М. П. Фивег и А. П. Шубин

553.64:622.364
Ф48

АПАТИТЫ

ОНТИ 1938

М. П. Фивег и А. П. Шубин

553.6(х.ай.)
Ф-48
553.64
1807 645

АПАТИТЫ



ОНТИ НКТП СССР 1937
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ГОРНО-ТОПЛИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва Ленинград

ГТ—40—5—3
Прот. ТКК № 94

АННОТАЦИЯ

Книга «Апатиты» ставит задачей суммировать и объединить важнейшие сведения о главнейших месторождениях апатита, залегании, генезисе, добыче, первичной обработке апатита, применении апатита и отходов его обогащения.

Книга рассчитана на инженерно-технических и практических работников горно-химической промышленности, неметаллических рудников, туковой промышленности и на студентов горно-эксплоатационной и обогатительной специальностей горных втузов и техникумов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Монография «Апатиты» посвящается апатитовой промышленности, новой и молодой в СССР, но освоенной прочно за короткий срок и занявшей видное место в системе народного хозяйства.

Монография ставит основной своей задачей систематизировать, суммировать и объединить все важнейшие сведения о геологии, минералогии и главнейших месторождениях, о залегании, генезисе, добыче, первичной обработке и применении апатита.

Целесообразность освещения всего комплекса вопросов, связанных с разработкой апатитовых месторождений, и объединения сведений по всем разделам по апатиту несомненна.

Особое место отводится в монографии:

а) описанию Хибинских апатитовых месторождений СССР, не имеющих по запасам апатита равных в мире,

б) описанию апатитового рудника им. С. М. Кирова и апатитовой флотационной фабрики в г. Кировске, крупнейших предприятий мирового значения, выросших в новом индустриальном районе на севере СССР.

Открытие огромных минеральных богатств в Хибинской тундре явилось результатом широких исследований, возобновленных с 1920 г. на Кольском полуострове по инициативе и под руководством академика А. Е. Ферсмана, и итогом геолого-разведочных работ, проведенных здесь широким фронтом и невиданными темпами.

«Северная, тяжелая, бесплодная и бесполезная пустыня оказалась в действительности одним из богатейших мест на земле» (С. М. Киров).

Освоение колоссальных минеральных богатств, открытых в Хибинской тундре, и создание на севере СССР крупнейшего горнопромышленного района связаны неразрывно с именем Сергея Мироновича Кирова.

Вдохновитель хибинской стройки, С. М. Киров, наметил с исключительной дальновидностью путь большевистского освоения Севера. «Этот край еще недавно назывался краем «непуганой птицы». Мы теперь должны так тряхнуть эту старую землю, чтобы установить и извлечь все, что в ней содержится» (С. М. Киров).

Пришедшие в Хибинскую тундру руководители, строители и организаторы апатитовой промышленности, инженеры и рабочие, следуя указаниям С. М. Кирова, победили тундру и разрушили в корне легенду о «бесполезной, бесплодной пустыне севера».

Туковые заводы СССР получили собственное фосфатное сырье — апатитовый концентрат, по содержанию не менее 39,2% фосфорного ангидрида, превосходящее наилучшие в мире виды фосфатного сырья — марроканские и флоридские фосфориты.

Материал монографии «Апатиты» состоит из двух частей:

Часть, I, «Геология, минералогия и месторождения апатита», написана М. П. Фивегом.

Часть II, «Запасы, добыча, переработка и применение апатита, написана А. П. Шубиным.

Монография «Апатиты» рассчитана на инженерно-технических и практических работников горно-химической промышленности, неметаллических рудников и туковой промышленности, на студентов горно-эксплоатационной и обогатительной специальностей горных втузов и техникумов.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

МИНЕРАЛОГИЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1. МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АПАТИТА

В земной коре встречается большое количество разнообразных фосфатовых минералов, по подсчетам G. Berg'a — около 15. Все они, за малым исключением, представляют соли ортофосфорной кислоты (фосфор в них пятивалентен, ионный радиус — 0,35 Å); *большинство из них встречается исключительно редко. Преобладающее значение и распространение имеет апатит*[1] *и близкие к нему по составу и структуре минералы, слагающие фосфориты осадочных пород. Они составляют около 95% общего количества фосфатов земной коры.*

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Апатит является сложной солью ортофоефорной кислоты. Формула его может быть записана по G. Rose в следующем виде:

$$3Ca_3(PO_4)_2\ CaR'_2,$$

где R′ — F, Cl, OH и т. д.

Нужно иметь в виду, что в таком написании формула имеет смысл как мнемоническая.

Рентгеновскими исследованиями последних лет доказано отсутствие в структуре апатита пространственно обособленных групп CaR_2' и $Ca_3(PO_4)_2$; реально существует только тетраэдрическая группа PO_4. В силу этого более целесообразной является следующая транскрипция формулы апатита:

$$Ca_{10}R'_2(PO_4)_6$$

она представляет собою количество атомов, распределенных в элементарной ячейке апатита.

В ряде апатитов, особенно связанных по своему происхождению с основными породами, часть кальция замещена магнием. Количество MgO в апатитах редко поднимается выше 0,5%. Свободной взаимной замене в составе тех или иных минералов кальция и магния препятствует большая разница ионных радиусов этих элементов (Mg — 0,78 Å и Ca — 1,06 Å). Магний является существенной составной частью вагнерита Mg_2PO_4F (C. Rammelsberg, 1886 г.) — минерала моноклинной сингонии,

[1] Название минерала дано G. Werner'ом в 1786 г. от греческого корня «апато» — обманываю — из-за внешнего его сходства с бериллом и корундом. В 1788 г. Klaproth доказал, что этот минерал является фосфатом.

ничего общего в структурном отношении с апатитом не имеющего.

Исключительно редко и в небольших количествах в состав апатита входит двухвалентное железо (Fe^{+2} — 0,83 Å), и мало вероятно также присутствие в апатите заметных количеств бария (Ba — 1,43 Å).

Стронций вследствие меньшей разницы в размерах ионных радиусов (Sr — 1,27 Å) легче, чем перечисленные выше элементы, может входить в состав апатитовой решетки, замещая собою кальций. Невысокая концентрация стронция в магме и особенно в тех продуктах, из которых непосредственно образуется апатит, делает его элементом, редко встречающимся в апатитах. Исключением является хибинский апатит, в составе которого количество SrO доходит до 2,3%[1].

Из других элементов наиболее близок к кальцию, по размеру ионного радиуса, двухвалентный марганец (Mn^{+2} — 0,91 Å). M. Seebach (1918 г.) выделил специальную группу марганцевых апатитов, в пределах которой содержание MnO более или менее равномерно распределяется в интервале 1,22—10,59%. Возможно, что в некоторых индийских апатитах, отличающихся высоким удельным весом, доходящим до 3,41, содержание MnO превышает 10%[2]. Если бы в процессе диференциации магмы концентрация марганца всегда совпадала с моментом образования фосфатов, то имело бы место широкое участие марганца в составе апатитов. В природных же апатитах марганец присутствует сравнительно редко.

Таблица 1

Группы	Элементы	Размер ионного радиуса в Å	
I	Mg	0,78	Не замещают Ca
	Fe^{+2}	0,83	
II	Mn^{+2}	0,91	Замещают Ca
	Ca	1,06	
	Sr	1,27	
III	Pb^{+2}	1,32	Не замещают Ca
	Ba	1,43	

[1] При кислотной переработке апатита на удобрения стронций входит в состав усвояемых растением фосфатов. Присутствие его, как показали специальные физиологические исследования, никаких вредных влияний на растения не оказывает.

[2] При использовании марганцевых апатитов в сельском хозяйстве необходимо иметь в виду, что марганец при невысоких концентрациях стимулирует развитие растений. Он необходим для нормального проявления фотосинтеза, накопления зольных элементов и синтеза витаминов.

В зоне выветривания (железной шляпе) свинцовых сульфидных месторождений образуется своеобразный аналог апатита — пироморфит $Pb_{10}Cl_2(PO_4)_6$.

R′ в апатите чаще представлен фтором (фторапатит) и сравнительно редко—хлором (хлорапатит). Фтор и хлор в силу значительной разницы их ионных радиусов (F^{-1}—1,33 Å, Cl^{-1} — 1,81 Å) не могут взаимно замещаться. Наличие в природе большого количества апатитов, в составе которых присутствуют оба эти галоида, имеет место вследствие образования твердых растворов (II рода) хлор- и фторапатитов. I. Hendrichs'y и его сотрудникам (1931 г.) при рентгеноскопическом изучении фосфатов удалось установить наличие апатита промежуточного состава $Ca_{10}FCl(PO_4)_6$ с равным количеством в элементарной ячейке атомов фтора и хлора.

В природе преобладают апатиты, содержащие только фтор, или с присутствием небольших количеств хлора. В 70% опубликованных анализов апатита фтора содержится 3,8—1,9%. В половине этих анализов хлор отсутствует. Там же, где он есть, он обыкновенно составляет не более 0,5%. В остальных 30% анализов апатита, ранжированных по хлору, наблюдается резкое снижение числа анализов по мере приближения к теоретическому содержанию хлора.

Хлорапатиты пока известны только из южной Норвегии и Южной Америки. Как правило, в апатитах содержание галоидов всегда ниже теоретического количества. Особенно этот дефект дает себя чувствовать при содержании фтора в интервале 2,8—0,9%, где присутствующий одновременно хлор далеко не компенсирует недостатка фтора. Этот дефект суммы галоидов вызвал ряд гипотез. Так, I. Voelker предполагал, что недостающее количество их компенсируется CaO. Rodgers (1913 г.) пытался доказать наличие минерала состава $3Ca_3(PO_4)_2CaO$, который и был назван оксиапатитом или фолькеритом. G. Hausen (1928 г.) выдвинул предположение о существовании щелочного апатита $3Ca_3(PO_4)_2NaF$, участие которого в составе апатитовой молекулы способствует снижению количества галоидов. Существование окси- и щелочного апатита оспаривается прежде всего по структурным соображениям, так как минералы такого состава не могут иметь структуры нормальных, галоидных апатитов.

Экспериментальными работами последних лет, главным образом G. Trömel'я в Германии, установлена невозможность образования оксиапатита и, наоборот, доказана легко осуществляемая замена фтора группой (OH), которая одинакова с ним по заряду и близка по размеру ионного радиуса. Обстоятельными исследованиями A. Schletde, W. Schmidt'a и H. Rindt'a (1932 г.) выяснилось, что в результате воздействия воды, даже при нормальной температуре, на ди-, три- и тетракальций-фосфат они легко подвергаются гидролизу с образованием минерала состава $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$, который Basset'ом (1908 г.) был назван гидроксилапатитом. При нагревании фосфатов кальция ими погло-

щается вода, и они переходят в гидроксилапатит. При воздействии на фторапатит перегретым паром при температуре 1300° осуществляется полная замена фтора на гидроксильную группу.

Гидроксильная группа прочно сидит в молекуле апатита и начинает выделяться в условиях прокаливания только при температуре в 1200°. В силу этого обстоятельства при анализе природных апатитов она всегда пропускалась.

Повидимому, гидроксилапатит пользуется достаточно широким распространением среди фосфатов, связанных как с изверженными породами, так и с осадочными.

Недостаток галоидов, часто отмечаемый в анализах природных фосфатов, объясняется, вероятнее всего, наличием гидроксильной группы, аналитически не определенной, а не кислорода, или изоморфным участием щелочного фосфата.

В ближайшее время, повидимому, будет освоена методика быстрого и надежного определения гидроксильной группы в фосфатах, и тогда удастся установить количественное участие гидроксилапатита в различных типах природных фосфатов.

Гидроксилапатит впервые был синтезирован в 1892 г. O. Forster'ом. В 1935 г. был описан крупный кристалл (3×15 *см*) этого минерала, найденного в кантоне Ури в Швейцарии.

R_2' может замещаться и группой CO_3. Крайний продукт этого замещения $Ca_{10}(CO_3)(PO_4)_6$ — карбонатапатит (W. Eitel, 1924 г.), или подолит (В. Н. Чирвинский, 1913 г.),— имеет апатитовую структуру и встречается только в осадочных породах. В апатитах Леахерского озера на Рейне R'_2 замещено группой SO_4.

Химический состав (в %) разностей апатита характеризует табл. 2.

Таблица 2

Название	Формула	$Ca_3(PO_4)_2$	CaO	P_2O_5	F, Cl, H_2O, CO_2	F, Cl (поправка)
Фторапатит	$3Ca_3(PO_4)_2\ CaF_2$	92,26	55,51	42,25	3,77	—1,51
Фтор-хлорапатит	$3Ca_3(PO_4)_2\ CaFCl$	90,81	54,71	41,56	F—1,35 Cl—3,46	—1,08
Хлорапатит	$3Ca_3(PO_4)_2\ CaCl_2$	89,40	53,80	40,91	6,81	—1,52
Гидроксилапатит	$3Ca(PO_4)_2Ca(OH)_2$	92,63	55,80	42,40	1,80	—
Оксиапатит	$3Ca(PO_4)_2\ CaO$	87,14	56,72	43,28	—	—
Щелочный апатит	$3Ca_3(PO_4)_2\ NaF$	88,07	51,88	43,80	Na_2—3,18 F —1,95	—0,81
Подолит	$3Ca_3(PO_4)_2\ CaCO_3$	90,29	54,39	41,36	4,25	—

В составе апатитов часто встречаются редкие земли, преимущественно цериевой группы. В природных фосфатах их содержание доходит до 5,2% (Италия). В искусственно полученных продуктах было достигнуто гораздо более высокое содержание редких земель.

Трехвалентные редкие земли, обыкновенно в комбинации со щелочами, заменяют кальций: $(TRNa)^{+4}$ на $(Ca_2)^{+4}$ (И. Д. Старынкевич-Борнеман, 1935 г.).

В этом случае имеет место компенсация как валентности, так и объемов.

По тем аналитическим данным, которыми мы сейчас располагаем, в изверженных породах фосфор апатита обыкновенно ничем не замещается. Ванадий, который бы мог его заменить, в обстановке диференциации магмы трехвалентен и резко отличен по размеру ионного радиуса [1].

Таблица 3

Элемент	Валентность	Ионный радиус в Å
P	+5	0,35
As	+5	0,3—0,4
V	+5	0,40
V	+3	0,65

Мышьяк обыкновенно концентрируется в эманационных продуктах в более низком температурном интервале, чем апатит.

Иначе обстоит дело с поверхностными процессами при выветривании полиметаллических свинцовых рудных месторождений. Фосфор широко может замещаться как ванадием, так и мышьяком. Крайние члены замещения представляют собой: $Pb_{10}Cl_2(PO_4)_6$ — пироморфит, $Pb_{10}Cl_2(VO_4)_6$ — ванадит и $Pb_{10}Cl_2(AsO_4)_6$ — миметезит.

Растворимость апатита в кислотах в последнее время изучалась в НИУИФе и ГИПХе для выбора оптимальных условий кислотной переработки апатитового сырья.

Апатит — относительно легко растворимый в кислотах минерал. По данным Л. М. Чепелевецкого, наиболее ходовые кислоты можно распределить в следующем порядке убывающей активности воздействия на апатит: H_3PO_4, H_2SO_4, HCl, HNO_3. Этот порядок имеет место для многих минералов.

По сравнению с фосфатом фосфоритов апатит оказывается труднее растворимым. Так, по работам А. В. Казакова и С. Н. Розанова можно наметить следующий порядок по возрастающей растворимости: апатит, подольские фосфориты, окристаллизованный фосфат фосфоритов (штаффелит), аморфный фосфат (курскит).

Этому же порядку следует усвояемость фосфатов при внесении их в почву в форме муки (размолотого, химически не переработанного продукта).

---

[1] Присутствие в апатите ванадия было бы весьма неприятным, так как этот элемент отличается явно выраженным вредным влиянием на растения.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Апатит кристаллизуется в гексагональной сингонии (пирамидальная гелиэдрия), часто бывает богат гранями (до 60) (рис. 1). Встречаются преимущественно призматические кристаллы; часто с концов они бывают притуплены системой призматических граней и пинакоидом. Редко встречаются тонкие игольчатые кристаллы и короткие призматические или пластин-

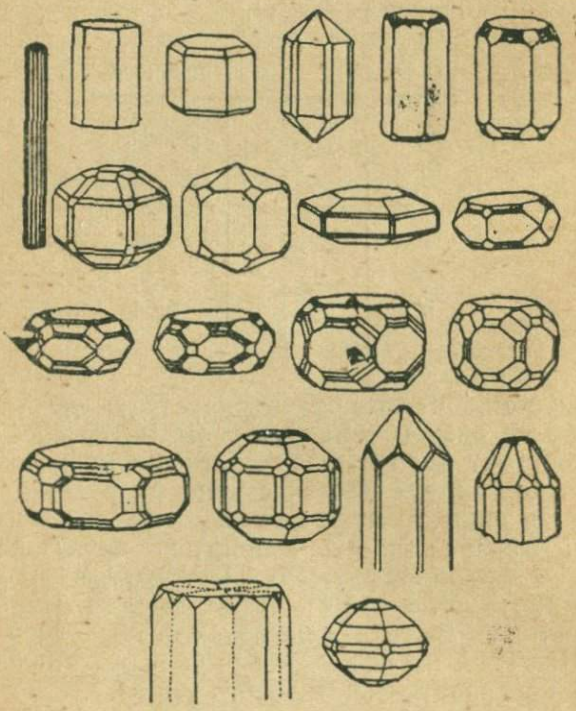


Рис. 1. Форма кристаллов апатита

чатые формы. Обыкновенно форма апатита от тонких игольчатых до пластинчатых меняется довольно закономерно в зависимости от температуры образования: игольчатые обыкновенно являются более высокотемпературными, они сменяются призматическими, последние укорачиваются и принимают пластинчатую форму.

Твердость апатита — 5 (по шкале Мооса).

Удельный вес варьирует в довольно широком интервале — 3,41—3,06, чаще встречаются 3,15—3,25. Колебания удельного веса связаны с изменением химического состава апатита. Синтетический фторапатит — 3,18, хлорапатит — 3,17. Увеличение удельного веса связано главным образом с присутствием в составе апатита редких земель (синтетический цериевый апа-

тит, содержащий до 5,9 TR_2O_3, обладает удельным весом 3,3). Резко повышает удельный вес также марганец.

Лучепреломление у апатита высокое:

по $N_{g\,(Na)} = 1{,}6691 - 1{,}6335$,
по $N_{p\,(Na)} = 1{,}6653 - 1{,}6316$.

По исследованиям H. Hausen'а, лучепреломление повышается с увеличением содержания хлора (увеличение Cl на 1% поднимает лучепреломление приблизительно на 0,005) и марганца (1% MnO поднимает лучепреломление на 0,003).

Двойное лучепреломление низкое: $N_g - N_p$ изменяется в интервале 0,002—0,005.

Hausen, обрабатывая литературные данные, пришел к выводу, что присутствие в апатите хлора и марганца повышает двупреломление, щелочи, наоборот, понижают его.

Температуры плавления, по данным Trömel'я (1932 г.), для хлорапатита 1530°, для фторапатита 1660°.

Структура апатита изучалась одновременно M. Mehmel'ем и Naray — Szabó. Они пришли к выводу о наличии двух молекул апатита $Ca_2P_2(PO_4)$ в элементарной ячейке. Размеры элементарных ячеек приведены в табл. 4.

Таблица 4

Автор	Год	a (Å)	c (Å)
Naray—Szabo	1930	9,37±0,01	6,88±0,01
Mehmel	1930	9,36±0,02	6,85±0,02
Hendrichs	1931		
Cl-апатит		9,52±0,03	6,85±0,03
OH-апатит		9,25±0,03	6,88±0,03
C. Burri и др.	1935		
OH-апатит		9,42	6,935

II. ОПИСАНИЕ АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В обстановке образования изверженных пород и связанных с ними рудных месторождений (в условиях диференциации магмы) почти все количество фосфора магмы связывается в форме апатита и только небольшое количество его, ассоциируясь с редкими землями, образует монацит ($CePO_4$) и ксенотим (YPO_4). С пегматитовыми жилами связано образование амблигонита — литиевого фосфата [$AlLiF(PO_4)$]. В низкотемпературном интервале пегматитового процесса иногда в небольших количествах встречаются фосфаты марганца и железа.

Фосфаты в условиях диференциации магмы только в исключительных случаях концентрируются, давая скопления, выгодные для добычи; в большинстве же случаев огромные количества фосфора рассеиваются в колоссальных объемах изверженных пород. Сравнительно редко приходится встречать породы, не содержащие апатита (это преимущественно ультраосновные

породы). Обыкновенно содержание фосфора близко к среднему содержанию в 16-*км* наружной оболочке земного шара — 0,25% P_2O_5, и только в некоторых основных породах, чаще щелочного ряда, содержание P_2O_5 поднимается до 2—4%[1]. Этот факт долгое время создавал уверенность в том, что в круговороте фосфора в природе только в стадии осадочного процесса могут в виде фосфоритовых месторождений концентрироваться большие объемы фосфатового сырья, выгодного для большой, механизированной добычи.

Совсем недавно наиболее богатые из всех известных тогда апатитовых месторождений были представлены жилами района Лянгезунда в Норвегии, неправильными скоплениями в флогопито-кальцитовых жилах Канады и Индии, а также в кварцево-апатитовых жилах Эстрамадуры в Испании и т. д., т. е. во всех случаях это были небольшие по запасам, трудно разрабатываемые скопления, а поэтому с дорогой рудой, недоступной для туковой промышленности.

Фосфатовое сырье при существующей теперь производительности туковых заводов должно быть массовым и дешевым. Эти требования могут быть удовлетворены сырьем, которое по условиям своего залегания допускает применение широко механизированной добычи. Вполне понятно, что мировая фосфато-туковая промышленность прошла мимо апатитовых месторождений и базировалась целиком на фосфоритах.

Постепенно найденные огромные месторождения высокосортных фосфоритов в Северной Америке, Африке и на океанических островах удовлетворили потребность разных стран, и вопросы, связанные с фосфатами изверженных пород, вышли из поля интересов промышленности и науки.

В несколько ином положении оказались комплексные, содержащие апатит железные руды Кируновара и др. Здесь экономически ведущая роль принадлежит железу, фосфор же концентрируется в томасшлаке[2] при переделке на железо или сталь фосфористых чугунов, полученных из содержащей фосфаты железной руды.

Безнадежность перспективы отыскания самостоятельных апатитовых месторождений была только в последнее время (в 20-х годах) поколеблена открытием месторождений Лулу-Коп в Трансваале и особенно в Хибинах. Теперь уже мы определенно знаем, что в процессе дифференциации магмы могут и вне комбинации с железом образовываться огромные по запасам и выгодные для дешевой добычи объемы апатитовых руд. Это обстоятельство стимулирует поиски новых апатитовых месторождений и расширение знаний в области геологии уже известных апатитовых месторождений и геохимии фосфора.

Главным образом в связи с эксплоатацией Хибинских месторождений проведены большие работы по обогащению апатиторуд и технологии апатита. К настоящему времени с полной

[1] Чтобы создать себе представление о количестве фосфора, рассеянного в изверженных породах, надо иметь в виду, что 0,25% P_2O_5 соответствуют запасу около 21 млн. *т* апатита в 1 $км^3$ породы.

[2] Весьма ценное фосфатовое удобрение.

определенностью выяснено, что в условиях любого природного парагенезиса минералов апатит может быть выделен в апатитовый концентрат с содержанием 38—40% P_2O_5, т. е. может быть получено сырье, превосходящее по содержанию фосфора самые богатые из известных нам концентратов фосфоритовых руд. Наиболее трудные условия обогащения имеют место при значительном участии в составе руды кальцита, который флотируется вместе с апатитом. Но и эта трудность была преодолена в самое последнее время.

Технология апатитового концентрата всесторонне проработана Научным институтом по удобрениям (НИУ). После настойчивого преодоления ряда специфических трудностей доказана возможность использования апатитового концентрата как исходного продукта во всех отраслях фосфато-туковой промышленности. Переработка апатита уже в большом масштабе осуществляется промышленностью.

1. АПАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СССР

а) Хибинские апатитовые месторождения

Географическое положение

Хибинский горный массив (Умптек [1]) находится в центре Кольского полуострова [2]. С запада он ограничивается живописным, вытянутым на 100 *км* в меридиональном направлении озером Имандрой (площадь 860 *км*²), за которым располагаются широко известные своими месторождениями никеля, меди и оливина Заимандровские тундры (Монча-тундра). С востока к Хибинам примыкает озеро Умбъявр, за которым находятся Ловозерские тундры, со своими мировыми месторождениями ниобий-танталовых (лопариты) и циркониевых (эвдиалиты) руд.

Хибинский массив в плане имеет эллиптическое очертание (длинная ось 41 *км* ориентирована на юго-запад; площадь массива 1138 *км*²) и представляет подковообразную систему гор, открытую к востоку (бассейн р. Тулиока).

Своими наиболее высокими хребтами в западной части массива Хибины на 1000—1200 *м* поднимаются над окружающей их угрюмой, однообразной по своей природе, слабо всхолмленной равниной, изобилующей озерами и болотами. И только отдельными островами из тайги равнины поднимаются безлесные тундры полуострова. В эту угрюмую природу севера Хибины своим богатым разнообразием форм и красок врываются резким диссонансом. Бурные горные реки, большое количество озер с холодной, идеально прозрачной водой, подпруженных моренными грядами недавно существовавших хибинских ледников, горные луга, еловые леса или сосново-ягельные боры, расположенные в доли-

---

[1] Часто называется тундрой. Под этим термином на Кольском полуострове понимают безлесные вершины горных массивов, которые поднимаются выше зоны лесной растительности. Лопари Ловозерского погоста вместо слова «тундра» говорят «хибины», что в их понимании является синонимом.

[2] 67°35′—67°55′ северной широты и 2°57′—4°42′ восточной долготы, на 150 *км* севернее полярного круга.

