизме действия озвученной воды на простейшие, № 8.
- Мелик-Степанов Ю. Г. Научно-исследовательские горно-металлургические институты Румынской Народной Республики, № 5.
- Ошмарин П. Г. О необходимости увязки профилактических мер борьбы против гельминтозов сельскохозяйственных животных с рациональным использованием пастбищ, № 4.
- Полевой В. В., Гамбург К. З. Влияние ауксина на некоторые стороны обмена веществ в отрезках coleoptилей кукурузы, № 11.
- Селяков С. Н. Произрастание березы на засоленных почвах Кулунды, № 2.
- Сударев П. М., Бойко В. С., Арнаутов Н. В. Содержание некоторых микроэлементов в почвах и в золе растений Новосибирской области, № 11.
- Тышев А. А. Прибор для определения коэффициента горных пород под давлением, № 11.
- Худомясова Ю. В. Некоторые закономерности распределения и весеннего стаяния снежного покрова в бассейне р. Сема (Горный Алтай), № 2.
- Черняк А. С. О ванадиевом сырье для производства легированных сталей и чугунов в Восточной Сибири, № 7.
- Шаламов Б. С. Лабораторный характернограф для полупроводниковых триодов, № 2.
- Якимов Ю. Л. Причина гашения волн дождем, № 5.

Хроника

- Батищев В. А. В президиуме Сибирского отделения АН СССР, № 3.
- Дерибас А. А. Всесоюзное совещание по проблемам взрыва, № 3.
- Кузнецов В. Е. Всесоюзное совещание по биофизике эритроцитов, № 11.
- Майоров В. М. В Дальневосточном филиале Сибирского отделения АН СССР, № 2.

- Майоров В. М. В Дальневосточном филиале Сибирского отделения АН СССР, № 7.
- Матвеев И. И. О развитии общественных наук в Сибирском отделении АН СССР, № 7.
- Новосибирский государственный университет.
- Санжиев Г. Л. Научная сессия Бурятского КНИИ СОАН СССР, посвященная 300-летию добровольного вхождения Бурятии в состав России, № 11.
- Шабанов С. И. Научно-техническое совещание по перспективам комплексного использования торфяных ресурсов Новосибирского экономического района, № 6.

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
15	3 сверху	разность $ \bar{v}_s - v $	разность $ \bar{v}_s - \bar{v} $
19	9 снизу	Тогда всасывающее давление f_B определяется так:	Тогда всасывающее давление f_B (если минимальное давление на оси вихрей считать распределенным на 25% площади) определится так:
28	5 сверху	$+ \varphi Q'_{T+\theta_m}(\theta_m) =$ $= \sum_{\theta_l = \theta}^{\theta_m} \varphi Q'_{T \pm \theta_l}(\theta_l).$	$+ \varphi Q'_{T+\theta_m}(\theta_m) =$ $= \sum_{\theta_l = \theta}^{\theta_m} \varphi Q'_{T \pm \theta_l}(\theta_l).$

ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный научный журнал

ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Журнал рассчитан на научных работников различных исследовательских учреждений, профессорско-преподавательский состав вузов и ведущих специалистов производства.

В журнале публикуются статьи, освещающие результаты новейших исследований в области физико-математических и технических наук, а также в области биологии, химии и экономики, имеющие важное научное и прикладное значение.

Журнал печатает также материалы критико-библиографического характера.

В журнале имеется отдел хроники, освещающий наиболее важные события в жизни научных учреждений Сибирского отделения АН СССР.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА ЖУРНАЛА

на 12 месяцев — 84 руб.

на 6 месяцев — 42 руб.

на 3 месяца — 21 руб.

Цена отдельного номера 7 руб.

Подписка принимается всеми городскими и районными отделами Союзпечати, отделениями и агентствами связи и общественными уполномоченными в научно-исследовательских институтах, учебных заведениях и учреждениях, а также в магазинах «Академкнига».

Отдельные номера журнала могут быть высланы наложенным платежом. Заказы направлять в Новосибирский магазин № 1 Облкниготорга, отдел «Книга—почтой» (Новосибирск, Красный проспект, 21) или в редакцию журнала (Новосибирск, Советская, 20, комн. 428).