нах рек, крутые, обрывистые склоны гор, гигантские кресла цирков, угрюмые ущелья, — все это придает бесконечное разнообразие форм и красок незабываемо красивой оригинальной природе Хибин.

Хибины находятся в 1275 *км* железнодорожного пути от Ленинграда, в 50 *км* от Кандалакши (порт на Белом море, место строительства химического комбината) и в 120 *км* от незамерзающего Мурманского порта.

Ст. Апатиты на магистрали Кировской ж. д. соединена широкой колеей с рудником им. С. М. Кирова на Кукисвумчорре в долине р. Лопарской, через г. Кировск (б. Хибиногорск, на берегу оз. Большой Вудъявр). Сейчас отрезок пути от Апатитового рудника (ст. Нефелин) до Кандалакши электрифицирован. В ближайшем будущем будет электрифицирован участок Апатиты — Мурманск. Запроектировано электрифицировать всю Кировскую дорогу. Для электрификации Кольского полуострова используется в первую очередь энергия рр. Нивы и Ковды. На р. Ниве уже работает первая гидростанция с полной мощностью в 45 тыс. kW. Ведутся изыскания на этой же реке для окончательного выбора места строительства еще двух станций.

Геология Кольского полуострова

Геология Кольского полуострова чрезвычайно сложна и к настоящему времени в силу неравномерной изученности разработана недостаточно полно. Наиболее детально изучены Хибинские, Ловозерские и Заимандровские тундры, менее детально — прибрежная полоса и районы развития железистых кварцитов. Большая же площадь территории полуострова пока мало интересна в практическом отношении и почти не освещена геологически [1].

Полуостров сложен сильно дислоцированными, преимущественно метаморфическими породами архейского и протерозойского возрастов. Эти породы прорваны палеозойскими интрузиями основных (каледонских) и щелочных магм (герцинского возраста).

Работами последних лет сложно дислоцированная, запутанная серия архейских и протерозойских пород начинает расшифровываться, и постепенно вырисовываются контуры грандиозных процессов накопления осадков в морских бассейнах, прерываемых складко- и горообразованиями со сложным и разнообразным вулканизмом. Последовательность событий этого времени хорошо передается табл. 5, заимствованной у проф. А. А. Полканова, одного из наиболее крупных знатоков геологии полуострова (табл. 5).

После сложной истории в допалеозойское время земная кора в районе полуострова после протерозоя не подвергалась глубоким прогибам и не сминалась в новые системы складок. Она если и затоплялась, то неглубокими морями, проникновения же изверженных масс имели место в связи с расколами, вызван-

[1] Ленинградский трест ГГРУ составляет обзорную геологическую карту полуострова в масштабе 1:100.

ными интенсивными горообразовательными движениями в соседних с полуостровом геосинклинальных зонах.

В связи с преобладающей тенденцией к поднятию (в мезозое и кайнозое) огромная толща пород на поверхности полуострова, постепенно подвергаясь выветриванию, сносилась в прилежащие морские бассейны. В последнее время под тяжестью льдов, накопленных на Скандинавском полуострове, полуостров испытал некоторое погружение. После же стаяния льда возобновился и сейчас продолжающийся подъем полуострова. Движение льдов привело также к снятию с поверхности полуострова большого объема пород, слагающих ледниковые отложения на прилегающей к полуострову территории. После длительной препарировки теперь на поверхности полуострова обнажены породы, обладающие исключительно богатыми месторождениями разнообразного сырья.

В составе метаморфических пород преобладают разнообразные гнейсы с месторождениями гранатов, дистена, ставролита, пегматитов (щелочные полевые шпаты и слюды) и др. Меньшим распространением пользуются кристаллические сланцы, с которыми связаны месторождения кианита и слюдяных пегматитов. В северной половине полуострова широко развиты железистые кварциты. В них сосредоточен огромный запас железа; к сожалению, невысокая его концентрация (30—39% Fe) делает эти породы пока лишенными практического значения.

Промышленные месторождения железных руд были обнаружены в последнее время на границе с Финляндией по р. Ионе, приблизительно на широте южной части Хибин (см. описание на стр. 36). Здесь, повидимому, сосредоточены крупные запасы магнетитов с постоянной примесью апатита.

С юга к Хибинским и Ловозерским тундрам примыкает серия протерозойских пород (Имандра-Варзуга) — аналог Карельской свиты более южных районов. В верхних горизонтах серии Имандра-Варзуга, представленных метаморфизованными основными эффузивами и их туфами, недавно были констатированы карбонатные породы, редкие на Кольском полуострове и необходимые для местной строительной промышленности и для сельского хозяйства. Карбонатные породы прослежены на восток от Мурманской ж. д. на 12 км. Мощность их достигает 120 м. Верхние горизонты представлены доломитами (белая разновидность) с 21,4% MgO. Подчиненный по мощности нижний горизонт (серая разновидность) сложен метаморфизованными известняками, с MgO до 2%, CaO — 40,5%.

С основными же эффузивами серии Имандра-Варзуга связаны пирротиновые скопления. Промышленных месторождений этого минерала пока не обнаружено.

С молодыми основными интрузивами (сложены габбро, норитами, пироксенитами, перидотитами с «жилами» оливинита) связаны огромные запасы магнезиальных силикатов (оливина) и вкрапленных медно-никелевых сульфидных руд, возможны месторождения ванадий-содержащих титаномагнетитов. Щелочные интрузии во многих местах прорывают породы полуострова,

Таблица 5

Схема стратиграфии, тектоники, вулканизма и металлогении Кольского полуострова

	Возраст	Первоначальный состав формаций и комплексов (фаций)		Супракрустальные формации, эпохи диастрофизма и др. движения земной коры	Металлогения и геохимия
	Четвертичные образования	Континентальные и морские отложения		Эпейрогенические движения	Si, C, (Ca)
	Третичные до палеозойских	(Кварцевые жилы)		Расколы и грабены вплоть до третичного времени	—
Палеозой	Герцинский (тиман-канинский) диастрофизм	Формация кальцито-баритовых жил (?) Формация дайк пикрит-порфиритов и т. д. (*палеобазальты*) Щелочные граниты Нефелиновые сиениты (Хибины, Ловозерские тундры) Габбро-щелочные сиениты		Расколы и грабены (образование герцинид)	Pb, Zn, Ag, Cu, Fe (S) Ba Mo (S); F (Ca) P, Ti, Zr, TR, V, Mo, F Fe, Mo, Fe (S) Fe, Ti (V)
	Девон	Неизвестны (песчаники южного берега Кольского полуострова)		Перерыв	—
	Каледонский диастрофизм Силур, 500 млн. лет	Дайковая формация габбро-диабазов Массивы габбро-норитов центральной части Кольского полуострова (?) Осадочная формация Варангера, Рыбачьего и Кильдина (?)		Образование цепей каледонид; расколы и грабены	III Cu, Fe, Pb, Zn Ag (S), Ba (SO_4)
	Кембрий	Неизвестны (северная Норвегия)		Перерыв	—
Протерозой	Иотнийские	Песчаники южного и восточного побережья Кольского полуострова (?)		Перерыв	Si
	Карельский диастрофизм	Пегматитовые граниты Перидотиты	Дайки диабазов и перидотитов	Образование цепей карелид; расколы и грабены	II S [Fe, Ni + Cu (Co)]
	Карельские 1000 млн. лет	Комплекс конгломератов, *аркоз, глинистых сланцев, доломитов, основных эффузивных пород*, шаровых лав Печенга—Кучин Комплекс Имандра—Варзуга, тундра Пулмас и Кейвы		Перерыв	II S (Ni + Cu) Co (Fe) Ni Al_2O_3
Архей	Свеко-фенинский диастрофизм	*Порфировые микроклиновые граниты* Микроклиновые гнейсо-граниты		Образование цепей свекофеннид и расколов	Mo, Fe (S) II
	Ботнийские	Комплекс конгломератов, кварцитов, слюдяных гнейсов Зюдварангера Комплекс амфиболитов тундры, Толль I, *Лыст—Кеулик; устье Поноя*	Дайки амфиболит-диабазов	Перерыв	Fe Fe (S)
	Саамский диастрофизм	Комплекс олигоклазовых гранитов Комплекс гиперстеновых диоритов Комплекс габбро-амфиболитов	Дайки амфиболит-диабазов	Образование цепей саамид и расколов	Fe, Mo (S) Fe Fe, Ni + Cu (S)
	Свионийские, 1500 млн. лет	Комплекс слюдяных гнейсов Комплекс гранатовых гнейсов Основание неизвестно			Fe (S) Al_2O_3

1807. 645

БИБЛИОТЕКА Геологического института Арм. Фил. СССР

Ленинградский ордена Ленина Геологических Наук Архангельский Институт Читального зала

наибольшего же развития они достигают в центре полуострова, где расположен самый большой в мире Хибинский массив нефелиновых сиенитов. Восточнее располагается родственный ему массив Ловозерских тундр, и, наконец, еще восточнее центральный водораздел полуострова сложен щелочным гранитом. Отдельные мелкие проникновения щелочных пород, щелочные интрузии Хибин, Ловозерских тундр и гранитов центральной части полуострова, представляют собой проявление продуктов дифференциации единого объема щелочной магмы, проникшей в толщу пород полуострова во время герцинской революции, приблизительно 300 $\cdot 10^6$ лет тому назад.

Геология Хибинского массива

Щелочная магма, образовавшая Хибинский массив нефелиновых сиенитов, вторгнута между архейскими гнейсами (ограничивают массив с севера и востока) и протерозойской серией Имандра-Варзуга (примыкает с юга и запада). Форма массива первоначально принималась за лакколит, последние же исследования делают более вероятной форму лаполита с пологим сводом и более вогнутым основанием (фиг. 2).

Хибинский массив в плане обладает концентрическим строением. Периферическая часть массива сложена хибинитом — крупнозернистым нефелиновым сиенитом. По структурным особенностям хибинит делится на нормальный, или гранитоидный, с неориентированным распределением слагающих его минералов, и лиейстовый, в котором вытянутые крупные призматические кристаллы полевых шпатов закономерно ориентированы в потоки, облекающие центральное ядро массива. В контактной зоне состав и структура хибинита изменяются; он переходит в мелко- и среднезернистый сиенит — умптекит. В свите же Имандра-Варзуга появляются контактовые роговики.

Минералогический состав хибинита непостоянен, особенно в разрезе качественного состава цветных компонентов породы. В среднем в нем нефелина 36%, полевых шпатов — 47%, цветных минералов—67%. В составе последних доминирует щелочный пироксен, эгирин ($NaFeSiO_4$), постоянно присутствуют сфен, титаномагнетит, в отдельных шлифах в заметных количествах накапливаются эвдиалит, эвколит, энигматит, лампрофиллит, астрофиллит и др.

Хибинит в целом отличается высоким содержанием щелочей; Na_2O—9,5—10%; K_2O—5—6,3% при 20,5—22,3% $Al_2O_3+Fe_2O_3$ и 52,2% SiO_2. Высокое содержание железа затрудняет применение этой породы в стеклоделии и фарфоровой промышленности. В этом отношении лучшим продуктом являются так называемые нефелиновые[1] пески восточного берега оз. Имандра. Это дельтовые накопления продуктов механического выветривания хибинитов западного склона Хибин. При переносе реками этот материал подвергся естественному обогащению: цветные минералы остались в большей своей части в аллювии, дельтовые же

[1] Минералогическую характеристику нефелина см. на стр. 25.



Рис. 2. Схематическая петрографическая карта Хибинских тундр.

М. П. Фивег и А. П. Шубин

образования сложены преимущественно нефелином и полевыми шпатами. В песках в среднем 11—12% $(NaK)_2O$, 3—3,6% F_2O_3, 21—22,5 Al_2O_3.

Центральная часть массива сложена близким по составу к хибиниту *крупнозернистым лейкократовым нефелиновым сиенитом* — фояитом. Он также непостоянен по своему минералогическому составу, в среднем же в нем нефелина 28%, щелочных полевых шпатов 52%, цветных компонентов 28%. В нем преобладает роговая обманка, щелочные же пироксены встречаются в незначительном количестве. *Широко развиты цирконий-титанаты и минералы* с редкоземельными элементами. Эти породы, так же как и хибиниты, богаты пегматитовыми шлирами и жилами.

В южном секторе Хибинской тундры, среди лейстовых хибинитов и фояитов, располагается серповидное в плане тело неравномерно-зернистых *нефелиновых сиенитов* (*рисорриты*). Эти породы резко отличаются наличием крупных лейст полевых шпатов, цементирующих идиоморфные зерна нефелина. Наличие широко развитых пойкилитовых структур отличает по внешности эти нефелиновые сиениты от описанных выше. По минералогическому составу они ближе к «нормальным» нефелиновым сиенитам. В среднем в их составе 31% нефелина, 52% щелочных полевых шпатов и 17% цветных компонентов. По преобладающему цветному компоненту они делятся на эгириновые, слюдяные и астрофиллитовые. Неравномерно-зернистые нефелиновые сиениты падают вглубь массива под углом в 25—30°.

Неравномерно-зернистые нефелиновые сиениты с внешней стороны обрамляются интрузией ийолитов [1], которые аналогично им в плане имеют серповидную форму. В северном секторе тундры ийолиты были также констатированы в последнее время, но они там представлены менее крупными телами.

В нижней половине тундры ийолитовая интрузия начинается на Куэльпоре, слагает *южную оконечность* первого отрога Кукисвумчорра (здесь ее мощность — 1 *км*), сечет Юкспор, южный Расвумчорр и выклинивается на Суолуайве. Таким образом, общее протяжение ее по простиранию около 40 *км*. Площадь проекции выхода 26 *км*². Падение этой интрузии везде к центру массива *под углами в* 22—28°.

В среднем ийолиты Хибин содержат около 70% нефелина. Процентное содержание его убывает от висячего бока к лежачему. Ийолиты чрезвычайно непостоянны по своему количественному минералогическому составу, имеют явно выраженный шлировый характер, особенно по отношению к распределению цветных компонентов: участки со щелочными пироксенами сменяются объемами, обогащенными титанистым магнитным железняком или сфеном. Из цветных минералов во всем объеме доминируют щелочные пироксены (эгирин-авгитового ряда, часто зонарные с возрастающим к периферии количеством эгириновой молекулы), титанистый же магнитный железняк и сфен играют

[1] Ийолиты — породы, состоящие в основном из нефелина (45—75%) и пироксенов. Породы же, более богатые нефелином (>75%), называются уртитами.

подчиненную роль. В ийолитах также постоянно присутствуют полевые шпаты; в отдельных шлирах количество их возрастает до 15—25%, и порода приобретает состав нефелинового сиенита.

От висячего к лежачему боку интрузии меняется не только минералогический состав породы, но и текстуры и структуры: верхняя половина ийолитовой толщи представлена порфировидными разностями, которые к лежачему боку постепенно сменяются гнейсовидными. К зоне порфировидных разностей приурочены шлирообразные тела уртитового состава.

Наиболее постоянным и высоким содержанием нефелина (74—76%) отличается отрезок интрузии восточной половины Расвумчорра. Несколько лет тому назад ийолиты и особенно уртиты привлекали внимание как источник нефелинового сырья.

Апатито-нефелиновые породы Хибин представлены крупными линзообразными телами, расположенными в зоне контакта неравномерно-зернистых нефелиновых сиенитов (висячий бок) и ийолитов (лежачий бок). Линзообразные тела апатито-нефелиновой породы залегают согласно с окружающими породами и падают к центру массива под углом в 25—32°. С севера на юго-восток по дуге контакта обнаружены следующие линзы: Куэльпорская, Кукисвумчорр-Юкспорская, Расвумчорская и Суолувайская группы линз.

Из них наиболее детально изучена Кукисвумчорр-Юкспорская линза. Кукисвумчоррская ее часть с 1930 г. усиленно разрабатывается (рудник им. Кирова). Расвумчоррская линза разведана только на выходах. Куэльпорская и Суолувайская линзы изучены только в поисковом разрезе.

Апатитовые месторождения в Хибинах были обнаружены (Л. Н. Лабунцовым) при минералогических исследованиях Хибинского массива (1923—1929 гг.), проводившихся Академией наук под общим руководством А. Е. Ферсмана. Поисковые работы проводились Институтом по изучению Севера (1929—1930 гг., Влодавец) и ГГРУ (1930—1933 гг., Годовиков, Прокофьев).

Огромные разведочные работы, доказавшие промышленную ценность апатитовых месторождений Хибин и легшие в основу добычных работ, проведены Институтом по удобрениям (1929—1934 гг., под общим руководством М. П. Фивега).

Петрография апатито-нефелиновых руд

Все известные нам линзы апатитовых руд сложены тремя разновидностями апатито-нефелиновой породы: пятнистой, полосчатой и брекчиевидной (очковой). Участие этих разновидностей в строении линз разных месторождений далеко не одинаково: наиболее распространенными оказываются полосчатые (около 94% общего запаса), на долю пятнистых падает только 4,5% (А + В).

Пятнистые руды — наиболее богатые апатитом и к настоящему времени полностью освоены промышленностью. Они сложены

из преобладающей массы апатитовых зерен (70%), среди которых рассеяны ксенолиты [1] (12%) и пятна (18%).

Апатит представлен вытянутыми ксеноморфными прозрачными



Рис. 3. Богатая апатитом разность с большим количеством игольчатого апатита

светложелтыми или зеленовато-желтыми зернами, обыкновенно имеющими хорошо выраженную поточную ориентировку. В вися-

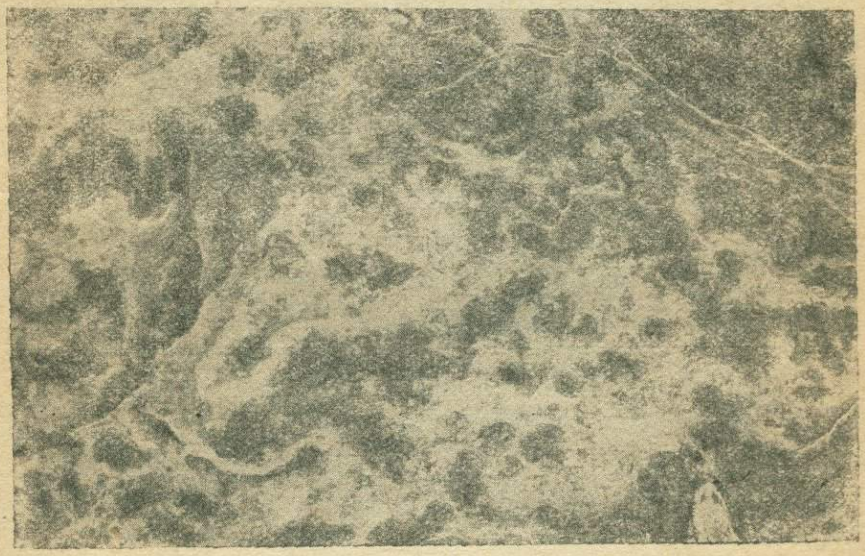


Рис. 4. Пятнистая разность с округлыми пятнами

[1] Механически захваченные и не ассимилированные обломки окружающих пород размером от больших глыб породы до отдельных зерен минералов.

чем боку рудного тела апатит обыкновенно мелкозернистый, сахаровидный (по длине преобладают размеры 0,2—1 *мм*, по ширине 0,1—0,3 *мм*; 50% зерен имеют размеры 0,5—0,7 *мм*). На Юкспоре и Расвумчорре известны участки более тонкого, так

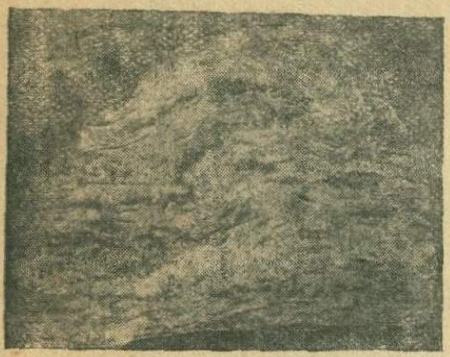


Рис. 5. Пятнистая разность с мелкими пятнами, ориентированными в полосы



Рис. 6. Микроструктура богатого апатитом участка пятнистой разности (при скрещенных николях)

называемого мучнистого апатита (светлосерого) (50% зерен имеют размер *0,1—0,4 мм*). К лежачему боку апатит становится более крупнозернистым (50% зерен с размером 1—2 *мм*) и в отдельных жилах, секущих полосчатые разности, он обыкновенно крупнозернистый (со средними размерами 0,9—1,5 *см*). Химическую его

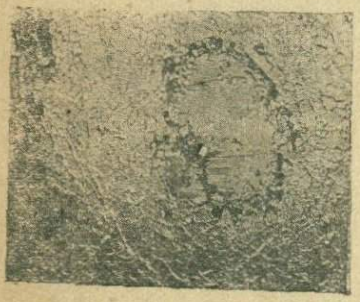


Рис. 7. Корродированное зерно нефелина в богатой апатитом части пятнистой разности



Рис. 8. Слабо корродированные зерна нефелина в пятнистой разности

характеристику см. в анализах (табл. 6). Хлор в нем отсутствует, фтора же содержится 83—88% теоретического количества. Этот дефект, вероятнее всего, восполняется гидроксильный группой.

Недавно были дифференцированы и редкие земли из хибинских апатитов; в результате в общем количестве редких земель оказалось 34,2% окиси церия, 31,6% окиси неодима и празео-

Таблица 6

Анализы хибинских апатитов и концентрата в %

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
P_2O_5	41,16	40,50	41,04	40,76	40,38	40,64	40,22	39,61
CaO	52,98	51,60	51,50	52,68	51,35	51,57	51,05	50,20
SrO	2,00	2,63	2,80	1,82	2,14	3,18	2,32	2,16
MgO	0,10	0,21	0,10	—	0,30	0,20	0,19	0,14
Fe_2O_3	0,14	0,16	0,09	0,12	0,12	0,16	0,63	0,97
Al_2O_3	0,21	0,46	0,27	0,46	0,50	0,11	0,29	0,53
TR_2O_3*	0,95	1,03	1,05	0,97	1,07	1,23	0,92	0,80
SiO_2	0,12	0,20	0,50	—	0,13	0,30	0,91	1,53
K_2O	0,19	0,07	0,30	0,19	0,19	0,28	0,23	0,22
Na_2O	0,49	0,86	1,01	0,77	0,83	0,50	0,63	1,04
MnO	0,01	—	—	—	0,02	0,02	0,04	0,05
BaO	—	—	—	—	—	—	0,20	—
SO_3	—	—	—	0,34	—	—	0,37	0,37
F	3,19	3,16	3,20	3,25	3,15	2,15	3,25	3,20
TiO_2	—	—	—	—	—	—	0,09	—
Нерастворимый остаток	0,26	0,19	0,07	0,33	0,26	0,27	— 0,07**	0,10 0,18**
Влажность	0,02	—	—	—	0,63	0,01	—	0,37
	101,82 1,34	101,30 1,33	101,93 1,35	— —	101,07 1,29	101,62 1,33	101,47 1,37	101,53 1,35
Всего	100,48	99,97	100,58	—	99,78	100,29	100,10	100,18

I — крупнозернистый игольчатый апатит (первая генерация) из сахаровидной разности. Кукисвумчорр. Анализ 1931 г.
II — мелкозернистый сахаровидный апатит. Кукисвумчорр. Анализ 1930 г.
III — среднезернистый апатит. Карьер № 4, Кукисвумчорр. Анализ 1931 г.
IV — крупнозернистый апатит. Карьер № 1, Кукисвумчорр. Анализ 1931 г.
V — среднезернистый апатит. Апатитовый отрог Расвумчорра. Анализ 1931 г.
VI — тонкая мучнистая разность. Апатитовый отрог Расвумчорра. Анализ 1931 г.
VII — флотационный концентрат Хибинской обогатительной фабрики. Выпуск декабря 1931 г. Анализ 1932 г.
VIII — то же, выпуски сентября 1932 г. Анализ 1932 г.

Все анализы НИУИФ; из них II — Р. А. Калашниковой, остальные В. А. Казариновой.

* TR_2O_3 — сумма редких земель.
** Цифры потерь при прокаливании.

дима 32% окиси иттровых земель и 0,13% тория [1]. Мышьяк и ванадий в апатитах отсутствуют.

Удельный вес наших апатитов колеблется в интервале 3,243—3,250.

Пятна, разбросанные среди апатитовой массы, представлены скоплениями беспорядочно ориентированных призматических

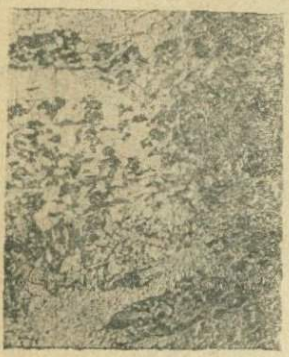


Рис. 9. Микроструктура пятнистой разности (увеличение в 25 раз)



Рис. 10. Микроструктура (пойкилитовая) пятна. *Крупные светлые ксеноморфные зерна — нефелин, идиоморфные призматические*—апатит. Цементирует эгирин-авгит (увеличение в 20 раз)

зерен апатита (45—65%), обыкновенно лучше окристаллизованных, чем во вмещающей массе, сцементированных зонарным эгирин-авгитом [2] (темнозеленые или черные пятна), нефелином (светлозеленые пятна), реже полевым шпатом, сфеном [3] или ванадий-содержащим титаномагнетитом [4] (черные с металлическим блеском пятна) и очень редко — эвдиалитом [5] (светлорозовые).

Ксенолиты чаще всего представлены ийолит-порфиром, реже— *глыбами сетчатой разности* и сравнительно редко, вдоль верхнего контакта, — неравномерно-зернистым нефелиновым сиенитом.

Ксенолиты без видимого порядка распределены в толще пятнистой разности, пятна же собраны как бы в отдельные прослои, поэтому вся порода имеет полосчатый облик и состоит из волнистых *«прослоев» разного состава. Сравнительно* редко в некоторых объемах руды наблюдается беспорядочное распределение включений.

Непостоянство в распределении нефосфатовых минералов делает пятнистые руды очень невыдержанными по содержанию

---

[1] Е. С. Буркер. Проблема тория и редких земель в СССР. Труды VI Всесоюзного Менделеевского съезда, т. II, в. 1, 1935, стр. 610.

[2] Обыкновенно к периферии в составе пироксена возрастает количество эгириновой молекулы. Часто *наружная кайма сложена эгирином.*

[3] Титаносиликат $CaTiSiO_5$.

[4] Титаномагнетит представлен разными количественными взаимоотношениями магнетита Fe_3O_4 и ильменита $FeTiO_3$, взаимно прорастающими. Часто в магнетите часть железа замещается ванадием.

[5] Вишнево- или буровато-красный щелочи-содержащий цирконосиликат, 12—15% ZrO_2. Хорошо растворим в кислотах.

P_2O_5 и других компонентов, влияющих на ход технологического процесса при их переработке.

Средний минералогический состав пятнистой руды приблизительно такой: апатита 75% (P_2O_5 — 29%), нефелина — 15—20%, пироксенов — 5,9%, титаномагнетита, сфена и др. — 5,3%.



Рис. 11. Полосчатая разность (натуральная величина)

Полосчатая апатито-нефелиновая порода имеет наибольшее распространение в известном нам объеме апатитовых линз. Она еще в широком масштабе не добывается, так как может представить практический интерес только при условии использования нефелина. Эта порода по своему количественному минералогическому составу и

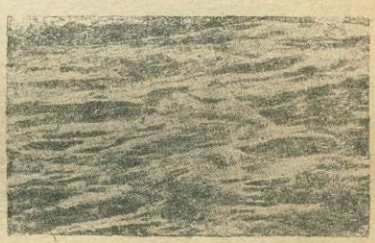


Рис. 12. Богатая апатитом полосчатая разность

текстуре еще более непостоянна, чем пятнистая, качественный же минералогический состав этих пород вполне тождественен.

В объеме полосчатой породы преобладают полосчатые текстуры, где пропластки апатита чередуются с преобладающими по мощности пропластками ийолитового состава. Тут же попадаются вытянутые согласно с общей ориентировкой слоев линзообразные участки с сетчатой текстурой, в объеме которых плотный ийолит разбит системой тонких трещин, выполненных апатитом. Трещины образуют в сечении рисунок сетки.

В наиболее богатых апатитом горизонтах здесь появляются пятнистые по внешности породы. Они отличаются от описанных выше структурой пятен. Здесь отсутствует цементация зерен апатита нефосфатовыми минералами, а пятна состоят из агрегата зерен нефелина и эгирин-авгита.

Полосчатая порода отличается по сравнению с пятнистыми рудами более низким содержанием апатита, в силу чего для больших ее объемов характерно содержание P_2O_5 20—24%. Средний минералогический состав приблизительно такой: апатита 49—60%, нефелина 25—35%, цветных минералов 20—25%.

Эксплоатация этой руды начнется на Юкспоре. Она будет перерабатываться в смеси с пятнистой.

Брекчиевидная (очковая) порода сечет чаще всего пятнистые руды. Основная ее масса располагается у верхнего контакта, откуда она отдельными неправильными ответвлениями

пронизывает все рудное тело. Наибольшее развитие брекчиевидной породы установлено по Кукисвумчорр-Юкспорской линзе. В преобладающей по объему темной массе породы включены раз-

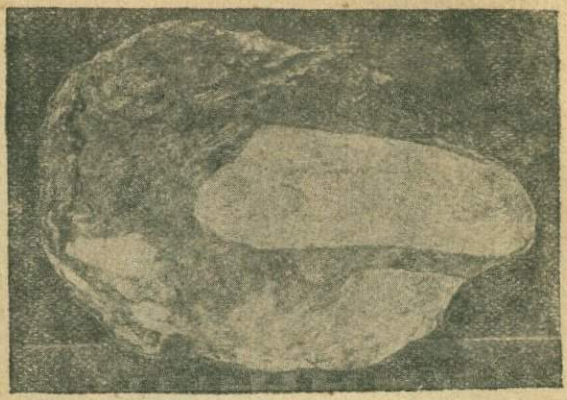


Рис. 13. Очковая разность

ного размера глыбы пятнистой породы. Степень насыщенности ксенолитами этой породы непостоянна. Основная масса имеет структуру пятен (пойколитовую), где преимущественно идиоморфные зерна апатита сцементированы теми же минералами, которые перечислены при описании пятен, только эти пятна здесь не изолированы, а сливаются, образуя сплошную массу породы, вмещающей ксенолиты пятнистой разности.



Рис. 14. Микроструктура основной массы брекчиевидной разности. Идиоморфные зерна апатита, сцементированные пироксеном

Основная масса породы содержит 18—24% P_2O_5. В целом, в силу неравномерного распределения ксенолитов, оценить среднее содержание P_2O_5 пока не представляется возможным.

Анализы апатитовых руд приведены в табл. 7.

Нефелин, как видно из приведенных данных по количественному минералогическому составу описанных руд, является вторым по важности минералом после апатита. Извлечение апатита из бедных руд может иметь место только при наличии выгодного использования нефелина. Эти обстоятельства уже давно были учтены, и с нефелином проведено большое количество научно-исследовательских работ. В силу этих причин представляется существенным в нескольких словах охарактеризовать здесь этот минерал.

Нефелин — алюмосиликат калия и натрия; его состав близок к формуле $(Na, K)\,AlSiO_4 . nSiO_2$. В табл. 8 приведен средний состав нефелина, вычисленный [1] на основании 35 наиболее но-

[1] Э. М. Бонштедт и В. В. Щербина. Нефелин. Минералогия Союза. Серия А, в. I, изд. Акад. наук, 1933.

вых и достоверных анализов нефелина из различных месторождений, и интервалы колебаний в анализах, принятых для пересчета.

Таблица 7

Анализы апатитовых руд в %

Компоненты	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
SiO_2	5,76	—	11,89	12,23	18,60	19,89	30,89	33,74
TiO_2	0,22	—	—	0,70	1,53	0,79	1,30	19,90
ZrO_2	0,06	—	—	—	—	—	0,07	—
Al_2O_3	6,98	—	4,10	6,62	10,09	15,28	21,26	12,83
TR_2O_3 (редкие земли)	0,85	9,50	—	—	—	0,21	0,06	3,72
Fe_2O_3	0,45	—	2,94	2,42	1,01	0,49	3,44	2,70
FeO	0,59	—	—	0,72	0,23	1,20	3,86	0,19
MnO	0,25	—	—	0,05	0,01	0,13	0,10	—
MgO	0,10	—	0,76	0,20	2,24	0,68	1,62	0,97
CaO	44,02	43,03	37,72	39,45	26,15	29,73	15,96	18,75
SrO	2,26	—	—	0,97	1,85	—	0,44	0,69
BaO	0,07	—	—	—	—	—	0,15	—
Na_2O	1,39	2,89	2,11	3,10	8,08	5,70	8,56	4,24
K_2O	0,75	1,17	—	1,60	4,49	2,70	2,58	2,52
P_2O_5	34,73	31,52	31,34	30,06	23,57	20,81	7,65	0,27
H_2O	0,55	0,17	0,10	0,20	0,38	0,69	0,54	0,76
CO_2	—	—	—	—	—	0,84	0,70	—
F	1,85	—	—	2,61	2,13	1,03	0,30	—
Cl	0,29	—	—	—	0,31	1,07	0,27	—
SO_3	—	—	—	0,23	—	—	0,01	—
	101,17	—	—	101,16	100,67	100,24	99,76	101,28
	0,85	—	—	1,10	0,97	0,45	0,19	—
Всего	100,32	—	—	100,06	99,70	99,79	99,57	—

I — богатая пятнистая руда. Кукисвумчорр. В. Н. Влодавец.
II — пятнистая руда. Кукисвумчорр. НИУ.
III — то же. НИУ.
IV — то же. Средняя проба из буровой № 1. НИУ. В. А. Казаринова.
V — пятнистая разность, бедная разновидность. Плато Расвумчорра, ущелье „Дразнящее эхо", О. Н. Кобылина.
VI — бедная пятнистая руда. В. И. Влодавец.
VII — сетчатая разность. Кукисвумчорр. В. И. Влодавец.
VIII — обогащенная сфеном порода. Склон Кукисвумчорра в долину р. Лопарской. Л. Д. Никитин.

Удельный вес нефелина 2,55—2,56, твердость 5,5—6. Температура плавления природных нефелинов в зависимости от особенностей химического состава изменяется в интервале от 1059 (Везувий) до 1370° (Magnet Cave). Синтетический $NaAlSiO_4$ плавится при 1526° (по Bowen'у).

Нефелин легко разлагается кислотами с получением алюминиевых и щелочных солей реагирующей кислоты и кремнегеля. При воздействии большим количеством слабой кислоты образуются растворимые формы кремнекислоты. При воздействии же небольшими количествами крепкой кислоты образуется кремнегель.

Таблица 8

	Средний состав нефелина в %	Интервалы колебаний (в %)
SiO_2	43,41	45,91—41,80
TiO_2	0,01	0,10— 0,00
Al_2O_3	33,32	33,94—31,14
Fe_2O_3	0,55	2,60— 0,00
FeO	0,04	0,41— 0,00
CaO	0,58	2,50— 0,00
MgO	0,05	0,24— 0,00
Na_2O	15,78	17,15—12,60
K_2O	5,52	6,68— 4,34
H_2O	0,63	0,97— 0,00

Химические особенности нефелина и его легкая растворимость определяют следующие пути его практического использования:

1) Как удобрение, усредняющее избыточную кислотность почвы и дающее ей калий и кремнегель.

2) Как сырье для получения квасцов, растворимого стекла и кремнегеля.

3) Как сырье для комплексного производства, в смеси с известняком (термическим методом), окиси алюминия, поташа с содой и цемента.

Всю эту группу продуктов предполагалось фабриковать на Кандалакшском химическом комбинате. Полученная здесь смесь соды и поташа пойдет на производство термофосфата (с пятнистыми рудами) [1].

4) Как заместитель соды в стеклоделии и производстве ультрамарина и в керамике как заместитель полевого шпата.

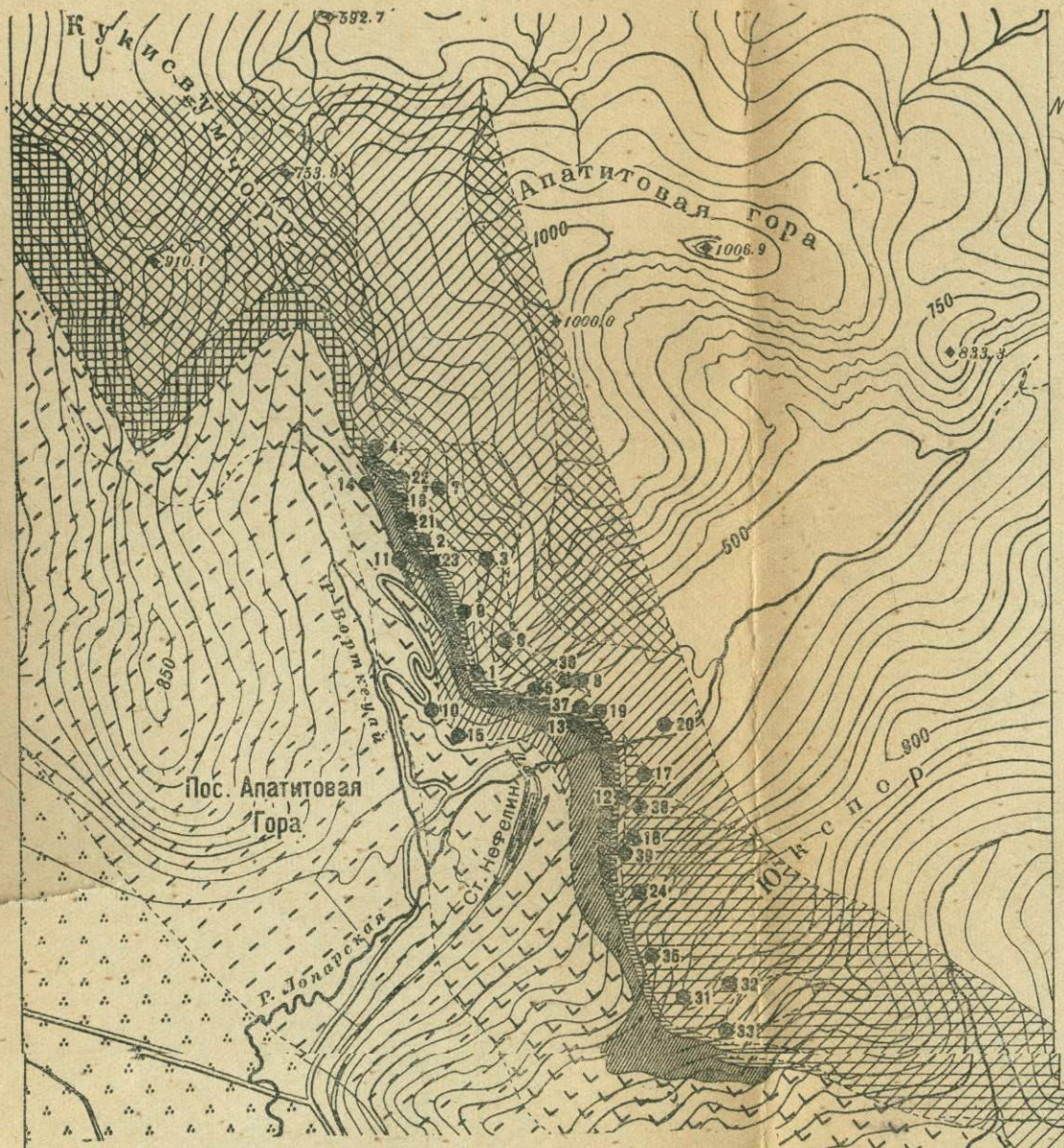
Описание отдельных месторождений Хибинской тундры

Куэльпорская линза обнажается на протяжении 2 км по склону в широкую долину р. Куньока и падает вглубь массива под углами 28—32°. Апатито-нефелиновая порода покрывается хибинитом и подстилается ийолитом.

На месторождении пока проведены только предварительные разведки (1932 г.), которыми оконтурено рудное тело по склону горы. Оно сложено преимущественно полосчатыми рудами. Средневзвешенное содержание P_2O_5 — 22%. В широкой живописной долине Куньока у месторождения может разместиться рабочий поселок, у оз. Пай-Кунъявр — обогатительная фабрика и т. д.

По условиям рельефа месторождение может быть соединено широкой колеей с магистралью Кировской ж. д. по долине р. Куньока через Куньокский перевал с веткой Апатиты — Нефелин.

[1] Сборник «Получение окиси алюминия и щелочей из нефелина щелочным методом». Труды Института прикладной химии, вып. 29, 1936.



N392

Условные обозначения —

- Породы ийолит-уртитового ряда, гнейсовидная разность.
- Породы контактной зоны
- „ обогащенные сфеном.
- Апатито-нефелиновые породы пятнистая разность.
- „ „ „ полосчатая „
- „ „ „ сетчатая „
- Слюдяно-пироксеновый-нефелиновый сиенит.
- Астрофиллитово- „ „ „
- Пироксеново-нефелиновый сиенит
- Хибинит лейстовая разность.
- Луяврит.
- Породы ийолит-уртитового ряда, порфировидная разность.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА

ПОЛОСЫ АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЮЖНОЙ ЧАСТИ ХИБИНСКИХ ТУНДР

Составил Фивег М. П.

/по работам ГГО НИУИФ 1929-1933 гг./

1934 г.

Масштаб

500 0 500 1000 м

Сечение рельефа через 50 м

М. П. Фивег и А. П. Шубин

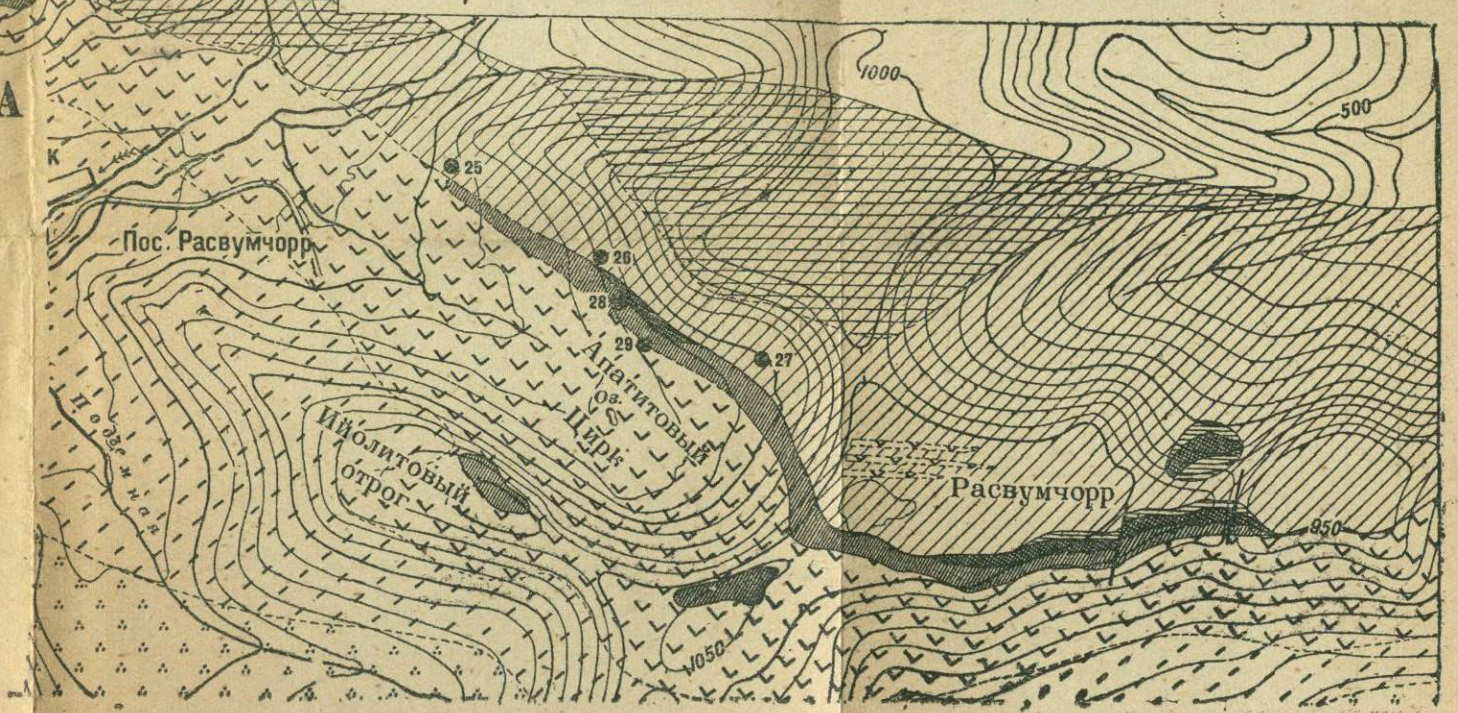


Рис. 15.

N 392

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА

КУКИСВУМЧОРР-ЮКСПОРСКОГО М-НИЯ АПАТИТОВ

КУКИСВУМЧОРР-ЮКСПОРСКАЯ ЛИНЗА АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВОЙ ПОРОДЫ.

МАСШТАБ

200 0 200 400 м

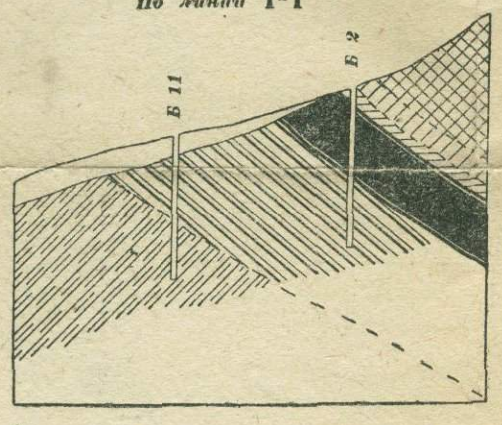
Сечение рельефа через 50 м

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

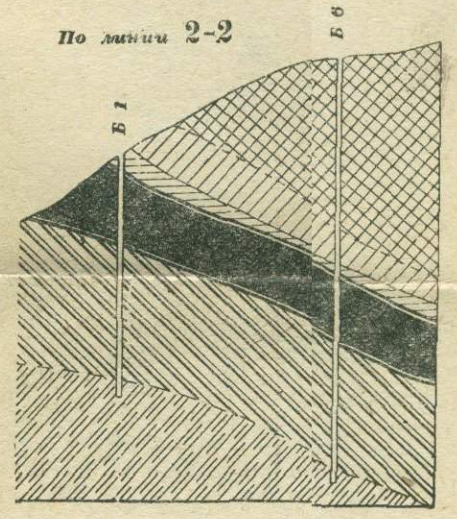
- Пироксеново-нефелиновый сиенит
- Слюдяно-пироксеновые нефелиновые сиениты
- Астрофиллитово-пироксеновый нефелиновый сиенит
- Луявриты
- Контактная зона
- Пятнистая зона апатито-нефелиновых пород
- Сетчатая зона нефелино-апатитовых пород
- Нефелино-апатитовая порода Юкспора
- Ийолит-уртитовые породы
- Линия верхнего и нижнего контакта рудного тела
- Граница распространения морен
- Жильные породы на карте не показаны

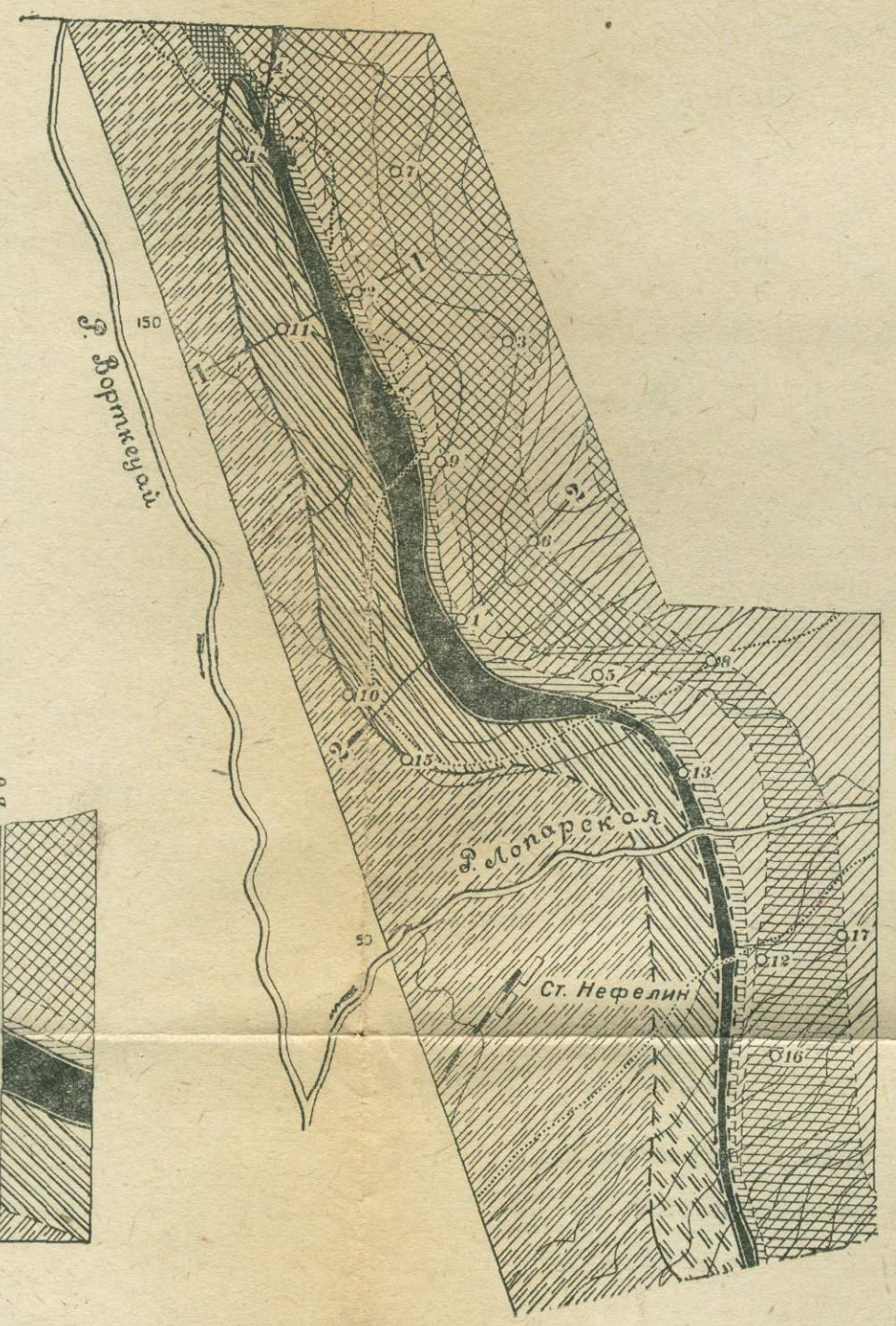
СХЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ

По линии 1-1



По линии 2-2





М. П. Фивег и А. П. Шубин

Рис. 16.

Кукисвумчорр-Юкспорская линза — наиболее богатое пятнистыми рудами месторождение — изучено лучше всех остальных и освоено промышленностью. Апатито-нефелиновые породы появляются в верховьях р. Ворткеуай (правый приток р. Лопарской) и протягиваются по склону второго отрога Кукисвумчорра, пересекают под моренами долину р. Лопарской, обнажаются на западном склоне Юкспора и выклиниваются в верхней половине восточного его склона. Общее протяжение линзы по простиранию 3,86 *км*. Рудное тело падает вглубь массива под углами 27—30°, покрывается неравномерно-зернистыми нефелиновыми сиенитами (рисорритами) и подстилается ийолит-порфирами.

Рудное тело сложено преобладающими по объему полосчатыми рудами, в висячем же боку обособляется как бы самостоятельное

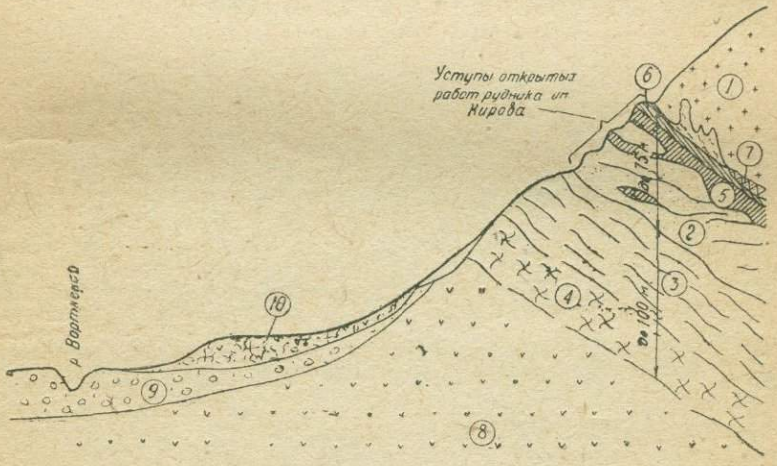


Рис. 17. Схематический профиль через Кукисвумчоррскую часть линзы.

1 — неравномерно-зернистые нефелиновые сиениты; *2* — пятнистая нефелино-апатитовая порода; *3* — полосчатая разность апатито-нефелиновой породы; *4* — сетчатая разность апатито-нефелиновой породы; *5* — брекчиевидные (очковые) руды; *6* — луявритовидная порода; *7* — сфеновая порода; *8* — ийолиты — порфировидная разность с линзообразными обособлениями уртитов; *9* — морена хибинского оледенения; *10* — осыпи

линзообразное тело пятнистых руд (рис. 16), вытянутое по простиранию на 2,68 *км*. Эта линза начинается в верховьях р. Ворткеуай и выклинивается в нижней части западного склона Юкспора. Вертикальная мощность пятнистых руд достигает 75 *м*.

Вдоль верхнего контакта, в южной части линзы, пятнистые руды обеднены проникновением нефелино-пироксеновой массы, образовавшей брекчиевидные руды (очковая разность). Кроме скопления вдоль верхнего контакта пироксено-нефелиновых веществ, выделяется серия неправильных жил, которые проникают весь объем пятнистых руд, преимущественно в южной половине линзы. Вдоль верхнего контакта рудного тела протягивается жила своеобразной луявритовидной породы (мощностью 3—4 *м*). Эта порода более молодая; она сечет брекчиевидные руды.

С 1930 г. пятнистые руды интенсивно разрабатываются открытыми работами на Кукисвумчорре. С 1934 г. начаты подготовительные работы по подземной добыче объема руды, лежащего ниже по падению, за пределами возможной добычи открытыми работами (подробности см. во второй части книги — А. П. Шубина).

Ниже пятнистых руд располагаются полосчатые (по простиранию они протягиваются на 3,86 *км*). Мощность их достигает на Кукисвумчорре 100 *м* и на Юкспоре 120 *м*. В пределах Кукисвумчорра качество этих руд невысокое: в северной половине P_2O_5 — 17%, в южной — 21%, в пределах же Юкспора — 22,5%. Сейчас эти руды в небольшом количестве добываются на Кукис-



Рис. 18. Вид с Юкспора на долину р. Ворткеуай. Внизу — ст. Нефелин. Выше — уступы рудника

вумчорре только с целью придания геометрически правильной формы нижним уступам рудника. В большом масштабе их добыча будет осуществлена на Юкспоре, где будет организован рудник производительностью в 2,5 млн. *т* руды (добыча подземная). Рудник будет закладываться с таким расчетом, чтобы он мог достигнуть проектной мощности к моменту начала работы третьей очереди обогатительной фабрики.

Сетчатые руды не в ксенолитах, а в своем коренном залегании, известны только в южной части Кукисвумчоррской линзы, где они расположены под полосчатыми.

Вдоль верхнего контакта пятнистых руд в долине р. Лопарской, главным образом на Юкспорском склоне, наблюдается обогащение сфеном апатито-нефелиновой породы. Сфен — кальциевый титаносиликат $CaTiSiO_5$ (CaO — 27%; TiO_2 — 40%, SiO_2 — 30%) — в больших промышленных скоплениях пока нигде не был конста-

тирован [1]. Это первое промышленное месторождение сфена. В добываемой породе на Юкспоре среднее содержание TiO_2 — 10,3%, на Кукисвумчоррском склоне — 9,96%. Часть TiO_2 в этом количестве принадлежит титаномагнетитам, в силу чего содержание сфена в среднем около 20%. Сфен в форме призматических коричневато-бурых зерен неравномерно распределен в апатито-нефелиновой породе. Обогащенные им объемы достигают 35 *м* вертикальной мощности. Запас сфеновой руды (А + В + С) — около 15 млн. *т* (сфена 3,8 млн. *т*).

Сейчас сфен добывается на Юкспоре. Руда обогащается на специальной обогатительной фабрике (в долине Юкспориока). Концентрат (до 30—35% TiO_2) поступает для фабрикации окиси титана или без химической переработки, после тонкого помола, идет как краска.

Расвумчоррская линза — самая крупная по размерам. Она начинается под мореной р. Юкспориока, тянется по склону отрога Северного Расвумчорра, сечет Расвумчорр, обнажаясь полосою вдоль южной бровки плато Расвумчорра (склон в долину Расвуммиока) и выклинивается в 150 *км* восточнее ущелья «Дразнящее эхо». Общее протяжение по простиранию — 4,6 *км*. Линза падает на север под углами 28—30°. Максимальная вертикальная мощность рудного тела достигает 140 *м*, чаще же наблюдаются мощности порядка 40—60 *м*. Небольшое месторождение полосчатых руд у бровки северного обрыва представляет собой останец участка нижней части рудного тела Расвумчоррской линзы.

Сложено Расвумчоррское месторождение полосчатыми рудами. Пятнистые руды обнаружены в зоне верхнего контакта вдоль отрога (на 0,7 *км*, мощность до 30 *м*) и на плато (по простиранию на 1,7 *км*, мощность до 40 *м*). Средневзвешенное содержание P_2O_5 — 27—29%. Средневзвешенное содержание P_2O_5 в полосчатых рудах — 20,4%, с учетом пятнистых руд для всего объема — 24,7%, для плато ийолитового отрога 21,9% P_2O_5.

Месторождение пока изучено только на выходах. Оно может быть введено в эксплоатацию после доведения добычи на Юкспоре до максимального размера, поэтому сейчас на очереди стоит разведка глубоких частей месторождения.

Суолуайвская линза известна с 1933 г., изучена пока только в разрезе поисковых работ. Месторождение, повидимому, протягивается по простиранию (СВ : 55—60°) на 2 *км*. Падение, в противоположность другим месторождениям, пологое — 10—15° на запад. Рудное тело сечет ийолиты. В составе руд играют большую роль пятнистые разности. Запасы, повидимому, значительны.

Поачвумчоррские месторождения находятся в стороне от описанной выше группы месторождений, приуроченных к зоне контакта ийолитовой интрузии и неравномернозернистых нефелиновых сиенитов. Они обнаружены на крутых трудно доступных западных склонах Поачвумчорра и на во-

[1] В одном из районов Онтарио из гранитных пегматитов в 1934 г. было добыто 40 *т* сфена. Это самая крупная добыча этого минерала.

сточных Тахтарвумчорра. Это уже не мощные линзы, а жилоподобные тела мощностью 1,9—3 *м*. Они секут хибиниты и залегают согласно с жилами шонкинита и ийолита (их общее падение СВ: 70—87°; < 22—30°).

Апатитовая порода в зоне висячего бока сложена пятнистыми рудами, которые к лежачему боку сменяются полосчатыми. На северном Поачвумчорре, по его западному склону, жилообразное тело апатито-нефелиновой породы прослеживается на 1,2 *км*, на среднем Поачвумчорре — на 600 *м* и на южном Тахтарвумчорре — на 500 *м*.

Средневзвешенное содержание P_2O_5 в породе невысокое — 20—23%.

Несколько слов из истории освоения Хибин

До 1929 г. в Хибинах не было постоянных жителей. Изредка только лопари со стадами оленей пересекали массив. С начала разведочных работ НИУИФ (весной 1929 г.) началось строительство первых бараков в долине р. Лопарской и вьючных троп, которые скоро были превращены в автомобильные дороги. С конца 1929 г. началось строительство железнодорожной ветки, теперь электрифицированной. Постановлением правительства в конце 1929 г. был организован трест «Апатит», на который и была возложена обязанность освоения Хибин. До организации треста активное участие в этом деле принимал колонизационный отдел Мурманской ж. д.

С начала развития эксплоатационных работ на Кукисвумчорре было осуществлено интенсивное строительство рабочего поселка в долине р. Лопарской, и с 1930 г. приступили к сооружению города Кировска (Хибиногорска) на большой моренной гряде, подпирающей с юга оз. Большой Вудъявр.

Теперь на Кукисвумчорре работает рудник им. Кирова, где открытыми работами до 1935 г. добыто 2,8 млн. *т* руды. За 1935 г. рудник добыл 1533 тыс. *т* пятнистых руд (открытыми и подземными работами) и 5,6 тыс. *т* сфеновых. При максимальном развитии работ производительность рудника может быть доведена до 2,5 млн. *т* в год. С 1933 г. начались подготовительные работы по организации большого рудника для подземной добычи на Кукисвумчоррской части месторождения. Годовая производительность его будет доведена до 4 млн. *т*. К моменту начала работы третьей очереди обогатительной фабрики должен быть доведен до проектной производительности в 2,5 млн. *т* Юкспорский рудник (подземная добыча).

В сентябре 1931 г. была пущена первая очередь обогатительной фабрики с годовой производительностью в 250 тыс. *т* концентрата. В конце 1934 г. пущена вторая очередь. Суммарная производительность двух очередей по проекту определена в 1 млн. *т* концентрата. Стахановское движение сделало возможным на этих двух очередях в 1937 г. запроектировать добычу в 1,2 млн. *т*.

С 1933 г. в Хибинах работает фосфорный завод, где фабрикуется электротермическим путем желтый фосфор и в 1936 г.

освоено производство электротермической фосфорной кислоты и двойного суперфосфата (с 50% усвояемой P_2O_5).

С 1935 г. работают небольшие сфеновые и ловчорритовые обогатительные фабрики. Ловчорритовая руда добывается на руднике в верховьях р. Гакмана (на Юкспоре).

В 1935 г. электрифицирован участок железной дороги от ст. Кандалакша до Кировска. Предприятия Хибин и железная дорога снабжаются энергией от гидростанции на р. Ниве (соединяющей оз. Имандру с Кандалакшским заливом) в 75 *км* южнее Хибин.

Успешная работа опытной сельскохозяйственной станции у железнодорожной станции Хибины сделала возможным широкое осуществление работ по созданию местного сельского хозяйства (кормовые травы, овощи, ягоды). У ст. Апатиты успешно ведет хозяйство совхоз «Индустрия».

«Северная, тяжелая, бесплодная и бесполезная пустыня оказалась в действительности одним из богатейших мест на земле» (С. М. Киров).

Дикая безлюдная Хибинская тундра сделалась за короткий срок крупным горнопромышленным районом на севере Советского Союза, благодаря деятельности большого количества научно-исследовательских институтов, координируемой Академией наук, энергии хозяйственных организаций и — самое главное — личному участию С. М. Кирова в разрешении задачи широкого развития на Кольском полуострове промышленности, гидростроительства и городов, поставленной в мае 1930 г. вождем трудящихся И. В. Сталиным.

«Апатитовую промышленность надо форсированно развивать». «Нет городов, — надо их строить. Нет дорог, — надо их строить. Нет электроэнергии, — надо строить гидростанции» (И. В. Сталин).

Освоение огромных минеральных богатств, открытых в Хибинской тундре, и создание на севере СССР крупного индустриального района связаны тесно и неразрывно с именем С. М. Кирова.

Путь большевистского завоевания и освоения богатств Кольского полуострова намечен был вдохновителем Хибинской стройки, С. М. Кировым, с исключительной дальновидностью.

«Это край еще недавно назывался краем «непуганой птицы». Мы теперь должны так тряхнуть эту старую землю, чтобы установить и извлечь все, что в ней содержится» (С. М. Киров).

С. М. Киров торопил всячески форсировать научно-исследовательские работы и во всем помогал, вплоть до мелочей, быстрейшему воплощению в жизнь выдвинутого им лозунга — на севере нужно строить только большое дело, создавать постоянные кадры, всемерно обеспечивать культурно-бытовые условия.

Под руководством С. М. Кирова бесплодная Хибинская тундра была быстро побеждена. Туковые заводы СССР получили первоклассное фосфатное сырье, апатитовый концентрат, содержащий не менее 39,2% P_2O_5, заменивший импортировавшиеся высококачественные марроканские фосфориты.

Продукция хибинских предприятий

Сырая руда. В первое время из-за нехватки на внутреннем рынке апатитового концентрата трестом «Апатит» для суперфосфатных заводов отгружалась пятнистая руда, обогащенная рудоразборкой. Для производства стандартного суперфосфата необходима руда с содержанием не ниже 34,5% P_2O_5. При рудоразборке выход этого сорта незначителен, поэтому рудник отправлял руду в последние годы обыкновенно с содержанием 31—32,7% P_2O_5. С увеличением выпуска концентрата ликвидируется необходимость посылать пятнистые руды суперфосфатным заводам. Для целей же электровозгонки и обогащения шлаков возможно будет использовать руду с 28—29% P_2O_5, которую можно получать без рудоразборки.

Пятнистая руда с содержанием 29—31% P_2O_5 при наличии класса — 25 *мм* не выше 10% с успехом потребляется черной металлургией (в Союзе и за границей).

При использовании пятнистых руд необходимо иметь в виду большое непостоянство содержания апатита в этих рудах, особенно, если приходится иметь дело с малыми объемами (колебания в повагонных пробах 26—32%, для сортированных руд — 30—34%). Содержание P_2O_5 для всего объема пятнистых руд вместе с брекчиевидными — около 29%. В силу же условий добычи пятнистые руды разубоживаются примесью полосчатых руд с нижних уступов, отчего средневзвешенное за квартал содержание P_2O_5 иногда снижается до 26%.

При подземной добыче не представится возможным отсортировывать пустые породы (жилы, ксенолиты и нефелиновые сиениты) из-за неровностей кровли, поэтому средневзвешенное содержание P_2O_5 снизится до 26,7 %, из подземной же добычи на Юкспоре — 22,4% P_2O_5. Средневзвешенное содержание P_2O_5 во всей добываемой на Кукисвумчорре и Юкспоре руде — 24%.

Апатитовый концентрат — самое высокосортное фосфатное сырье. По принятому стандарту в нем должно быть не ниже 39,5% P_2O_5 (на сухое вещество) при тонине + 100 меш не более 4% (или 80 меш. — не более 1%) и не менее 40% на сите в 200 меш. Обогатительная фабрика часто перевыполняет этот стандарт, и были случаи, когда в средних месячных пробах содержание P_2O_5 достигало 40,2% (за январь 1932 г.); чаще месячные пробы располагаются в интервале 39,5—39,8% P_2O_5.

Нефелиновое сырье. После извлечения апатита из апатито-нефелиновых руд остаются хвосты, богатые нефелином. Минералогический состав их приблизительно таков: нефелина 70—75%, апатита 5—12%, щелочных пироксенов (эгирин, эгирин-авгит) 8—12%, ванадий-содержащего титанистого магнетитного железняка 2—4% и сфена около 3%. Этот продукт предполагается в большом масштабе использовать для сельского хозяйства. Эти хвосты представляют порошок с тониной помола, дающей 50% на сите в 150 меш. Химическая характеристика этого продукта приведена в табл. 9.

Таблица 9

	Хвосты в %	Концентрат в %
SiO_2	39—40	42—43
Al_2O_3	18—22	28—30
Fe_2O_3	5—6,5	3—3,5
CaO	8—9	2—2,5
Na_2O	8—10	12—13
K_2O	3,5—4,5	5—6
P_2O_5	4,5—7,0	0,5—0,7

Для фабрикации окиси алюминия, квасцов и других химических продуктов качество хвостов ввиду высокого содержания железа (5—6,5 Fe_2O_3) является неудовлетворительным. Путем перефлотации может быть получен нефелиновый концентрат с содержанием нефелина до 92%. Этот продукт уже оказывается пригодным для Кандалакшского химического комбината.

При работе двух очередей обогатительных фабрик количество нефелиновых хвостов достигнет внушительной цифры 750 тыс. *т* в год (1936 г.). При пуске же третьей очереди и вынужденной необходимости добывать в больших количествах полосчатые руды тоннаж хвостов возрастает до 2,8 млн. *т* в год.

Сфеновое сырье — сфеновая руда (10—12% TiO_2) — целиком перерабатывается на обогатительной фабрике. В течение первого года работы концентрат характеризовался содержанием 25,5—28,6% TiO_2. В дальнейшем предполагается выпуск двух сортов: I — с 30—32% TiO_2 и II — с 27—29% TiO_2.

б) Другие месторождения апатита в СССР

Работы по поискам апатитовых месторождений в СССР сейчас только начаты. Известные к настоящему времени отдельные месторождения, все, кроме хибинских, малы и мало рентабельны.

Богатые апатитом железные руды

В контактной зоне кислых магм часто накапливаются имеющие промышленный интерес скопления магматита, в некоторых случаях богатые апатитом. Вне Союза наиболее крупными представителями этой группы месторождений являются широко известные Кируна и Люосовара в Шведской Лапландии.

Железные руды при содержании фосфора не ниже 0,9% могут перерабатываться на фосфористый чугун, из которого при переделке его на железо или сталь по методу Томаса получаются богатые фосфором шлаки (11—18% P_2O_5), широко известные в сельском хозяйстве под названием томасшлаков.

В некоторых случаях, при высоком содержании апатита, руда после дробления подвергается магнитной сепарации, после чего апатитовый концентрат используется как фосфатовое сырье.

Здесь мы дадим краткое описание Ионского, Лебяжинского и Мысогорского месторождений.

Ионское (Ковдозерское) железорудное месторождение открыто в 1933 г. на Кольском полуострове, на границе с Финляндией, на широте Хибин, в бассейне р. Ионы. Среди гранито-гнейсов и кристаллических сланцев здесь уцелели линзообразные тела крупнозернистых мраморов (кальцититов), в объеме которых, в контактной зоне с сиенитами, образованы мощные скарновые образования, с которыми и связаны линзообразные тела магнетита (38—50% Fe). В мраморах (до 6% P_2O_5), скарне (до 3,5% P_2O_5) и скоплениях магнетита (до 3% P_2O_5) постоянно присутствует апатит.

Месторождения разведываются. По данным магнитометрии, до глубины 500 *м* здесь сосредоточен запас до 825 млн. *т*.

Мысочорское железорудное месторождение расположено неподалеку от оз. Байкал, находится в Бурят-Монгольской АССР, в 14—16 *км* от железной дороги. Здесь в контактной зоне гранитных интрузий широко развиты железные мета- и ортосиликаты, среди которых обнаруживаются скопления магнетита, обыкновенно обогащенные апатитом. Эти месторождения изучались только на выходах и пока считаются непромышленными в силу низкого процентного содержания железа (47% — из которых 25% приходятся на железо, входящее в состав силикатов). Наличие апатита делает необходимым дальнейшее изучение этого района, так как здесь могут быть обнаружены интересные в промышленном отношении магнетито-апатитовые руды.

Лебяжинское железорудное месторождение расположено севернее г. Нижнего Тагила, в 4,5 *км* к северо-востоку от Высокогорского железорудного месторождения. Месторождение связано с сиенитовой интрузией, которая является продуктом дифференциации габбровой магмы.

Известны две полосы концентрации железа: западная и восточная.

Западная полоса состоит из семи штокообразных скоплений в скарнах среди сиенита (вытянутых в направлении СВ 20—30°). Все эти руды выходят на поверхность и выклиниваются на глубине до 150 *м*. Руды этой полосы довольно равномерно обогащены апатитом. Среднее содержание в них фосфора 0,15% (0,33% P_2O_5), железа 50—59%. Сейчас не разрабатываются.

Восточная полоса месторождений представлена тремя хорошо оконтуренными линзами, созданными в результате замещения известняков вдоль контакта с сиенитами. Рудные линзы падают на восток под углами 40—50°. Северная и южная выклиниваются на глубине 200 *м*, средняя же — около 400 *м*. Железные руды этой полосы более богаты фосфором. Средневзвешенное содержание фосфора в них 0,5% (1,1% P_2O_5, или 2,6% апатита).

Эти месторождения разрабатываются. При добыче отсортировываются наиболее богатые фосфором руды, в которых содержится до 1,5% P (3,3% P_2O_5) при среднем содержании фосфора 1% (2,2% P_2O_5) и железа 58%.

Отсортированные богатые фосфором руды потребляются на Урале для фабрикации литейных чугунов. Малофосфористые идут в плавку вместе с высокогорскими, давая нормальные по содержанию фосфора чугуны. В результате магнитной сепарации разностей богатых фосфором лебяжинских руд могут быть получены хвосты с очень низким содержанием фосфора (3—6% P_2O_5). Запасы железа в рудах этих месторождений — около 28 млн. *т*, апатита же в них 0,73 млн. *т* (по В. И. Станкевичу). Невысокий средний процент фосфора в руде делает невозможным использование ее как томасовской, получение апатитовых концентратов здесь также мало рентабельно, поэтому все количество апатита этих руд оказывается невозможным рентабельно использовать для сельского хозяйства.

Апатит в месторождениях титаномагнетитов

При дифференциации габбровой магмы в остаточном расплаве накапливаются железо, титан, ванадий и фосфор. Жидкая масса остаточных продуктов может быть выдавлена в трещины остывшей части породы и образовать жильные месторождения ванадий-содержащих титаномагнетитов (в габбро, пироксенитах и др.). В том случае, когда выдавливание не может быть осуществлено, титаномагнетит в форме вкрапленников оказывается рассеянным среди габбро, пироксенитов, оливинитов и др.

Обыкновенно жилообразные месторождения бедны фосфором, наиболее высокое содержание которого мы встречаем в объемах габбро, обогащенных вкрапленниками. Для уральских габбро содержание титаномагнетита поднимается до 11—14%, при содержании апатита 5—8%. Несмотря на содержание около 0,7 V_2O_5 и 3—4% TiO_2, отмеченные количества титаномагнетита и апатита не могут представить практического интереса. Благоприятным обстоятельством здесь является факт наложения, в ряде мест, на титаномагнетитовое оруденение медного. В этом случае при содержании меди в среднем в 1—0,7% при 11—14% титаномагнетита габбро становится комплексной рудой.

Такое месторождение, уже изученное разведочными работами, находится в 10—12 *км* от ст. Баранчи на Среднем Урале, известное под названием Волковского (горы Волковская, Лавровая, Никольская). Здесь после извлечения сульфидов меди и титаномагнетита из хвостов окажется рентабельным извлечение апатита путем флотации. Большой объем добычи горной массы, ориентированный по потребности в меди и титаномагнетитах, делает количественно интересной попутное извлечение апатита.

Судя по всему, аналогичные месторождения на территории габбровых массивов Среднего Урала могут быть найдены еще в ряде пунктов.

Возможно, окажется промышленно интересным Патынский габбровый массив в Горной Шории в Западной Сибири. В ряде горизонтов этого массива наблюдается повышенное содержание ванадий-содержащих титаномагнетитов и апатита. Месторождение разведывалось как железорудное и признано непромышлен-

ным. Сейчас НИУИФом ведутся работы по изучению концентрации фосфора в габбро Патынского массива. При благоприятном разрешении вопроса месторождение будет переоцениваться как комплексное (Fe, Ti, V и P).

Габбровые магмы содержат обыкновенно огромное количество фосфора, но, к сожалению, в интересующих нас объемах она не обладала достаточным количеством агентов минерализации, которые могли бы способствовать концентрации фосфора в объемах, удобных для крупной добычи, как это имело место в месторождениях района Нельсона в Северной Америке.

Месторождения, не связанные с железными рудами

Р а й о н С л ю д я н к и у оз. Байкал. Широко известные, давно эксплоатируемые флогопитовые месторождения расположены в 1,5—5 *км* от ст. Слюдянка Забайкальской ж. д.

Район сложен дислоцированными кристаллическими сланцами, мраморами и гнейсами. Скопления апатита в этом районе приурочены к флогопитовым жилам и кварцево-диопсидовым породам.

Флогопитовые месторождения представлены короткими крутопадающими жилообразными телами, секущими сланцы вкрест простирания. Обыкновенно каждая из отдельных жил вытянута по простиранию на 30—40 *м*. Мощность невыдержанная, доходящая до 1 *м*. Жилы обыкновенно имеют зонарное строение: центр выполнен крупнозернистым кальцитом, за которым в обе стороны располагаются крупные пластинчатые кристаллы флогопита и на зальбандах жил развит крупнозернистый диопсид. Апатит в форме крупных своеобразных голубых кристаллов, как бы оплавленных с поверхности, располагается в кальците по границе с флогопитом. Апатит распределен неравномерно, и в теперь эксплоатируемых копях встречается в небольшом количестве и как сырье для фосфато-туковой промышленности практического значения не имеет.

Имеющими большие перспективы кажутся кварцево-диопсидовые породы, постоянно содержащие апатит. Они приурочены к толще кристаллических известняков и, по мнению некоторых исследователей, являются как бы самостоятельным стратиграфическим горизонтом. По мнению других, это отдельные участки кристаллических известняков, метаморфизованные продуктами диференциации кислой магмы.

Интересующая нас порода состоит из перемежающихся полосок и прожилков белого мучнистого диопсида, синеватого апатита и прожилков доминирующего по количеству кварца. Апатит распределен неравномерно и в некоторых местах становится одним из главных породообразующих минералов, придавая породе своеобразный синеватый оттенок.

Эта порода под углом зрения установления закономерности в распределении апатита еще не изучалась. Случайные опробования на выходах дают содержание от 3 до 7% P_2O_5.

Д р у г и е р а й о н ы. В отношении их имеются редкие указания на наличие в тех или иных породах повышенного со-

держания апатита, часто даже без количественной характеристики. Все эти сведения не являются указаниями на наличие месторождений, а только небольшими намеками — в большинстве случаев недостаточными по полноте данными для постановки сложных петрологических задач отыскания по этим признакам скоплений апатита промышленного типа.

Наиболее существенные из этих указаний следующие:

В Мариупольском щелочном массиве в Полековой балке П. И. Лебедевым [1] встречена в мариуполите своеобразная жильная апатито-флюоритовая порода. Мощность 0,25 *м*.

Преобладающим минералом породы является густофиолетовый флюорит, в меньшем количестве встречается апатит. Постоянно в небольших количествах присутствуют роговая обманка и полевые шпаты. Содержание P_2O_5 во взятой пробе 8%; F — 17,9%.

В этом же мариупольском щелочном массиве в коллекции Л. И. Горбунова нами был встречен в жильном щелочном сиените роговообманковый шлир, богатый апатитом. Порода состоит из крупных призматических зерен щелочной роговой обманки, сцементированных аллотриоморфными продолговатыми кристаллами апатита, вытянутыми в одном направлении.

Наличие указанных находок делает мариупольский щелочной массив весьма интересным с точки зрения возможности встретить промышленные апатитовые месторождения.

В районе Чикойских молибденитовых месторождений имеет место повышенная концентрация апатита. В ряде мест в Минусинской котловине в контактной зоне кислых интрузивов отмечается повышенное содержание апатита и сфена. Количественные данные в литературе отсутствуют.

2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ АПАТИТОВ ВНЕ СССР

Шведская Лапландия. Здесь уже давно разрабатывается ряд широко известных крупных железорудных месторождений с высоким содержанием апатита. Наибольшее из них — Кирунавара. Рудное тело, представленное магнетитом, располагается между сиенит-порфирами (лежачий бок) и кварцевыми порфирами (висячий бок). Вся эта серия интрудирована в сильно дислоцированные докембрийские метаморфические породы — свиты Кауки. Рудное тело простирается в меридиональном направлении, падение восточное, 50—60°. Длина по простиранию собственно Кирунавары 5,8 *км*. На севере это месторождение сменяется рудной линзой Луосаярви длиною 1,2 *км*. Средняя мощность — 78 *м*, минимальная — 35—40 *м*, максимальная — 158 *м*. Апатит в рудном теле этих месторождений распределяется весьма неравномерно. Большие массы руды, содержащие фосфора 0,03—0,01%, сменяются объемами с 1,5—2,5% фосфора (апатита 8—13%). Переходы между богатыми и бедными сортами обыкновенно резкие.

[1] П. И. Лебедев и В. А. Молева. Пневматолитовая порода приазовской кристаллической полосы. Труды Петрина, вып. 5, 1933.

Разнообразие руды по содержанию фосфора позволяет руднику выпускать следующие сорта:

Таблица 10

Класс	Максимальное содержание P в %	Содержание Fe в %
A . . .	0,03—0,05	69—70
B . . .	0,05—0,30	57—68
C . . .	0,3 —0,8	66,0
C_1 . . .	0,8 —2,0	62,0
O . . .	2 —4	58,0

Среднее содержание фосфора в руде верхних горизонтов 2,6% (5,7% P_2O_5, или 13,6% апатита). С глубиною его количество в среднем понижается. Рудное тело разведано бурением на глубину 740 *м* (абс. отметка — 240 *м*), магнитометрическими же работами доказано продолжение рудного тела на глубину до 1,3 *км*. Запас руды до глубины 700 *м* (горизонт — 200 *м*) — 1,1 млрд. *т*; на долю апатита приходится около 100 млн. *т*.

Выход рудного тела на поверхности образует гребень, поднимающийся до 248 *м* над окружающей равниной.

Эти условия залегания позволили начать разработку открытыми работами, которые постепенно вытесняются подземными. Предприятия отлично оборудованы, электрифицированы. Вся добываемая руда идет на экспорт и вывозится через незамерзающий порт Нарвик на Офотенфиорде. Добыча руды в последние годы — около 4 млн. *т*. Это не является пределом возможностей рудника, а только пределом потребности рынка.

Индия. Высоким содержанием апатита отличаются железные руды Бенгалии, где в свите метаморфических пород залегают на протяжении 19 *км* отдельные линзы магнетита мощностью до 8 *м* и длиною по простиранию до 30 *м*. Наиболее богатые апатитом линзы содержат до 25% P_2O_5. Руда подвергается магнитной сепарации. В апатитовых концентратах содержится до 35% P_2O_5.

Чили. Апатитовые месторождения в Чили в районе Vullenar генетически связаны со штоками гранодиоритов прибрежных Кордильер. Они встречаются чаще в контактной зоне и вне гранодиорита. Представлены месторождения линзообразными телами с длиной по простиранию до 320 *м*, чаще 50—30 *м*, мощностью, в зависимости от длины по простиранию, до 40 *м*, чаще 3—10 *м*. Рудные тела сложены из апатита, магнетита и роговой обманки. Часто структура полосчатая, и в отдельных полосах преобладает тот или иной из названных выше минералов. Во всех месторождениях в количественном отношении преобладает апатит. Содержание P_2O_5 в руде — 20—25%.

Запасы в отдельных линзах — от 50 до 400 тыс. *т* апатита. Отдельных месторождений много, общие запасы их еще не учтены.

Южная Норвегия. Между Лянгезундом и Лилизандом (110 × 2 *м*) известно большое количество небольших интрузивных массивов основных пород. С ультраосновными продуктами их дифференциации обыкновенно связаны апатитовые жилы. Они преимущественно располагаются в объеме изверженной породы (чаще в оливиновых гипаритах), реже — секут вмещающие массивы метаморфических пород. Хлорапатит концентрируется в центральных частях жил, периферия которых слагается слюдой, пироксенами и др. В составе жильных минералов широко развиты: ильменит, рутил, магнетит. Распределение апатита неравномерно.

Сами жилы — обыкновенно быстро выклинивающиеся по простиранию (чаще 20—30 *м*, известны случаи — до 150 *м*) и падению (нередко 75—100 *м*, чаще до 50 *м*). Мощность их редко превосходит 1,5 *м*. Встречается группами с крутым падением. Выклинивание одних компенсируется возникновением новых и т. д.

Условия залегания невыгодны для постановки добычи в большом масштабе. Разработка месторождений осуществлялась небольшими кустарными предприятиями; максимальная добыча достигла во всем районе всего лишь 12 тыс. т (1890 г.).

Виргиния. Апатитовые месторождения в штате Виргиния, расположенные главным образом в центре округа Нельсон, представлены дайками нельсонита. Нельсонитом названа своеобразная жильная порода, состоящая из ильменита, апатита и рутила, пирита, роговой обманки, реже пироксенов, биотита, иногда кварца.

Порода непостоянна по своему минералогическому составу: в некоторых объемах доминирует ильменит и почти отсутствует рутил, в других, наоборот, ильменит оказывается замещенным рутилом, сравнительно редко появляется магнетит.

Апатит присутствует повсюду, в некоторых объемах породы он является доминирующим по составу. В руде 12—17% P_2O_5. Нельсонит по мере увеличения силикатов переходит в габбро-нельсонит.

Отдельные дайки нельсонита прослеживаются по простиранию до 700 *м*, достигая 20 *м* мощности.

Месторождения раньше выборочно разрабатывались как титановые, в последнее же время начали интенсивно разрабатываться и богатые апатитом участки. Порода обогащается на месте. Химическим заводам продается апатитовый концентрат.

Лулу-Коп находится в восточном Трансваале (Южная Африка) в 25 *км* от железной дороги (см. Майсиндинга). Здесь промышленные скопления апатита приурочены к пироксениту (площадь 15 *км*^{2}), образовавшемуся в контактной зоне между гранитом и карбонатными породами.

Пироксенит состоит из диопсида, апатита, темных слюд, ортоклаза и в незначительном количестве микроклина (Шенд называл эту породу шонкинитом).

Только в небольших и подчиненных объемах в пироксените отсутствует апатит, который, кроме рассеянных в пироксените

зерен, часто встречается: 1) в форме прослоев, линз или жил, состоящих из грубозернистого бледнозеленого апатита, 2) в форме прослоев или неправильных шлирообразных скоплений мелкозернистого апатита, обыкновенно с постепенным переходом в пироксенит, или 3) в форме вкрапленников апатитовых зерен в пироксените. Обыкновенно в местах с повышенным содержанием апатита увеличивается количество слюд.

Кроме зоны пироксенита, скопления апатита имеют место в так называемых мраморитах (Дю-Туа), образующих жилообразные тела, секущие мраморы. Мраморит состоят главным образом из кальцита с доломитом, оливина, магнетита, апатита, слюды и вкрапленников борнита и медного колчедана. В контакте мраморитов часто наблюдаются оливино-магнетито-апатитовые скопления.

Наибольший практический интерес представляет площадь около 1 *км*² наиболее богатых апатитом пироксенитов, выделенная разведками. На ней и сосредоточена добыча. Руда подвергается флотации. О размерах производства сведений нет. По подсчетам Шенда, запас апатита на этой площади измеряется цифрой до 5 млн. *т*.

Месторождения в районе Зютпансберга. В Трансваале, к югу от Зютпансберга, неподалеку от железнодорожной линии, среди гнейсов и кристаллических сланцев широко развиты гранитные пегматиты, которые при сечении зеленых сланцев обогащаются апатитом. Зона этих сланцев с пегматитами обладает мощностью от 3,2 до 4,8 *км* и вытянута по простиранию на 8 *км*. Апатит чаще встречается в виде скоплений в зальбандных частях жил, а также в прилегающих зонах сланца, который в этих местах в значительной мере амфиболитизирован и обогащен биотитом.

Апатит в пегматитах проникнут тонкими иглами монацита; иногда скопления апатита обрамляются как бы оторочкой этого минерала.

Парагенезис пегматитовых жил осложнен скоплениями более молодых образований — барита с сульфидами.

Месторождения открыты в 1925 г. Несмотря на непостоянство в накоплении апатита в отдельных жилах, месторождения имеют промышленный интерес и разрабатываются. Руда флотируется. Концентрат содержит 37—38,5 P_2O_5.

Австралия. Аналогичное описанному обогащение апатитом осуществляется в гранитных пегматитах в восточной Австралии, при пересечении ими карбонатных пород. Промышленное значение этих месторождений пока не установлено.

Канада. С несколько своеобразным типом гранитных пегматитов, аналогичных нашим слюдянским, связаны месторождения Канады — провинции Квебек и Онтарио. Здесь интересующие нас образования приурочены к пироксенитам и создают чрезвычайно неправильные формы скоплений. Диопсид, флогопит, кальцит и апатит являются главными минералами этих пегматитов. Апатит встречается в форме крупных кристаллов в кальците или слагает мелкозернистую сахаровидную массу.

Добыча апатита здесь началась еще с 1870 г. Те же затруднения, что и в Норвегии, препятствовали развитию добычи, достигшей в 1889 г. своей рекордной цифры — 31,8 тыс. *т*. Сейчас ведется интенсивная разработка этих жил для получения флогопита. Канада — один из наиболее крупных в мире центров добычи этого сырья. Апатит добывается попутно. Максимальная цифра добычи для этого периода относится к 1933 г. и составляет 2 тыс. *т*.

Добыча, преимущественно подземная, в апатитовый период разработки достигала 180 *м* глубины; теперь же максимальная глубина 120 *м*. Содержание P_2O_5 в отобранной товарной продукции 30—40%. В аналогичных условиях известно присутствие апатита во флогопитовых жилах Мадагаскара и Цейлона.

Испания. Интересны небольшие месторождения апатитов, известные в юго-западной Испании, в провинции Мурсиа у Юмила. Здесь в юмилите (порода, состоящая из оливина, санидина, лейцита, слюд и некоторых других) попадаются отдельные небольшие объемы (штокверки), богатые прожилками (1—10 *см*), состоящими из апатита, магнетита и кальцита. Как апатитовое месторождение разрабатывалось в 1860—1870 гг. Содержание P_2O_5 в породе колебалось от 7 до 30%. Теперь юмилит в небольшом количестве употребляется непосредственно как удобрение (Mg, K, P).

В Испании в провинции Кацерес известны кварцево-фосфатовые жилы (гидротермальные), связанные с двухслюдистым гранитом, интрудировавшим в метаморфизованные палеозойские породы. Жилы располагаются в самом граните, а также и выходят за его пределы. Это обыкновенно выдержанные по простиранию (1,8 *км*) и падению образования мощностью от 0,5 до 3 *м*. Содержание P_2O_5 в породе 15—38%. Запасы — до 160 млн. *т*. Добыча подземная. Отсутствие дорог, необорудованность предприятий придает всему делу кустарный облик. Годовая добыча не поднимается выше 20 тыс. *т*.

Дальнейшее изучение этих месторождений представляет большой интерес. Эти месторождения, повидимому, смогут играть роль более значительную, чем только местной сырьевой базы.

Китай. В Китае пока известно одно месторождение апатита у р. Час-Хо в Гу-Шане. Здесь апатит залегает вместе с пиролюзитом, образуя жилообразное тело, прослеживаемое по простиранию до 1 *км*. Скопление апатита приурочено к метаморфизованным карбонатным породам, залегающим между гнейсами и кристаллическими сланцами крутопадающими к западу. От месторождения апатит отправляется по реке до морского порта, расположенного в 20 *км*. Разработка ведется в небольшом масштабе.

III. УСЛОВИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРА ПРИ ДИФЕРЕНЦИАЦИИ МАГМЫ

К настоящему времени известны далеко не все скопления апатита, находящиеся в доступных для эксплоатации частях литосферы. Из того же, что известно на сегодня, с полной оп-

ределенностью вырисовываются основные пути концентрации фосфора при сложных процессах дифференциации магмы.

Прежде всего необходимо иметь в виду, что содержание фосфора в большинстве как основных, так и кислых магм (0,2—0,4% P_2O_5) вполне достаточно, чтобы при условиях благоприятной концентрации этого элемента создавать месторождения с огромными запасами. В природе же мы, к сожалению, исключительно редко встречаем скопления апатита, имеющие промышленный интерес.

Апатит и монацит чаще оказываются рассеянными в форме отдельных мелких зерен среди огромных объемов изверженных пород.

Внимательное изучение апатитовых месторождений приводит к выводу, что все они, кроме Хибинских и Кирунавары, образованы в обстановке высокотемпературного пневматолиза, который в большинстве случаев, в силу общей геологической обстановки этого процесса, проявлялся в виде автопневматолиза в больших объемах изверженной породы. Концентрация эманаций, с образованием жильных месторождений других элементов, обыкновенно происходила при более низких температурах, когда уже почти весь фосфор оказывался рассеянным.

При кристаллизации основных магм фосфор концентрируется в остаточном расплаве, в котором, по мере выпадения оливина, плагиоклазов и пироксенов, накапливаются железо, титан, ванадий, медь, фосфор и агенты минерализации (вода, галоиды, сероводород и др.).

При незначительном количестве агентов минерализации фосфор теряется остаточным расплавом до момента выпадения титаномагнетита. Поэтому объемы, обогащенные фосфором и одновременно титаномагнетитом, могут существовать только в том случае, если остаточный расплав не удален выдавливанием и титаномагнетит оказывается рассеянным в форме вкрапленников (Волковское месторождение, Патын). Выдавливание остаточного расплава обыкновенно происходит после выделения фосфора, и поэтому инъекционные месторождения остаточных расплавов основных магм чрезвычайно бедны фосфором (титаномагнетитовые месторождения Урала).

При наличии большого количества агентов минерализации (H_2O, Cl), особенно в массивах, неглубоко расположенных в земной коре, возможен вынос фосфора с образованием месторождений типа Нельсона и Южнонорвежских.

При дифференциации кислых магм сейчас можно сомневаться в сколько-нибудь значительной количественной роли апатита, выпадающего из расплава раньше силикатов. И. Фогт в образовании апатитовых месторождений, в частности Кирунавары, придавал большое значение этому апатиту, который после своего выпадения еще в жидкой магме, под влиянием силы тяжести, мог концентрироваться в более глубоких, горячих частях бассейна. Переплавление сконцентрированных апатитовых кристаллов могло повести к образованию богатых фосфором расплавов, инъекция которых и создает апатитовые месторождения.

Фосфор участвует в наиболее высокотемпературных эманационных месторождениях, чаще всего в парагенезисе с железом (Лебяжка, Мысогорские месторождения). В высокотемпературных пневматолитовых оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождениях фосфор играет ничтожную роль. Наличие апатита в рудах этих месторождений объясняется наложением оруденения перечисленных элементов на зоны, ранее обогащенные апатитом.

Апатитом иногда бывают обогащены скарновые зоны и некоторые участки гранитных массивов, захваченных эндоконтактными изменениями (Лулу-Коп).

В пегматитовых жилах, богатых агентами минерализации, при ассимиляции ими вмещающих жилы богатых кальцием пород, фосфаты эманаций выпадают в форме апатита.

С пегматитовыми жилами также бывают связаны накопления амблигонитов. В низкотемпературном интервале этого процесса имеет место концентрация фосфатов марганца и железа. Больших, имеющих промышленное значение месторождений этих минералов пока не найдено.

Кислые продукты дифференциации гранитных магм, как аплиты и кварцевые жилы, обычно содержат фосфор в гораздо меньшем количестве, чем более основные. Также накопление фосфатов не имеет места в температурном интервале, характерном для накопления сульфидов. Только в железных шляпах свинцовых месторождений имеет место накопление пироморфита, промышленные месторождения которого как комплексной фосфатосвинцовой руды пока неизвестны.

Химическая устойчивость апатита является препятствием ко вторичной концентрации фосфатов в результате гидротермальных процессов.

Известны только накопления бирюзы [$AlPO_4 \cdot Al(OH)_3$]; месторождения ее еще не изучались как комплексные руды — драгоценных камней и плохо расцвеченной массы, которую можно использовать как комплексную алюминиевофосфорную руду.

Вторичные накопления фосфатов имеют место только при механическом разрушении коренных пород. Так, пока не эксплоатируется ни одно коренное месторождение монацита, вся потребность в котором покрывается за счет разработки россыпей. Повидимому, в ряде мест при комплексом использовании шлихов у нас в Союзе удастся использовать, вместе с золотом, оловянным камнем и вольфрамитом, и апатит. Изучение апатитонакопления в россыпях будет осуществляться в ближайшем будущем, в связи с широко развивающимися работами по комплексному изучению шлихов в ряде районов СССР.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА К ПЕРВОЙ ЧАСТИ

1. O. Stutzer. Die wichtigsten Lagerstätten der Nicht-Erze. B. I, 1933.
2. П. М. Татаринов, К. Н. Озеров и др. Курс нерудных месторождений. Глава „Апатит", К. Н. Озеров, стр. 79, часть 1, 1934.
3. А. Е. Ферсман. Апатит, его месторождения, геохимия, запасы и экономика. Сборник „Хибинские апатиты", т. III, 1931.

4. М. П. Фивег. Апатит (минералогия и описание месторождений). Справочник по удобрениям. Труды НИУИФ.
5. G. Doelter. Handbuch der Mineralchemie. B. III, 1918.
6. G. Berg. Die Rolle des Phosphors im Mineralreich. Archiv für Lagerstätten. 1922.
7. M. Mehmel. Ueber die Struktur des Apatits. «Zf. f. Krist.», 75, 323, 1930.
8. St. Naray—Szabo. The structure of apatite. «Z. f. Krist.», 75, 387, 1930.
9. S. Hendrichs, M. Jefferson, V. Mosley. The crystal structures of same natural and synthetic, apatite-like substances. «Z. f. Krist.», 81, 352, 1932.
10. Г. Хаузен. Апатиты. Перевод А. Б. Антонова. Гориздат, 1932. Приложен подробный список литературы до 1928 г. по минералогии апатита.
11. Сборники „Хибинские апатиты". Издано 8 томов. т. I, 1930; т. VIII, 1934.
12. Сборник НИУИФ. Апатито-нефелиновые месторождения Хибинских тундр. Труды НИУ, т. I, вып. 89, 1932.
13. То же, т. II, Труды НИУИФ, вып. 128, 1936.
14. А. К. Болдырев. Редкоземельные апатиты Лебяжинского рудника. Материалы по геологии и минералогии. Вып. 142, 1930.
15. P. Geijer. On the geology of Kiirunavaara cleared by the deep borings. 1924.

ЗАПАСЫ, УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ, ДОБЫЧА, ОБРАБОТКА

I. ЗАПАСЫ АПАТИТОВ

Скопления магматического и постмагматического апатита в месторождениях других стран (вне СССР) относительно незначительны, как по запасам апатитовых руд, так и особенно по запасам чистого фосфорного ангидрида в связи с относительно невысоким его содержанием в них.

Запасы апатитовых руд месторождений других стран (вне СССР) (по акад. А. Е. Ферсману и в части Кирунавара, Кацерес и Лулу-Коп — по материалам М. П. Фивега) приведены в табл. 11.

Таблица 11

Страны	Месторождения	P_2O_5 в %		Запасы в млн. *т*		
		колебания	среднее содержание	руды	апатита	чистого P_2O_5
Швеция . .	Кирунавара .	0,07—8,5	—	ок. 1,100	ок. 100	ок. 40,0
» . .	Гренгсберг .	3—9	3,0	0,3	0,03	0,01
» . .	Ректор . . .	—	13,74	4,8	1,6	0,65
» . .	Нокутусвара	—	8,02	9,0	1,6	0,65
» . .	Гелливара . .	0—4	1,80	400	15,0	6,0
Испания . .	Логрозан . .	—	25,0	22	20,0	5,0
» . .	El Calerizo .	—	6,0	32	5,0	2,0
» . .	Кацерес . .	15—38	2,0	ок. 160	78,0	ок. 32,0
Канада . .	Онтарио и Квебек . .	—	38	—	0,2	0,1
Китай . . .	Kiangli . . .	—	33	не подсчитаны		
Ю. Америка	Зютпансберг .	—	—	»	»	»
»	Лулу-Коп . .	—	—	—	5,0	2,0
Индия . . .	Singhbhum . .	—	—	не подсчитаны		
Бразилия .	Якупиранга .	—	—	»	»	»
Суммарно .		—	—	—	ок. 216	86,41

Между тем общий запас апатитовых руд в пределах одной Хибинской тундры СССР оценивается округло в 2 млрд. *т* апатито-нефелиновых руд и в 430 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида. На запас чистого фосфорного ангидрида в недрах Хибинских тундр приходится около 83% от общих мировых запасов фосфорного ангидрида в апатитовых месторождениях.

Ни одна страна в мире не располагает апатитовыми месторождениями с таким колоссальным запасом апатитовых руд, к тому же богатых апатитом, как Хибины.

По Кукисвумчоррскому апатитовому месторождению Хибинской тундры, разрабатываемому с 1930 г., промышленная разведка открытой и подземной частей была закончена полностью к началу 1932 г.

На базе разведочных материалов и данных последующего изучения месторождения в процессе его эксплоатации были окончательно уточнены по Кукисвумчорру запасы апатитовых руд пятнистой разности и отдельно полосчатой и обогащенной полосчатой крупнозернистой зоны.

Наибольшее внимание было уделено богатой апатитом пятнистой разности горы Кукисвумчорр: она является основной при эксплоатации рудника им. С. М. Кирова.

Запасы апатито-нефелиновых пород пятнистой разности Кукисвумчоррской части линзы определены в следующих размерах: категории A_2 — 90 406 923 *т*, категории B — 31 394 560 *т*, всего по A_2+B — 121 301 483 *т*.

Из них утверждены Центральной комиссией по запасам по протоколу от 21/III 1933 г.: по категории A_2 — 23 150 000 *т*, по категории B — 51 450 000 *т*, всего по A_2+B — 74,6 млн. *т*.

При определении запасов апатитовых руд наиболее подходящим методом применительно к форме крупных линз апатитовых месторождений оказался метод расчленения рудного тела параллельными горизонтальными плоскостями, проведенными через 5 или 10 *м* на топографической основе 1:2000 или 1:500.

В результате тщательных подсчетов по этому методу запасы апатитовых руд в целом Кукисвумчорр-Юкспорского месторождения определились по богатой апатитовой пятнистой разности с средневзвешенным содержанием 29,01% фосфорного ангидрида в 85 891,5 тыс. *т*. В пересчете это составляет 25 млн. *т* чистого ангидрида, или около 11 млн. *т* чистого фосфора.

Этот запас категории A_2 охватывает открытую и подземную части Кукисвумчорр-Юкспорской пятнистой линзы, но не включает пятнистых руд в пределах долины Лопарской и западного склона горы Юкспор. Разведанные здесь запасы апатитовой руды пятнистой разности категории A_2 равны по подсчетам 17 279 тыс. *т*, что составляет в пересчете 5 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида и около 2,2 млн. *т* чистого фосфора.

Итоговый запас категории A_2 апатитовой руды пятнистой разности выражается по Кукисвумчорр-Юкспорской линзе в 103 170,5 тыс. *т*. В пересчете это равноценно около 30 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида, или около 13,2 млн. *т* чистого фосфора. Подобные цифры запасов апатитовых руд свидетельствуют о необычайной концентрации апатита в пределах Кукисвумчорр-Юкспора, об исключительных богатствах этого месторождения Хибинской тундры.

С учетом запаса в 31 394,5 тыс. *т* апатитовой руды пятнистой разности, отнесенного в пределах разведочных участков к запасам категории B, суммарно запас категории A_2+B равен по

Кукисвумчорр-Юкспорской линзе пятнистой разности 134 565 тыс. *т* апатитовых, богатых апатитом пятнистых руд. В пересчете он равноценен 39,1 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида, или 17,2 млн. *т* чистого фосфора.

Методом треугольников между буровыми скважинами №№ 8, 5, 6, 1, 9, 3, 13, 16 и 17 и открытой частью месторождения подсчитан в пределах Кукисвумчорр-Юкспорской линзы промышленный запас обогащенной зоны полосчатых апатитовых руд с средневзвешенным содержанием фосфорного ангидрида 25,56%.

Запас обогащенных полосчатых руд Кукисвумчорр-Юкспорской линзы равен 20 086,1 тыс. *т* категории В, что в пересчете составляет 5,83 млн. *т* фосфорного ангидрида и 2,56 млн. *т* чистого фосфора.

Не лишне привести параллельно скромные данные предварительных подсчетов запасов апатитовой руды в первые годы изучения Кукисвумчорр-Юкспорского месторождения Хибин, до полного охвата его в целом детальными разведочными работами.

В 1927 г. сотрудник Минералогического музея Академии наук А. Н. Лабунцов определял запасы апатитовой руды по Кукисвумчорру в 11,7 млн. *т* и по горе Юкспор — в 1,35 млн. *т*.

В 1928 г. В. И. Влодавец, возглавлявший партию Института по изучению Севера, подсчитал запасы 1-го разведочного участка горы Кукисвумчорр; они были определены в 5,7 млн. *т* богатых руд с содержанием фосфорного ангидрида в 28% и выше и 11,4 млн. *т* относительно бедных апатитовых руд.

В результате детальных подсчетов запаса апатитовых руд в пределах Кукисвумчорра, Юкспора и других основных Хибинских апатитовых месторождений, подсчетов, выполненных на основании суммарных данных геолого-разведочных работ, произведенных в течение ряда лет научно-исследовательскими организациями (Научный институт по удобрениям, Институт по изучению Севера и др.), экспедициями Академии наук и всесоюзным горнохимическим трестом «Апатит», получены цифры запасов апатитовых руд Хибин, свидетельствующие об исключительных природных богатствах Хибинской тундры первоклассным фосфатным сырьем, равного которому Советский Союз не знал до открытия апатита.

Запасы апатитовых руд категории А+В+С Хибинских месторождений составляли на 1/I 1934 г. 748,75 млн. *т*. По отдельным месторождениям Хибин они были определены следующими цифрами (табл. 12 на стр. 50).

По Кукисвумчоррскому апатитовому месторождению в процессе его эксплоатации произведены подсчеты богатой апатитовой пятнистой руды, могущие быть взятыми открытыми работами при заранее заданном коэфициенте отношения покрывающих рудные тела нефелиновых сиенитов к руде пятнистой разности. Для выбранных значений объемного коэфициента вскрыши $k = 0{,}41$ и 0,88 итоги подсчетов выразились следующим образом:

а) при $k = 0{,}41$ потребуется снять нефелиновых сиенитов 2 507·800 $м^3$, или 7 247 500 *т*; при этом эксплоатационный запас

апатитовых руд для открытых работ составляет 6 092 000 $м^3$, или 19 494 700 $т$ (весовой коэфициент вскрыши соответственно равен 0,36);

Таблица 12

Месторождения	Запасы апатитовой руды в тыс. $т$			
	кат. A_2	кат. B	кат. C	всего
Кукисвумчоррское, пятнистая зона	103 170,5	31 394,5	—	134 565
Кукисвумчоррское, обогащенная полосчатая зона	—	20 085,0	—	20 085
Юкспорское	49 000	93 000	—	142 000
Апатитовый цирк Расвумчорра	15 000	60 000	—	75 000
Плато Расвумчорра	40 500	—	330 000	370 500
Куэльпорское	—	—	6 600	6 600
Суммарно без Суолуайв-Ньюпахкского месторождения	207 670,5	204 479,5	336 600	748 750

б) при $k = 0{,}88$ потребуется снять 10 036 000 $м^3$ нефелиновых сиенитов, или 29 005 500 $т$, т. е. объем вскрыши возрастает вчетверо, а эксплоатационный запас апатитовой богатой руды для открытых работ составляет по подсчетам 11 424 000 $м^3$, или 36 656 800 $т$ (весовой коэфициент – 0,80), т. е. всего лишь в 1,88 раза больше, чем по варианту при $k = 0{,}41$.

С расширением границы открытых работ, т. е. с увеличением объема работ по добыче апатитовой руды Кукисвумчоррского месторождения открытым способом, объем вскрышных работ по горе Кукисвумчорр, благодаря ее профилю и падению рудного тела, обратному направлению склона горы, быстро, чрезмерно и непропорционально возрастает.

Дополнительно к приведенным колоссальным запасам апатитовой руды, составляющим по Хибинской тундре почти $^3/_4$ млрд. $т$, имеется подсчет запасов руды апатитовых месторождений Хибин на вероятную глубину,—подсчет запасов вероятной руды.

Опираясь на принцип Гувера (H. C. Hoover, Principles of Mining, 1909), зная направление склонения апатитовых руд, следовало бы производить подсчет запасов вероятной руды на протяжении одной трети длины рудных тел по простиранию. Исходя из формы Хибинских апатитовых месторождений полосчатых руд с малым углом и возможным двойным склонением, Л. Б. Антонов (всесоюзный трест «Апатит») приводит результат более осторожного подсчета запасов вероятной руды на протяжении одной четверти длины рудных тел по простиранию, или, точнее, на одной трети площади окружности с радиусом, равным половине длины по простиранию.

С внесенным для осторожности коррективом имеем в Хибинских тундрах Кольского полуострова следующие запасы апатитовых руд на вероятную глубину (табл. 13).

Таблица 13

Месторождения	Разность апатитовой руды	Длина по простиранию в *м*	Средняя мощность в *м*	Площадь рудного тела в $м^2$	Объем рудного тела в $м^3$	Запас вероятной руды в *т*
Кукисвумчорр.-Юкспорское . .	Пятнистая	2824	46,3	2 086 785	96 618 143	319 078 065
Юкспор-Кукисвумчоррское . .	Полосчатая	3874	80	3 927 060	314 164 800	973 910 380
Апатитовый цирк Расвумчорра . . .	Пятнистая и полосчатая	1868	—	913 065	52 957 770	164 000 000
Плато Расвумчорра	Пятнистая	1700	—	756 216	28 358 100	90 745 920
„ „	Полосчатая	3274	—	2 804 824	112 192 960	347 798 176
Куэльпорское . .	Пятнистая и полосчатая	1265	—	395 875	7 917 500	24 544 250
Суолуайв-Ньюпахкское . . .	Пятнистая	1550	—	628 564	12 571 280	40 233 856
Суммарно по крупным месторождениям	—	—	—	—	613 466 403	1 960 308 000

С учетом средневзвешенного содержания фосфорного ангидрида апатитовых месторождений Хибинской тундры и неизменности качества апатитовых руд с глубиной залегания, имеем колоссальные запасы апатитовых руд Хибинских месторождений, в пересчете на запасы чистого фосфорного ангидрида и особенно — на запасы чистого фосфора, приведенные в табл. 14.

Таблица 14

Месторождения	Разность апатитовой руды	Среднее содержание P_2O_5 в %	Вероятный запас апатитовой руды в *т*	Запас чистого фосфорного ангидрида в *т*	Запас чистого фосфора в *т*
Кукисвумчорр.-Юкспорское	Пятнистая	29,01	319 078 085	92 564 000	40 728 000
Куксивумчорр.-Юкспорское	Полосчатая	19,25	973 910 380	187 478 000	82 490 000
Апатитовый цирк Расвумчорра	Пятнистая и полосчатая	20,58	164 000 000	33 753 000	14 850 000
Плато Расвумчорра	Пятнистая	27,5	90 745 920	24 972 000	10 988 000
Плато Расвумчорра	Полосчатая	21,53	347 798 176	74 980 000	32 993 000
Куэльпорское	Пятнистая и полосчатая	19,3	24 544 250	4 737 000	2 084 000
Суолуайв-Ньюпахское	Пятнистая	23,0	40 233 856	9 253 000	4 070 000
Суммарно по крупным месторождениям		21,3	1 960 308 000	427 640 000	188 024 000

Приведенные огромнейшие запасы не охватывают Поачвумчорского, Коашвинского, Вуонемиокского апатитовых месторождений, не имеющих пока серьезного промышленного значения.

С их учетом общий запас апатитовых руд в пределах Хибинской тундры принимается округло в 2 млрд. *т* руды. В пересчете это составляет 430 млн. *т* фосфорного ангидрида, или примерно 200 млн. *т* чистого фосфора.

Заключающиеся в недрах Хибин запасы чистого фосфорного ангидрида превышают в 5—6 раз запасы его в апатитовых месторождениях всех других стран, по которым имеются ориентировочные сведения о запасах апатита.

По запасам апатитовых руд, фосфорного ангидрида и чистого фосфора Хибины единичны во всем мире.

Вероятный запас апатитовой руды богатой пятнистой разности (70—80% апатита), наиболее интересной для химической промышленности, определяется в целом по Хибинской тундре в 450 млн. *т* руды с содержанием от 23 до 29,01% фосфорного ангидрида.

Примерно это составляет 127 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида, или 55,8 млн. *т* чистого фосфора.

Юкспорское апатитовое месторождение, по своей близости к Кукисвумчорру проектируемое к вводу в эксплоатацию, заключает в своих недрах запасы апатитовых руд пятнистой и полосчатой разности, определяемые в 46 131 460 *т* категории A_2, 159 870 330 *т* категории В, 33 164 310 *т* категории С, суммарно 239 166 000 *т* апатитовых руд категорий А+В+С с средневзвешенным содержанием фосфорного ангидрида 23,16%.

В пересчете этому соответствует 55 млн. *т* чистого фосфорного ангидрида, или примерно 24 млн. *т* чистого фосфора, в недрах Юкспора.

II. УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ РУДНОГО ТЕЛА АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Наиболее крупные месторождения апатитов — наши Хибинские месторождения апатито-нефелиновых пород и в Швеции — Лапландские (Кирунавара, Гелливара и др.) месторождения магнетитово-апатитовых пород — представлены линзами крупных размеров. Залегание апатитовых рудных тел в таких месторождениях — необычное для месторождений фосфоритов, исключительное по размерам. В то время как для месторождений фосфоритов СССР, насчитываемых в довольно большом количестве, мощность фосфоритной колонки в 1,5—2,0 *м* представляет редкое явление, в Хибинах встречаются горы, сложенные в значительной своей массе из апатито-нефелиновых пород.

Средняя мощность рудного тела магнетитово-апатитового месторождения Кирунавара (Лапландия в Швеции) и самостоятельных апатито-нефелиновых месторождений Хибин, установленная для последних геолого-разведочными работами, приведена в табл. 15.

Таблица 15

Страна и район	Месторождение	Вся мощность рудного тела в *м*	В том числе мощность (в *м*)	
			верхней зоны пятнистой руды	нижней зоны полосчатой руды
Швеция, Лапландия	Кирунавара	35—150	—	—
СССР, Хибины	Кукисвумчорр-Юкспор	ср. 126,3	46,3	80
„ „	Апатитовый цирк Расвумчорра	„ 58,0	—	—
„ „	Плато Расвумчорра . .	„ 77,5	37,5	40
„ „	Суолуайв-Ньюпахкское	„ 20,0	—	—
„ „	Куэльпорское	„ 20,0	—	—

Характерна для апатитовых месторождений Хибинской тундры неизменность мощности рудных тел с глубиной залегания. Месторождения магнетитово-апатитовой породы Singhbhum (Бенгалия) в Индии обладают также формой линз, но, в отличие от Хибин, размер линзочек не больше 8 × 30 *м*.

В Хибинах апатитовые месторождения образуют по простиранию громадную изогнутую полосу протяжением в несколько десятков километров. При этом собственно апатитовые рудные тела прослежены по простиранию почти на 15 *км* и занимают пространство примерно в 10 *км*². Концентрация высокосортного фосфатного сырья в Хибинах исключительная.

Простирание отдельных апатитовых месторождений Хибин изменяется от северо-западного до широтного с падением на восток, северо-восток и север.

Крайнее северо-западное Куэльпорское месторождение имеет в северной своей части северо-западное направление, а в южной приближается к северному простиранию. Падение апатитового рудного тела идет в Куэльпоре вглубь массива, соответственно на северо-восток и восток под углом 28—32°, в среднем близким к 30°.

Кукисвумчорр-Юкспорское месторождение, отделенное от Куэльпорского безрудным центральным плато горы Кукисвумчорр, имеет простирание СЗ 310—320°, падение, обратное направлению горы, к центру магматического очага, на горе Кукисвумчорр — на СВ 63° ± 6° под углом 26° ± 2° и на горе Юкспор — СВ 42° ± 5° под углом 31° ± 3°.

Колебание угла падения обусловлено волнистостью, макрорельефом рудного тела. В местах наибольшей мощности рудного тела, в центральной части горы Кукисвумчорр углы падения более пологие — 21—28°, ближе к периферии они достигают 35°.

В долине р. Лопарской между Кукисвумчорром и Юкспором рудное тело покрыто ледниковыми отложениями значительной мощности — до 40 *м*.

Апатитовое месторождение Расвумчорра, расположенное от Юкспора на юго-восток, имеет в начале ЗСЗ простирание, переходящее в остальной части в широтное. Соответственно падение рудного тела изменяется от северо-восточного до восточного. Угол падения рудного тела Расвумчорра колеблется в пределах от 28 до 35°.

Конечное на юго-востоке Суолувайв-Ньюпахское апатитовое месторождение, расположенное близко к оз. Умп-явр, имеет простирание широтное, переходящее до СВ 80—85° с падением на север и ССЗ.

Кирунаварское магнетитово-апатитовое месторождение Швеции, отстающее от Хибин по прямой линии на 550 *км*, залегающее, как и Хибины, между 67 и 68° северной широты, имеет угол падения рудного тела в 35—45°. Выявленные в Хибинах апатитовые месторождения отличаются друг от друга протяженностью по простиранию, но для всей серии апатитовых месторождений Хибин характерно залегание в форме пластовых выклинивающихся линз с острыми углами скатывания или склонения. В частности апатитовая линза богатой пятнистой разности Кукисвумчорр-Юкспорского месторождения имеет в южной своей части меридиональное склонение под углом 33°. Форма апатитового рудного тела полосчатой разности, подстилающего пятнистую зону месторождения, совершенно идентична с формой пятнистой разности, с той лишь разницей, что угол склонения для линзы полосчатой разности более острый (15°) в южной части, а в северной части в конце месторождения составляет 54°.

В отличие от Лапландских и Хибинских месторождений многие из известных в других странах апатитовых месторождений (табл. 16) представлены жилами, системой жил и жилок, прожилками небольшой мощности в изверженных породах.

Таблица 16

Страна	Месторождение	Форма рудного тела	Мощность в *м*
Испания	Логрозан	Жилы	1,5
Испания	Iumillia	Система жил	—
Норвегия	—	Жилы	до 1
Китай	Kiangii	Прожилки	„ 5
Ю. Африка	—	Кварцевые жилы с апатитом	„ 2—3
С. Америка	Чили, ряд месторождений	Жилы	—

III. РАЗРАБОТКА АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В довоенные годы добыча апатита велась в Норвегии и в Канаде. В последней разработка апатитов шла довольно интенсивным темпом до открытия огромных залежей осадочных

фосфоритов в Северной Америке (Флорида, Тенесси др.). Наибольшая продукция дана была Канадой в 1892 г., когда выработка апатита доходила до 31,8 тыс. *т*. С этого времени добыча апатита сокращалась и в 1896 г. упала до 570 *т*.

Апатит Канады представляет побочный продукт слюдяных разработок: в Квебеке он встречается вместе со слюдой. Эксплоатация Норвежских и Канадских месторождений заключалась в основном в ручной отборке апатита от боковых, пустых, большой твердости пород, заключающих его жилы: в Норвегии — от габбро-флогопита и скаполита, в Канаде — от флогопита кальцита, пироксенита.

Начавшаяся позже, во время войны, эксплоатация апатита в Северной Шзедской Лапландии сводилась к ручной сортировке богатых апатитом кусков, встречавшихся в рудной массе Лапландских магнетитово-апатитовых месторождений; в них апатит занимает второстепенное место, являясь по существу лишь спутником магнетита в месторождениях Швеции, имеющих характер железорудных месторождений. После длительного упадка, почти полного прекращения добычи апатита, вызванного открытием богатых месторождений высококачественных марокканских и тунисских фосфоритов в Северной Африке и значительной механизацией фосфоритных рудников Флориды и Тенесси (в Северной Америке), разработка и использование апатитов вновь начинается в последние годы в Кирунавара и Гелливара (Северная Шведская Лапландия), в Логрозане (Испания), в Зютпансберге (Южная Африка), в Якупиранга (Бразилия), намечается в Гренсберге (Швеция); совершенно подчиненное значение имеет добыча апатита в Индии и в Китае.

В наибольшем масштабе, не превышающем 100 тыс. *т* апатитового концентрата в год, намечаются разработки апатита в магнетитово-апатитовых месторождениях Кирунавара и Гелливара (Швеция).

Основная операция по выделению апатита, как спутника магнетита или титаномагнетитов в магнетитово-апатитовых месторождениях, состоит в процессе флотации или электромагнитной сепарации.

Обогатительная флотационная фабрика спроектирована для месторождения Гренсберг в Швеции для отделения апатита от магнетита и железистых силикатов.

Электромагнитная сепарация выбрана для района Якупиранга в Бразилии для разделения титаномагнетита от апатита, намечена строительством фабрика в Кирунивара (в Северной Шведской Лапландии).

Тот же характер эксплоатации имеет место в Зютпансберге (в Южной Африке), где начата постройкой обогатительная флотационная фабрика для разделения кварца и апатита.

Иной, более простой вид эксплоатации апатита — ручная отборка от боковых пород и примесей — характеризует Испанию (отборка апатита от кварца, известняка, гранита, сланца), Канаду (отборка от флогопита, пироксенита, кальцита), Индию

(отборка от магнетита), Норвегию (отборка от габбро-флогопита) и Чили (отборка от габбро).

Крупные разработки собственно апатитовых месторождений неизвестны в других странах. Причин к этому имеется две: во-первых, разбросанность отдельных жил апатита и большая твердость пород, его заключающих, делают добычу апатита невыгодной, тем более, что месторождения небогаты; во-вторых, материал нуждается в тщательной отсортировке от породы для получения высокопроцентного апатита, что в свою очередь повышает его стоимость.

Единичными пока во всем мире характерными для весьма крупных собственно апатитовых месторождений линзообразной формы и большой мощности являются разработки апатитовых руд в СССР, в Хибинских тундрах. В Хибинах имеется апатитовый рудник им. С. М. Кирова на горе Кукисвумчорр, доведенный до производительности 2,0 млн. *т* в год апатитовой руды, запроектированный на мощность 4 млн. *т*, а вместе с соседним Юкспором — на 6,5 млн. *т* апатитовой руды в год; в г. Кировске работает Апатито-нефелиновая обогатительная флотационная фабрика с годовой фактически достижимой мощностью в 1,25 млн. *т* высокопроцентного апатитового концентрата (проектная мощность 1 млн. *т*).

Непосредственные выхода апатитовой руды на дневную поверхность, прослеживаемые в ряде месторождений Хибинской тундры, в частности по Кукисвумчорру, на значительной длине и площади, без заметной зоны выветривания, и необходимость быстрой организации крупной добычи апатита для суперфосфатных заводов СССР выдвинули вопрос об эксплоатации Кукисвумчоррского апатитового месторождения в первые годы способом о т к р ы т ы х работ. Но ввиду условий работ в районе, расположенном на 150 *км* севернее полярного круга, в техническом проекте Кукисвумчоррского апатитового рудника, разработанном Гипрорудой, выбран в качестве основного вариант разработки Хибинских апатитовых месторождений подземным способом. Последний был утвержден ЦНТЭСом неметаллических ископаемых в заседании от 30/V и 31/V 1933 г. как основной метод разработки Кукисвумчоррского и Юкспорского апатитовых рудников.

До полного развития подземных работ источником для питания апатитовой рудой Обогатительной фабрики, построенной в г. Кировске, служат в основном открытые работы на Кукисвумчорре, сохраненные на переходный период.

Обоснованием для выбора подземного способа разработки в качестве основного для Хибин служат:

1) падение апатитового рудного тела под углом 25—30° обратно крутому склону Кукисвумчоррской горы, обусловливающее при открытых работах большое число уступов и постоянный рост числа их с подвиганием работ вглубь горы,

2) относительная сложность транспортировки руды из карьеров открытого рудника и значительная разбросанность работ,

3) потребность при открытом способе разработки в значительном количестве экскаваторов и других видов оборудования для механизации основных горных процессов,

4) заполярные климатические условия Хибинской тундры, в основном не суровые (средняя годовая температура Хибин равна —1° С), но чрезвычайно неблагоприятные для ведения добычи апатита в больших масштабах открытым способом работ (бураны, сильные ветры, снежные заносы, ураганы отрицательно сказываются на регулярности работ в открытом карьере и нарушают регулярность транспорта на открытом руднике),

5) неизбежность поступления временами с открытого рудника на обогатительную флотационную фабрику апатитовой руды с повышенным содержанием влаги (зимой — со снегом и льдом) и некоторое нарушение режима работы обогатительной фабрики из-за смерзания и слеживаемости такой руды в завалочном бункере дробильного цеха фабрики и в бункерах дробленой руды.

6) чрезмерный непропорциональный рост объема вскрыши с расширением границ открытого рудника.

1. СПОСОБ ВСКРЫТИЯ АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. ВСКРЫТИЕ КУКИСВУМЧОРРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Возможны следующие способы вскрытия крупных апатитовых месторождений типа Кукисвумчорра в Хибинах, обладающих формой линзы, значительной мощностью рудного тела и углом падения, обратным направлению горы.

а) При разработках месторождений подземным способом:

1) вскрытие месторождения капитальной штольней в комбинации с рудоспускными шахтами,

2) вскрытие рядом штолен на отдельных горизонтах и дальнейший спуск руды на самый нижний горизонт при помощи бремсберга.

б) При разработках месторождений открытым способом:

1) вскрытие основной штольней в комбинации с вертикальными выработками (шахтами);

2) вскрытие месторождения при помощи тупиковых заездов и непосредственный съезд по тупикам нормальной железнодорожной колеей,

3) вскрытие месторождения однодействующими бремсбергами с противовесами, поднимающими по одному большегрузному вагону емкостью около 30 *т* на наклонных платформах по типу подъемника для оборудования (при таком способе исключаются тупиковые дорогостоящие съезды, перепускные шахты и основная штольня).

Для апатитовых месторождений типа Кукисвумчорра наиболее оптимальным признан ЦНТЭСом неметаллических ископаемых, рекомендованный Гипрорудой вариант вскрытия месторождения основной штольней в комбинации с двумя рудоспускными шахтами, как для подземного, так и для рудника с открытыми работами.

Преимущества выбранного и осуществленного Кукисвумчоррским рудником варианта вскрытия следующие:

1) исключаются излишние звенья в процессе доставки руды;

2) рудоспускные шахтные выработки используются в качестве бункеров для апатитовой руды в дополнение к прямому их назначению — спускать руду на горизонт расположения станции железнодорожной ветки, соединяющей апатитовый рудник с обогатительной фабрикой.

Для апатитового рудника создаются чрезвычайные удобства: представляется возможность иметь в виде рудоспускных шахт буфер между рудником и обогатительной фабрикой и разрешается вопрос хранения на руднике запаса руды. Без этого

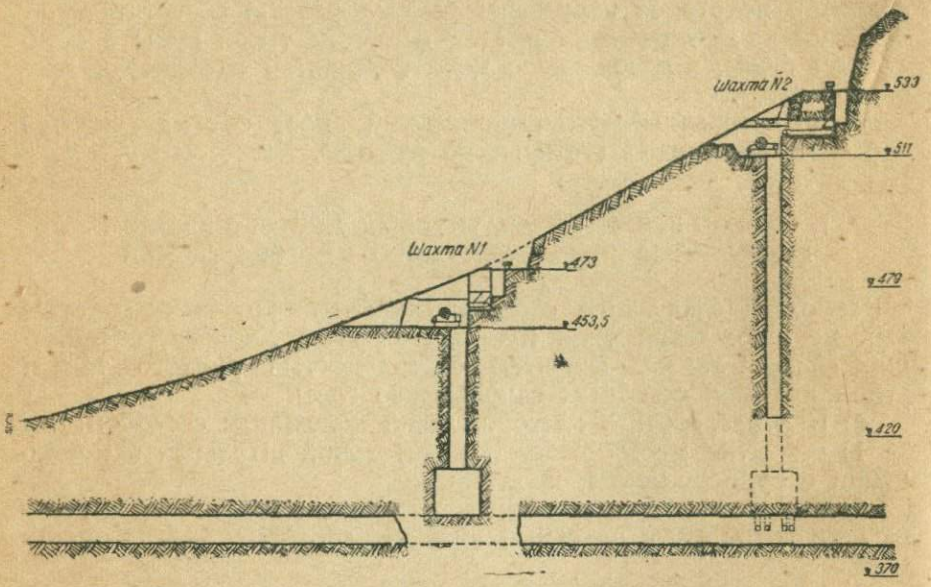


Рис. 19. Общая схема рудоспускных шахт и дробильных установок

затруднительно было бы гарантировать бесперебойность работы транспорта и бесперебойность снабжения рудой обогатительной флотационной фабрики при тяжелых климатических условиях Хибинской тундры.

В связи с топографией местности и расположением ст. Нефелин в южной части горы у склона Лопарской долины вскрытие апатитового месторождения капитальной штольней с двумя рудоспускными шахтами выполнено согласно проекту в южной части Кукисвумчоррского месторождения, ближе к Лопарской долине для удобства подачи руды к ст. Нефелин, расположенной на горизонте 380 *м*.

Доставка всей добытой апатитовой руды будет производиться к двум дробильным установкам — № 1 на горизонте 473 *м* и № 2 на горизонте 533 *м*, состоящим каждая в отдельности из бункера, питателя и дробилки Блека. Для спуска апатитовой руды, дробленой до 400 *мм* (предельного размера кусков, допу-

скаемого обогатительной флотационной фабрикой), используются рудоспускные шахты, при каждой из которых и расположено по одной дробильной установке. Ввиду абразивности апатитовой руды, спускаемой по шахтам и выгружаемой в вагоны на главный откаточный путь капитальной штольни, и затруднительности в связи с этим подобрать соответствующий материал для крепления шахт, рудоспускные шахты, согласно проекту, оставлены после проходки без крепления. Общая схема рудоспускных шахт и дробильных установок дана на рис. 19 (см. также рис. 22).

Для уменьшения живой силы рудных кусков при магазинировании руды предусматривается держать шахту заполненной апатитовой рудой и одновременно, во избежание слеживания руды, не допускать длительного пребывания в шахте отдельных партий добытой руды применением нормальной, правильной организации работ по транспортировке руды.

В группу капитальных работ, относящихся к вскрытию Кукисвумчоррского апатитового месторождения, входили: 1) две рудоспускные шахты круглого сечения, диаметром каждая по проекту 5 *м*, а по решению ЦНТЭСа неметаллических ископаемых — диаметром 3 *м*, 2) контрольный восстающий между рудоспускными шахтами сечением 2,7 × 1,5 *м*, с ходками через 15 *м* по высоте, 3) капитальная штольня на горизонте 380 *м* для откатки спускаемой по шахтам апатитовой руды на ст. Нефелин и по железнодорожной ветке на обогатительную флотационную фабрику в г. Кировск и 4) съем, вскрыша неравномерно-зернистых нефелиновых сиенитов (скальной массы), покрывающих рудное тело в пределах границы открытых работ.

Восстающий, заданный между рудоспускными шахтами, соединенный с ними сбойками, имеющими сечение 1,5 × 2 *м*, предусмотрен проектом с той целью, чтобы имелась возможность производить осмотр рудоспускных шахт, наблюдать за поведением их стенок и за истиранием и состоянием последних.

Рудоспускных шахт намечено две, на том основании, что при крупной производительности апатитового рудника им. С. М. Кирова для обеспечения бесперебойности ведения горных работ является обязательным условием беспрерывность работы откатки как подземной, так и поверхностной. При наличии на апатитовом руднике двух рудоспускных шахт, в случаях неисправности одной из них из-за закупорки на рудничном дворе или из-за ремонта бункеров шахты или погрузочных люков шахты, имеется возможность переключать на вторую шахту все грузопотоки апатитовой руды. Пройдена и находится в эксплоатации на руднике им. С. М. Кирова пока одна шахта — № 1.

На каждом горизонте откатки (на Апатитовом руднике им. С. М. Кирова — на 410, 433 и 473 *м*) устраиваются у рудоспускных шахт рудничные дворы с целью обеспечить доставку добытой апатитовой руды к любой из шахт.

Апатитовая руда спускается по рудоспускным шахтам самотеком, так как запроектированная к добыче руда при выработке до 410 *м* находится выше капитальной основной штольни.

Рудоспускные шахты намечены и расположены так, чтобы

они приходились между откаточными штреками того или иного горизонта. Расстояние между шахтами от центра до центра принято равным 30 *м*. Нижняя часть рудоспускных шахт расширена и образует бункер размерами $16 \times 13 \times 6$ *м*, емкостью у каждой шахты 1 250 $м^3$, или 2 400 т.

Для погрузки апатитовой руды из бункеров рудоспускных шахт в железнодорожные вагоны, поступающие в капитальную штольню, осуществлена специальная конструкция погрузочных люков с пневматическими затворами. Каждый шахтный бункер оборудован четырьмя погрузочными люками, снабженными затворами, и обеспечивает загрузку двух железнодорожных вагонов нормальной колеи одновременно.

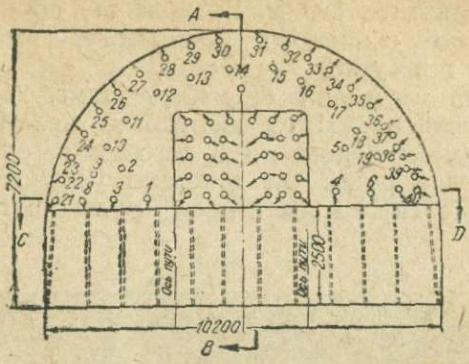
Рудоспускные шахты на горизонте 380 *м* соединены между собой и имеют через капитальную штольню сообщение с Лопарской долиной и выход в последнюю.

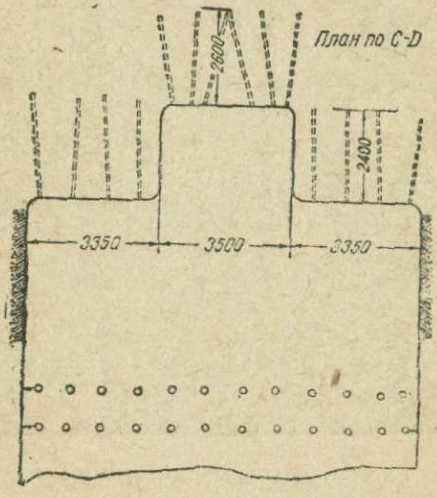
Из двух возможных для капитальной штольни вариантов сечения: а) штольни для узкоколейного рудничного транспорта и б) штольни для железнодорожного транспорта нормальной колеи — отдано предпочтение второму. Выбранный вариант обеспечивает пропуск и подачу состава железнодорожных вагонов электровозом нормальной колеи непосредственно к загрузочным люкам бункеров шахт и непосредственную их загрузку апатитовой рудой, заполняющей рудоспускные шахты, что исключает излишнюю перегрузку апатитовой руды на ст. Нефелин. Железнодорожный состав, загруженный из рудоспускных шахт в капитальной штольне, отвозится электровозом нормальной колеи непосредственно на обогатительную флотационную фабрику в г. Кировск по электрифицируемой железнодорожной ветке, соединяющей фабрику с апатитовым рудником. Апатитовая руда в случае надобности может также разгружаться по выходе поезда из капитальной штольни в Лопарскую долину на Сортировочной фабрике у ст. Нефелин. Размер капитальной штольни в проходке, рекомендованный по проекту Гипроруды: высота — 7,2 *м*, ширина — 10,2 *м* для двухпутевой части штольни и высота 6 *м*, ширина — 5,54 *м* для однопутевой ее части.

Для двухпутевой штольни предусмотрен способ ее проходки двумя забоями (рис. 20), при этом в целях облегчения работ проходка верхнего забоя производится в два приема с опережающей выработкой. Для погрузки породы, получаемой при проходке, служат две одновременно действующие передвижные скреперные установки.

Общая длина капитальной откаточной штольни рудника Кукисвумчорр — 670 пог. *м*. Капитальной штольне дан уклон 0,005 для стока воды. Начальной отметкой штольни у ее устья является горизонталь 380 *м*, конечной — 391 *м* у рудоспускных шахт. Крепление откаточной главной штольни — бетонное, свод — из бетонитов. До ввода в действие рудоспускных шахт и капитальной штольни главными рудоспускными артериями апатитового рудника от горизонта главного откаточного пути 446 *м* на горизонт 380 *м* служили диагональный клетьевой бремсберг и Лопарский скиповой бремсберг.

Особенностью Лопарского скипового бремсберга, оборудованного двумя скипами, емкостью каждый на 3 т апатитовой





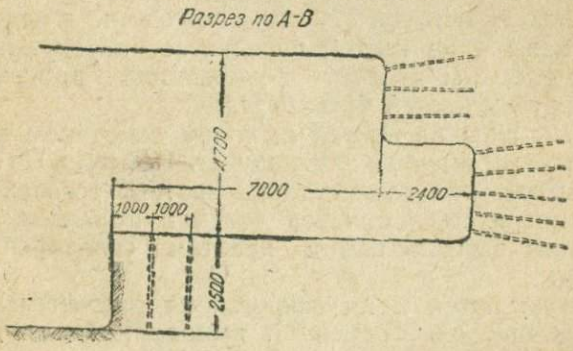


Рис. 20. Проходка двухпутевой штольни

руды, является саморазгружаемость скипа (саморазгрузка происходит в 3—5 сек.) и разделение находящейся в скипе руды на равные части для загрузки полуторатонных вагонеток, подаваемых на горизонте 380 *м*. Возможная пропускная способность Лопарского скипового бремсберга, имеющего длину 197,2 *м*, — 1 900 *т* в сутки.

Диагональный клетьевой бремсберг (рис. 21), запроектированный на руднике в 1931 г., оборудован железными клетями, спускающими одновременно по 3 вагонетки емкостью каждая в 1,5 *т* апатитовой руды. Он довольно удачно и рационально разрешал вопрос спуска апатитовой руды на горизонт 380 *м* к ст. Нефелин.

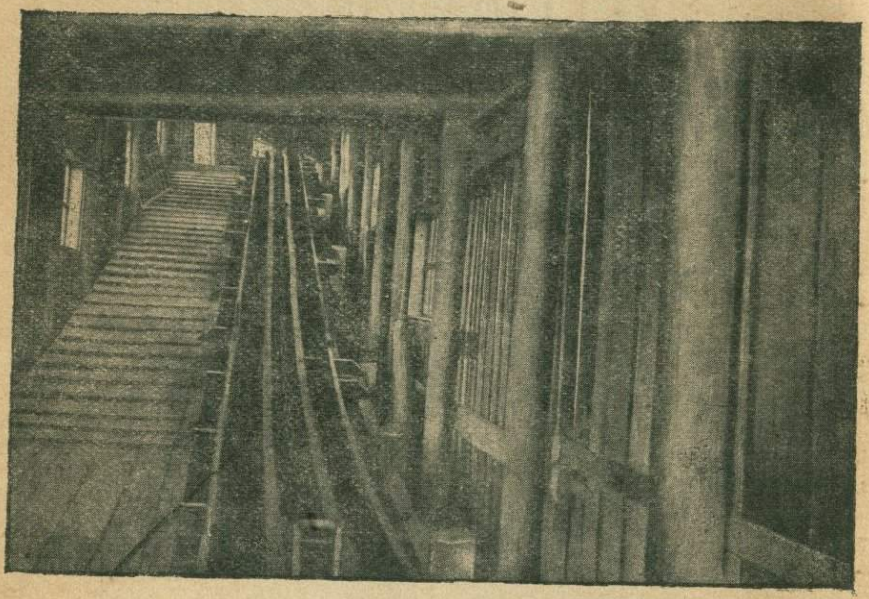


Рис. 21. Диагональный бремсберг

Диагональный клетьевой бремсберг имеет железнодорожную колею из рельсов высотой 120 *мм*. При спуске в надбремсберговое здание каждая из клетей передвигает перекрывающие площадки и тем самым создает возможность производить разгрузку и загрузку клетей бремсберга.

Спущенный груз из клетей выходит самотеком по трем путям на расстояние 80 *м* на эстакаду ст. Нефелин. По эстакаде вагонетки с апатитовой рудой доставляются тягачами к местам погрузки непосредственно через лотки в поданный состав железнодорожных вагонов или к пунктам складирования руды под эстакаду.

Угол уклона путей и их закругления рассчитаны таким образом, чтобы при одновременном выходе из клетей вагонетки последовательно прошли через стрелку на эстакаде.

Порожние полуторатонные вагонетки, доставляемые тягачами обратно с эстакады к надбремсберговому зданию, подаются в последнее с помощью компенсатора.

С момента схода с компенсатора порожние вагонетки в своем движении самокатом распределяются на три пути, задерживаясь перед клетями специальными стопорами.

Компенсатор, поднимающий порожняк, имеет длину 22,3 *м* и угол наклона в 12°43′ и приводится в движение электромотором мощностью в 11 kW. Компенсатор изготовлен в мастерских Апатитового рудника.

Клеть Диагонального бремсберга снабжена специальными рычагами и соответствующими кулаками, при открытии которых рукоятчиком посредством поворота ручки сходят с клетей сразу три вагонетки. На случай обрыва стального каната, имеющего диаметр 26 *мм*, клети снабжены специальным парашютом особой конструкции, разработанной горным инженером П. Н. Владимировым. Сама по себе операция спуска руды по Диагональному бремсбергу могла бы производиться без установки какого-либо двигателя. Но необходимость торможения для более спокойной подачи клети к нижней площадке бремсберга, подъем порожняка, грузов и в дальнейшем людей, а также подъем клетей для снятия их с кулаков на верхней площадке обусловили установку в специальном здании подъемной лебедки с электромотором мощностью 75 kW.

Передача от двигателя выполняется посредством системы шевронных шестерен и двух обычных шестерен.

Пропускная способность Диагонального клетьевого бремсберга, имеющего длину 213 *м*, составляла 3 000 *т* апатитовой руды в сутки при спуске одновременно по три полуторатонных вагонетки. В группу работ, относящихся к вскрытию апатитового месторождения типа Кукисвумчоррского, входят, по руднику с открытым способом работ, вскрышные работы по съему скальной массы — нефелиновых сиенитов, покрывающих рудное тело в пределах границ открытого рудника.

Для нормального развития эксплоатационных работ на апатитовом месторождении, при системе выемки рудного тела уступами высотой 12 *м* в ручных забоях и 24 *м* — в экскаваторных, при доведении ширины берм до 20—25 *м* при работе экскаваторов форсирование вскрышных работ имеет исключительное значение для правильной подготовки уступов и для своевременного опережения нижних горизонтов верхними. Обратно: систематическое из года в год значительное отставание вскрыши приводит неизбежно к тяжелому положению работ по добыче руды на открытом апатитовом руднике. Неизбежным следствием отставания вскрышных работ является то, что подготовленные запасы руды оказываются недостаточными для нормального развития работ на всех верхних горизонтах апатитового рудника, центр тяжести добычных работ смещается в основном на нижний горизонт, когда небольшие подготовленные запасы остаются на верхних горизонтах в виде незначительных отдельных участков.

Объем необходимой вскрыши по открытому апатитовому руднику определяется на основе планов и разрезов маркшейдерского бюро рудника по состоянию вскрышных забоев в пределах границ открытых работ.

По Апатитовому руднику им. С. М. Кирова уточненный по состоянию вскрышных забоев на 1/I 1935 г. объем вскрышных работ по съему скальной нефелино-сиенитовой массы, крепость которой разна 10—12, и морены определился в 1 447 600 *т* в пределах границ открытых работ, установленных проектом, разработанным для переходного периода с открытых работ на подземный способ добычи апатита. Соответственно это составляло 538,7 тыс. *м*³, в том числе 413,9 тыс. *м*³ скальной вскрыши и 124,8 тыс. *м*³ морены.

Уточненный параллельно с подсчетами вскрыши эксплоатационный запас апатитовой руды Кукисвумчоррского открытого апатитового рудника выражался в 5,5 млн. *т;* по рудному телу с учетом участков с пустыми и бедными апатитом породами запас составляет 6,25 млн. *т*, не считая запасов в целиках под скатами, бремсбергами апатитового рудника, а с этими последними запасами равняется 7,38 млн. *т*, или 2,34 млн. *м*³.

Основными показателями вскрыши открытого апатитового рудника являются объемное отношение количества вскрыши к количеству рудного тела и количество вскрыши, приходящееся на 1 *т* товарной апатитовой руды. По данным подсчета, произведенного на 1/I 1935 г. Маркшейдерским бюро, основные показатели Кукисвумчоррского апатитового открытого рудника были равны: объемное отношение — 0,230 (по нефелино-сиенитовой скале 0,150 и по морене 0,80), количество вскрыши —0,26 *т* на 1 *т* товарной апатитовой руды.

Одним из возможных способов ведения вскрышных работ на апатитовых месторождениях являются работы вручную, без участия или с ничтожным участием экскаваторов.

Способ вскрыши вручную без применения экскаваторов, практикуемый Апатитовым рудником им. С. М. Кирова, заключается: а) в рассечке на намеченных под вскрышу горизонтах забоя высотой 12 *м* вглубь вкрест простирания на 10—12 *м*, или 15—16 *м*, или 20 *м* для работы в дальнейшем в каждом забое двух, трех или четырех звеньев (в каждом звене было двое разборщиков), б) в подвигании в дальнейшем забоев по простиранию на север и на юг, в) в процессе бурения механическими молотками Флоттман и Клаймакс в два приема (бурение в начале шпура в верху уступа, затем, после отпалки и свалки подбуренной верхней части уступа, — бурение его в нижней части), г) в уборке скалы, в разбурке дополнительными шпурами крупных кусков, в разбивке кувалдами и в вывозке нефелино-сиенитовой породы по подведенному к забою к каждому звену из двух разборщиков, узкоколейному тупику и дальше по проложенным по берме узкоколейным путям в специальные отвалы пустой породы в цирк Ворткеуай или на склон Лопарской долины (рис. 22).

В последние годы введены были в работу при бурении перфораторы фирмы Клаймакс с глубиной бурения до 9 *м*.

Производительность разборщика на вскрышных работах составляла 15—16 *т* горной массы на 1 чел.-смену. Выход скальной массы на 1 *пог. м* шпура выражалась в 5,5 *т* при работе пер-

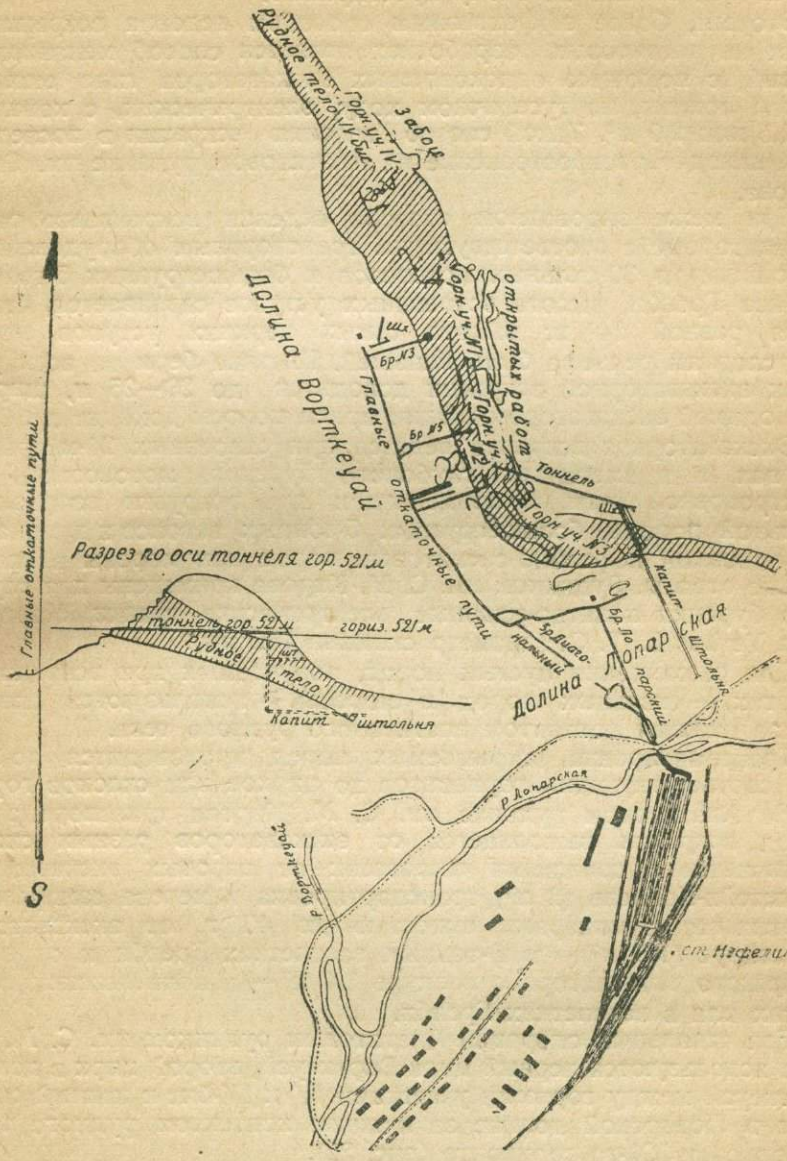


Рис. 22. План открытых горных работ Кукисвумчоррского рудника

форатора Клаймакс, при производительности последнего в смену 10 *пог. м*.

Значительная крепость нефелино-сиенитовых пород ($f = 10—12$) позволяла наметить большую высоту уступов, но ввиду недо-

статка высококвалифицированной рабсилы и соответствующего оборудования высота вскрышных уступов при ручных работах была принята в 12 *м*, и уступами такой высоты была вскрыта апатитовая залежь по всему простиранию.

Вторым, более эффективным способом ведения вскрышных работ на апатитовых разработках является способ механизированный, с помощью одноковшевых экскаваторов типа механической лопаты, на гусеничном ходу, электрических, с ковшами по 1,5 или 2,0 $м^3$. Такой способ ведения вскрыши в последние годы находит распространение на Апатитовом руднике им. С. М. Кирова.

При механизированном способе ведения вскрышных работ экскаваторами с соответствующим транспортным оборудованием, состоящим из 30-сильных мотовозов и большегрузных 5-тонных вагонов Гренби, высота вскрышных уступов сдваивается, становится равной 24 *м;* высота самых верхних уступов может по условиям рельефа быть меньшей. Ширина берм на всех участках экскаваторной вскрыши доводится до 20—25 *м*, ширина проходимой экскаватором в один прием полосы доходит до 20 *м*.

Экскаваторная вскрыша ведется при сдвоенных 24-метровых уступах с применением глубокого бурения, мотовозной или электровозной тяги, с применением для погрузки взорванной скальной породы большегрузных 5-тонных вагонов и думпкаров и с отвозкой нефелино-сиенитовых пород или морены в специальные отвалы. Рудником им. С. М. Кирова применены для глубокого бурения канатно-ударные электрические станки Маршаль типа Veritus L. T. O. (диаметр скважин 152 *мм*).

Для размещения пустых пород, получаемых при вскрышных работах, — скальных пород и морены, — используются склоны гор за нижним контактом апатитового рудного тела.

Транспортировка вскрываемых пород производится по бермам соответствующих горизонтов до цирков или склонов горы.

На Апатитовом руднике им. С. М. Кирова транспортировка пород вскрыши выполняется от экскаваторов разных систем различными подвижными составами: от паровых экскаваторов Орнштейн-Коппель (2 $м^3$) транспортировка намечена саморазгружающимися думпкарами емкостью до 40 *т*, от экскаваторов Бьюсайрус (1,5 $м^3$) — в 5-тонных вагонетках Гренби и от электрического экскаватора с ковшом 0,4 $м^3$ — в коппелевских вагонетках или в вагонетках Гренби.

Для отвальных операций Апатитовым рудником им. С. М. Кирова используются первый цирк Ворткеуай, второй цирк в долине Ворткеуай между горными участками IV и IV-бис и южный склон горы в Лопарской долине за нижним контактом рудного тела, за тоннелем 521-го горизонта (рис. 22).

Схема транспортного сооружения в открытых работах, оснащенных экскаваторами, должна отвечать условию, чтобы экскаватор не простаивал из-за маневровых операций транспорта. Погрузочно-вскрышной снаряд является ответственным звеном рудника в целом, и следующее за ним транспортное звено не должно быть узким местом.

Этому условию отвечает на апатитовых разработках схема двухпутевого движения. Наличие второго пути у экскаватора и по всей длине забоя или уступа полезно в том отношении, что двухпутевая линия позволяет при наличии съездов осуществлять движение по второму пути в случае неисправности основного. Двухпутевое движение вызывает некоторое увеличение подготовительных работ для создания бермы под два пути, но это увеличение относительно небольшое и безусловно окупится большей надежностью эксплоатации погрузочно-вскрышных снарядов в сравнении с вариантом однопутевого движения с системой маневров на забойных экскаваторных путях.

При механизированной вскрыше предусматривается прикрепление подвижного двигателя (мотовоза или электровоза) к составу во время погрузки его экскаватором.

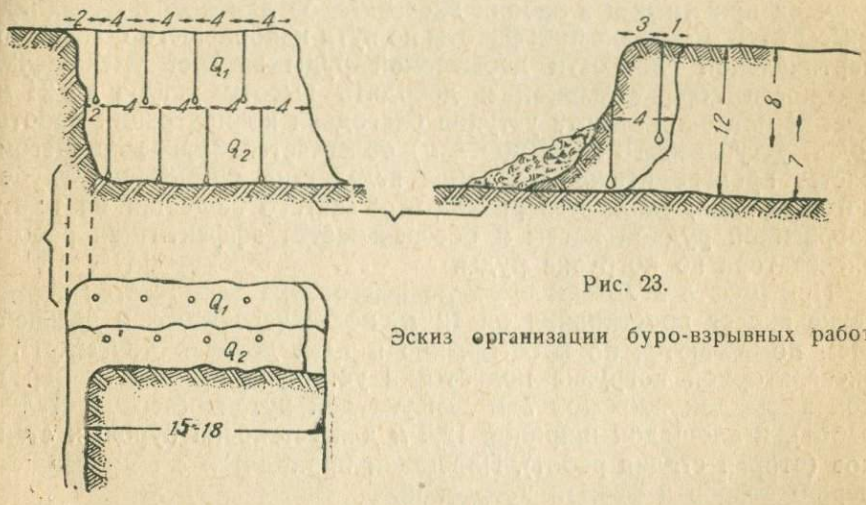


Рис. 23.

Эскиз организации буро-взрывных работ

Передвижка путей на уступах может быть механизирована путем применения механических путепередвигателей, в частности, американского типа, так называемых трекшифтеров.

При введении на апатитовых разработках механизированного способа производства вскрышных работ не имеет обычно места напряженность работ на руднике, которая, как правило, наблюдается при выполнении вручную трудоемких основных операций на открытых рудниках — вскрыши и добычи.

При вооруженности апатитовых рудников экскаваторами обеспечивается необходимое форсирование вскрышных работ, и тем самым создаются условия для возможности правильного развития эксплоатационных работ.

Такое форсирование вскрышных работ, усиленный съем скалы и моренны позволяет установить на всех участках рудника нормальное положение для механизации работ и создать условия для возможности правильно развивать эксплоатационные работы.

2. ГОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДОБЫЧЕ РУДЫ НА ОТКРЫТЫХ АПАТИТОВЫХ РАЗРАБОТКАХ. ОТКРЫТЫЙ РУДНИК им. С. М. КИРОВА В ХИБИНАХ

Добыча или отбойка апатитовой руды, в частности апатито-нефелиновой породы в Хибинах, является одним из основных главнейших горных процессов в работе открытого апатитового рудника.

Для апатитовых месторождений типа Кукисвумчоррского, обладающих формой линзы, вытянутой по простиранию, и значительной мощностью рудного тела, система выемки руды принимается уступами с подвиганием забоев по простиранию и одновременной разработкой всей мощности залежи.

Относительно большая крепость апатито-нефелиновых пород и ряд других факторов позволяют остановиться при работе в забоях вручную на высоте уступов минимум в 12 *м* и допускают в случаях применения в забоях экскаваторов для погрузки горной массы итти в организации работы по пути наибольшего обнажения вертикальной плоскости добываемой руды за счет уменьшения плоскости горизонтальной и доводить высоту уступа до 24 *м*. При 24-метровой высоте уступов благодаря концентрации работы (один уступ вместо двух по 12 *м*) облегчается борьба со снегом, растет производительность забоя вследствие применения глубокого бурения, снижается расход взрывчатого вещества на тонну взорванной рудной массы и обеспечивается эффективная работа экскаватора по погрузке руды.

При работе в забоях вручную подготовка заключается в рассечке вкрест простирания на 12 *м*, после чего забои в дальнейшем подвигаются по простиранию в ту и другую сторону. При экскаваторной погрузке подготовка уступа производится нарезкой площадок шириной 7 *м* для укладки путей (первая стадия работ), и площадок шириной 12,5 *м* для установки буровых станков (вторая стадия работ). Площадки проходятся с применением перфораторов и ручной погрузкой.

Дальнейшее расширение площадок производится с применением экскаваторов и буровых станков.

Добыча (отбойка) апатитовой руды производится путем взрывания шпуров. В качестве взрывчатого вещества применим аммонал. Он обладает не столь сильными бризантными свойствами, как ряд других взрывчатых веществ, но зато безопасен и не замерзает в течение круглого года, что особо важно для Хибинских месторождений.

Бурение было в первые годы мелкое; в работе были пневматические молотки Флоттман AN-65 (цилиндр 65 *мм*, ход поршня 68 *мм*, вес 27 *кг*, расход сжатого воздуха 2,5 *м³/мин*) и молотки БМ-13 завода «Пневматика» (длина цилиндра 60 *мм*, ход 45 *мм*, вес 17,5 *кг*, расход сжатого воздуха 1,8—2,3 *м³/мин*).

Начиная с 1933 г. применяются тяжелые молотки станкового типа Клаймакс (диаметр поршня 100 *мм*, ход поршня 70 *мм*, расход воздуха 3,5—4 *м³/мин*) и канатно-ударные электрические станки Маршаль типа Сандерсена. Последние применяются в меха-

низированных забоях высотой 24 *м* с экскаваторной погрузкой для бурения глубоких скважин.

В практике рудника установилась система расположения шпуров в вертикальном направлении, как создавшая выгодные условия работы для бурильщиков на пневматических перфораторах.

Процесс бурения производится в два приема: вначале задают шпуры глубиной 8 *м* вверху уступа на расстоянии 4 *м* друг от друга, сваливая подбуренную после взрыва верхнюю его часть. Второй прием заключается в прохождении шпуров в нижней части уступа. Взорванная руда в силу наблюдающейся обычно трещиноватости и плоскостей отдельности в рудном массиве отваливается в большинстве случаев глыбами значительных размеров. Последние приходится разбуривать дополнительно и оставшиеся после этого крупные куски разбивать вручную до кусков размером меньше 450 *мм* — до предельной крупности (400 *мм*) требуемой обогатительной фабрикой.

Итоговые показатели бурения по годам по апатитовому руднику им. С. М. Кирова приведены в табл. 17.

Таблица 17

Годы	Метраж основного бурения шпуров			В процентном отношении			Выход горной массы на 1 *пог. м* бурения в *т*
	мелкое бурение Флоттман и БМ-13	глубокое		мелкое	глубокое		
		Клаймакс	Маршаль		Клаймакс	Маршаль	
1933	166 755	2 170	—	98,7	1,3	—	5,47
1934	238 800	14 750	—	93,9	6,1	—	5,94
1935	164 085	29 235	6 695	82,1	14,6	3,3	7,50

Расход взрывчатого вещества в граммах на тонну руды, добытой апатитовым рудником открытыми работами.

	1933 г.	1934 г.	1935 г.
аммонита	216	192	180
динамита	—	43	2

Приведенные результаты буро-взрывных работ Куксивумчорр-ского рудника говорят о довольно сильном отставании его как по выходу горной массы с 1 *пог. м*, так и по расходу взрывчатых веществ, от ряда горнорудных предприятий.

На результатах буро-взрывных работ неблагоприятно отражается проходка исключительно вертикальных шпуров при наличии вертикальной трещиноватости в рудном теле.

Учитывая особое значение, которое имеет организация буро-взрывных работ для открытого апатитового рудника им. С. М. Кирова, приводим как представляющие большой интерес

основные положения, разработанные к буро-взрывным работам рудника главным инженером П. Н. Владимировым, изучившим месторождение до мельчайших деталей, в его формулировке и с эскизами:

1. На руднике продолжает существовать система вертикальных шпуров, выгодная для бурильщиков и самая невыгодная для забоя в целом.

2. Зная, от чего зависит эффект взрыва вообще, система вертикальных шпуров как бы не признает всех факторов расположения шпуров и их зарядки, а также и местных условий залегания — структуру кукисвумчоррских пород.

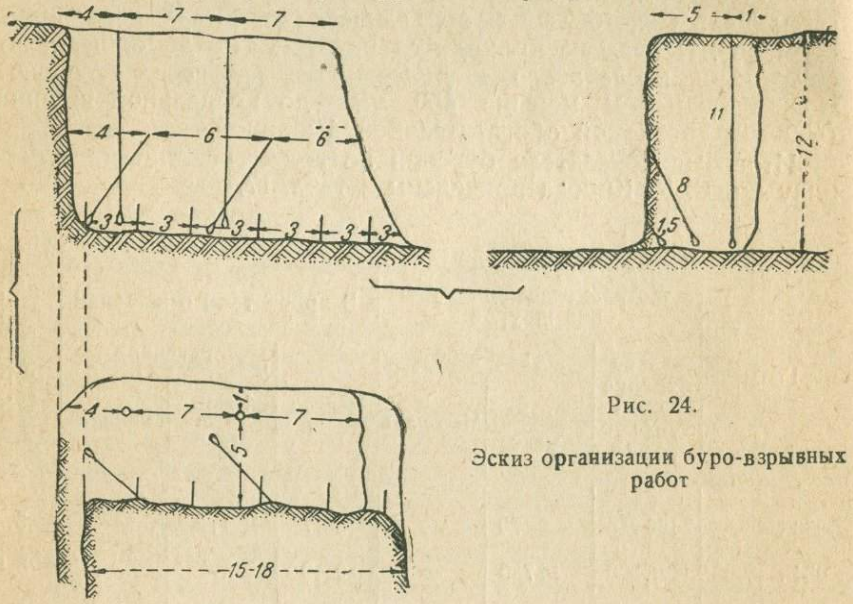


Рис. 24.

Эскиз организации буро-взрывных работ

При тщательной организации расположения вертикальных шпуров, при их расположении на расстоянии и в местах, приведенных на рис. 23, метраж бурения перфораторами составит:

$$(7 \cdot 4) + (8 \cdot 4) = 60 \text{ пог. м}$$

и дополнительного 18 *пог. м* на выравнивание почвы и примерно 20 *пог. м* на разбивку бутов.

При объеме отрываемой рудной массы

$$Q_1 = 4 \cdot 18 \cdot 8 = 576 \text{ м}^3,$$
$$Q_2 = 4 \cdot 18 \cdot 7 = 504 \text{ м}^3,$$

суммарно 1080 $м^3$ или

$$1080 \cdot 3{,}18 \text{ т} = 3\,420 \text{ т}.$$

В итоге на 1 *пог. м* бурения приходится около 34 *т*.

3. Ввиду структуры руды и системы вертикальных трещин руда, как правило, будет раздрабливаться при взрыве горизонтальных, а не вертикальных шпуров. Это объясняется тем, что

бризантное вещество при системе параллельных вертикальных трещин действует, как метательное, что обусловливает большое число бутов.

4. Как правило, взрывы глубоких шпуров по всей высоте забоя требуют, чтобы грудь забоя была вертикальна, а не наклонна.

5. В богатой руде пятнистой разности бурить глубокие скважины следует при сосредоточенном заряде, не добуривая 1 *м* до почвы уступа, при рассредоточенном заряде — бурить на всю высоту уступа, т. е. до его почвы. Ни в коем случае не допускать «перебура» высоты уступа, так как при перебуривании в породе почва никогда не будет ровной.

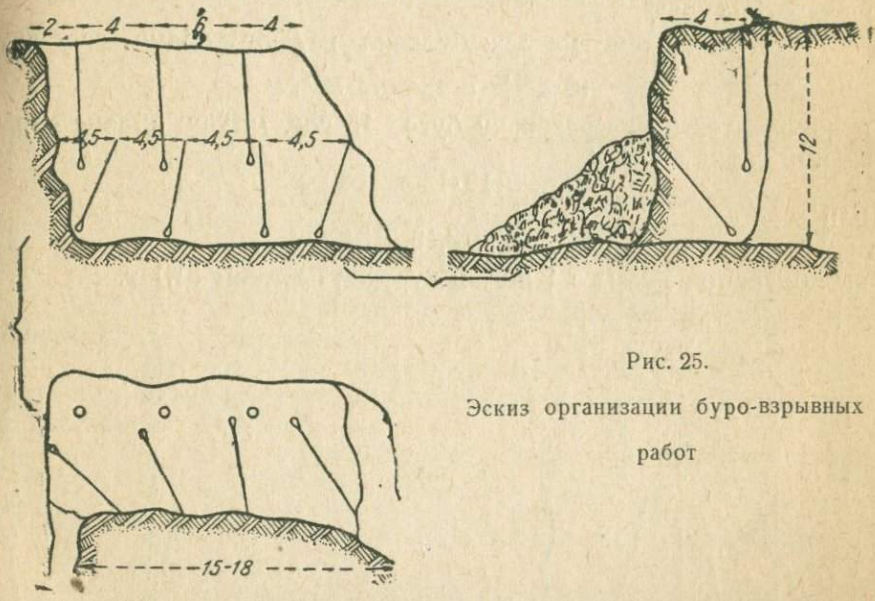


Рис. 25.

Эскиз организации буро-взрывных работ

В сетчатке (бедной — до 15% фосфорного ангидрида) и в нефелиновых породах бурение при различных способах зарядки надо вести до почвы уступа.

6. При бурении шпуров по схеме, изображенной на рис. 24, при работе на уступах высотой 12 *м* и при глубоком 11-метровом бурении на всех породах (апатитовая руда и нефелин) захват можно принимать не менее 5 *м*, а при подвигании забоев вкрест простирания захват, как правило, увеличивается до 6 *м*.

При пробуривании вертикальных шпуров глубиной по 11 *пог. м* с вышележащей бермы (горовых) и двух косонаклонных глубиной по 8 *пог. м* со стороны груди забоя, примерно на половине высоты забоя, при расположении шпуров, приведенном на рис. 24, общий метраж бурения составит:

$$(2 \cdot 11) + (2 \cdot 8) + (6 \cdot 1{,}5) = 47 \text{ пог. м},$$

а с учетом 10 *м* на разбивку бута — 57 *пог. м*.

Общий объем взорванной горной массы составит

$$Q = 6 \cdot 18 \cdot 12 = 1296 \ м^3,$$

или

$$T = 1296 \cdot 3{,}18 = 4125 \ т$$

и выход горной массы с 1 *пог. м* бурения — 72,5 *т*.

7. При бурении шпуров по схеме, изображенной на рис. 25, при глубине бурения Клаймаксом, т. е. до 8 *м*, при высоте забоя 12 *м* и при применении системы вертикальных горовых (полуглубоких) и косонаклонных полугоровых скважин минимальный захват равен 4 *м* при подвигании забоя по простиранию и 5 *м* при забоях вкрест простирания. Зарядка сосредоточена во всех скважинах (рис. 25).

При такой схеме метраж бурения перфораторами составит:

$$(8 \cdot 3) + (7 \cdot 4) = 52 \ пог. м$$

и дополнительно на разбивку бутов 15 *пог. м*. При объеме отрываемой горной массы

$$Q = 5 \cdot 18 \cdot 12 = 1080 \ м^3$$

или

$$P = 1080 \cdot 3{,}18 = 3420 \ т;$$

выход горной массы с 1 *пог. м* бурения составит 51,1 *т*.

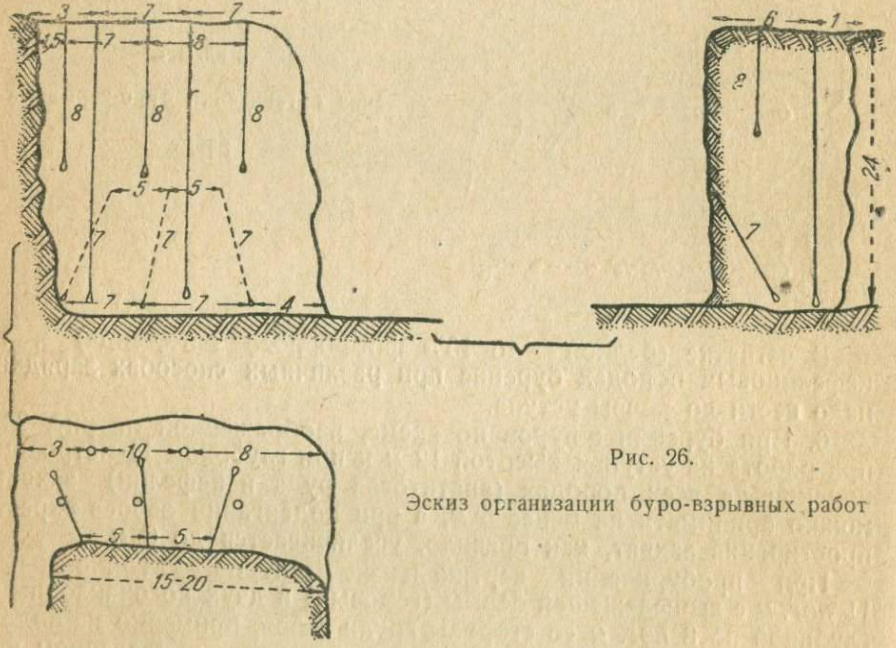


Рис. 26.

Эскиз организации буро-взрывных работ

8. Как общее правило, при огневом взрывании всегда взрываются сначала полугоровые, а затем горовые шпуры. При электрическом взрывании допускается единовременный взрыв.

9. Скважины или шпуры при зарядке непременно должны

забиваться просеянным песком апатита или морены (нефелиновым песком).

10. При 12-метровых скважинах, как правило, боевые патроны полагаются не менее двух, а при 24-метровых — не менее трех.

11. При работе на 24-метровом уступе при бурении системы вертикальных горовых и косонаклонных полугоровых по схеме рис. 26 захват должен быть на ручных забоях (богатых) не менее 7 *м*, а на нефелиновых — не менее 6 *м*. Полугоровые бурятся до глубины 7—8 *м*. При стремлении одновременно с отрывом горной массы еще и раздробить эту массу, надо применять ряд вспомогательных вертикальных скважин глубиной до 8 *м*.

При такой схеме общий метраж бурения составит:

$$(8 \cdot 3) + (7 \cdot 3) + (24 \cdot 2) = 93 \text{ пог. } м,$$

объем взорванной массы рудного тела

$$14 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 3{,}18 = 7500 \text{ } т,$$

или выход рудной массы с 1 *пог. м* бурения без учета метража на разбивку бутов и выравнивание почвы — 80 *т*.

12. Прострелка должна производиться, до окончательного установления опытом ее размера для кукисвумчоррских пород, из расчета от 1,5 до 3% от общего веса заряда шпура с проверкой полученного объема гнезда после прострела количеством вынутой породы. Прострелка должна производиться в один-два и не более трех приемов.

13. Как правило, при рассредоточенном заряде линия наименьшего сопротивления должна быть не менее, чем при сосредоточенном заряде.

Заправка буров производится двумя буро-заправочными станками Клаймакс при двух нефтяных горнах.

По данным 1934 г., число затупленных буров составляло 0,136 на 1 *т* горной массы, а расход буровой стали на один заправленный бур выразился в 54 *г*.

Буровая сталь применяется при работе перфораторами Клаймакс круглая пустотелая диаметром 32 *мм*, для перфораторов Флоттман — диаметром 25 *мм* и для БМ-13 — диаметром 22 *мм*.

Компрессорное хозяйство апатитового рудника в Хибинах составляло к началу 1935 г. 155 *м³/мин*. По отчету за 1934 г. выработано было воздуха 39,6 млн. *м³*, причем чистое время работы компрессоров составило 79,5%, по ремонту — 0,42%, на перерывы во время взрывания — 11%, прочие простои — 9,08%. Расход горючего на 1 маш.-час выразился в 14,32 *кг*.

Эксплоатация Кукисвумчоррского месторождения показывает, что апатитовые руды Хибин являются породами различной крепости и твердости. Они обладают высокой связностью частиц при небольшом включении в рудной массе нефосфатных минералов и отличаются большей связностью при повышенном содержании последних. Для целого ряда апатитовых руд характерна хрупкость.

Непостоянство минералогического состава, различная крепость апатитовых руд обусловливают наличие на руднике не-

скольких норм для бурильщиков мелкого, среднего и глубокого бурения.

За время работы апатитового рудника им. С. М. Кирова установлено, что от всей взорванной массы получается обычно мелочи для уборки сразу же в вагонетки не больше 25% и что после дополнительной разбурки крупных глыб остается для ручной разбивки до 15% всей взорванной руды.

При тщательной, произведенной вручную отборке отходы, т. е. часть породы, которую нельзя дать с рудой и которая удаляется и отвозится в специальные отвалы, составляют при-



Рис. 27. Ручной забой апатито-нефелинового рудника им. С. М. Кирова в Хибинах

мерно 10—12% рудного тела. При обработке вручную взорванной руды флотационная руда для фабрики получается более богатой благодаря удалению пустой породы.

На рис. 27 показан ручной забой апатито-нефелинового рудника.

При замене ручного труда в забоях экскаватором предварительное обогащение руды в месте ее добычи и сортировка руды непосредственно в забоях не имеют места; руда должна пройти через дробильные установки для доведения кусков ее до крупности, требуемой обогатительной фабрикой. Крупное преимущество применения в забоях экскаваторов заключается в механизации весьма трудоемких процессов — погрузки руды в вагоны и откатки до ближайшего к месту добычи рудоспускного устройства. В этом случае загрузка руды производится одноковшевым экскаватором типа механической лопаты в большегрузные вагоны, отвозимые мотовозами.

При обработке взорванной руды вручную рудоразборщиками к месту работы каждого звена прокладывается тупик. Руда загружается в коппелевские вагонетки; последние вывозятся по тупику на узкоколейный путь и дальше откатываются до ближайшего ската или бремсберга вручную или лошадьми, в зависимости от длины откатки.

На открытом апатитовом руднике им. С. М. Кирова на основных его горных участках нижними разрабатываемыми горизонтами служат: на Северном I участке — горизонта 485 *м* над уровнем моря, на Южном II — горизонт 473 *м*, на III Лопарском, обращенном к широкой Лопарской долине, — горизонт 461 *м* и на IV и IV бис горных участках, расположенных севернее I, — горизонт 509 *м*.

Верхними горизонтами, содержащими эксплоатационные запасы апатитовых богатых пятнистых руд в пределах открытых работ рудника, являются на горных участках рудника: на I — горизонт 545 *м*, на II — 557 *м*, на III — 533 *м*, на IV — 533 *м* и на IVбис горизонт 545 *м*.

Последний процесс — спуск добытой руды — до ввода в действие рудоспускных шахт и капитальной штольни осуществляется довольно сложно. От рабочего места, от забоя того или иного участка коппелевская вагонетка, нагруженная 1,5 *т* апатитовой руды, вывозится вручную по тупику на узкоколейный путь работающего горизонта к промежуточному скату, руда выгружается в последний и, пройдя его, перегружается в вагонетку на нижележащем уступе. Далее руда откатывается до основных спускных устройств, соединяющих отдельные горные



Рис. 28. Опытное определение угла наклона скатов

участки с главным откаточным путем рудника, устроенным на горизонте 446 *м*. Из рис. 22 видно, что основными спускными устройствами горных участков служат: а) скаты, б) концевой бремсберг № 3 длиной 104,5 *м* с пропускной способностью 900 *т* руды в сутки на I горном участке (в эту точку поступает руда с участков I и частью IV и IVбис), в) Северный гезенк на Северную штольню, пройденную на горизонте 446 *м* (в эту вторую точку поступает руда с участков IV, IVбис и частью I) и г) скиповой бремсберг № 5 длиной 124 *м* (к нему поступает руда со II участка). Что касается III Лопарского участка, то добытая на его уступах руда спускается по скатам и передается к верх-

ней площадке Лопарского скипового бремсберга длиной 117 *м*, оборудованного двумя скипами емкостью каждый на 3 *т* с возможной пропускной способностью 1900 *т* руды в сутки.

Угол наклона скатов пришлось определять опытным путем (рис. 28), когда в период организации первых работ на руднике убедились, что апатитовая руда в силу своих особых свойств не подчиняется практическим общим правилам спуска по скатам угля, железных руд и других пород.

Наиболее выгодным углом наклона оказался 35° для кусковой и 40—45° для мелкой порошкообразной сырой апатитовой руды.

Размер применяемых на апатитовом руднике скатов прямоугольного сечения 1 *м* × 0,6 *м*. Дно и бока их из досок 50 *мм* толщиной обшиваются железом; дно — броневым в 10—15 *мм*, бока — железом толщиной 5—6 *мм*.

Устройство на горизонте 446 *м* главного откаточного пути было признано целесообразным вскоре после организации добычи апатита на горе Кукисвумчорр. В результате детального ознакомления с рудной мощной залежью стало ясно, что для открытого рудника не удается спускать апатитовую руду на горизонт 380 *м* одним непрерывным потоком посредством скатов. Помимо значительной длины скатов, они к тому же обладали бы существенным недостатком: богатая апатитовая руда при движении по скатам сильно истирается, дробится, а бедная, будучи наиболее прочной, разбивает устройство скатов.

Апатитовая руда, добытая на Северном I горном участке на горизонтах 545, 533, 521 и 509 *м*, откатывается вручную или конной тягой к центральному скату I участка. С последнего эта руда, а также добытая на основном горизонте 497 *м*, спускается на главный откаточный путь горизонта 446 *м* по концевому бремсбергу № 3 без перегрузки или через I Северный гезенк передается на Северную штольню горизонта 446 *м*, перегружается посредством люков гезенка в коппелевские вагонетки и отвозится к главному откаточному пути.

Апатитовая руда, добытая на II горном участке на горизонтах 545 и 533 *м*, откатывается к скатам, поступает по ним на основной горизонт участка 521 *м*, здесь вместе с рудой, поступающей из забоев горизонта 521 *м*, откатывается к скиповому бремсбергу № 5 и из скипа последнего перегружается в вагонетки на горизонте 446 *м*. Руда нижних горизонтов (509, 497, 485 и 473 *м*) II участка передается на горизонт главного откаточного пути 446 *м* по так называемым опытным скатам.

Добытая на III Лопарском участке руда откатывается вручную или конной тягой к скатам и по последним передается непосредственно на горизонт 446 *м*, по которому она поступает к основной рудоспускной артерии рудника — Лопарскому скиповому бремсбергу.

Апатитовая руда IV и IVбис участков откатывается мотовозной тягой на I горный участок, откуда посредством центрального ската передается на горизонт 497 *м* и дальше по концевому бремсбергу № 3 на главный откаточный путь или посту-

пает с участков к Северному гезенку № 1 и по Северной штольне откатывается к главному откаточному пути.

Вся апатитовая руда, со всех горных участков спущенная на главный откаточный путь горизонта 446 *м*, откатывается по нему 30-сильными мотовозами до главных рудоспускных устройств открытого рудника — до Диагонального клетьевого бремсберга или Лопарского скипового бремсберга.

Сохраняя в небольшом размере работы по погрузке апатитовой руды в забоях вручную, проект открытых работ переходного времени намечает механизацию погрузки руды в забоях с помощью одноковшевых экскаваторов типа механической лопаты на гусеничном ходу на I горном участке, на IV и IVбис, на III Лопарском (в первую очередь на его горизонте 473 *м*), намечает мотовозную откатку добытой руды из экскаваторных забоев, спуск руды по гезенкам на горизонт 473 *м* и подземную электровозную откатку по горизонту 473 *м* к рудоспускной шахте № 1 рудника.

Для спуска апатитовой руды на штрек горизонта 473 *м* предусмотрены проектом открытого рудника переходного времени три гезенка, дополнительных к I Северному для IV и IV бис участков, с горизонта 509 *м* на 473 *м*, два гезенка на I Северном участке на горизонтах 485 и 497 *м*, четыре гезенка на II горном участке и на III Лопарском участке штольня по горизонту 473 *м* для направления добытой руды к стволу рудоспускной шахты рудника.

Проект открытых работ переходного времени предусматривает в основном не коренную перестройку открытого рудника, которая потребовала бы, безусловно, остановки действующего рудника, а введение легкой, но широко охватывающей основные горные процессы механизации. Последняя предусмотрена в виде экскаваторной погрузки руды в забоях, мотовозной откатки погруженной экскаваторами добытой руды, в виде спускных устройств на горизонт 473 *м*, подземной электровозной откатки по горизонту 473 *м* в большегрузных 5-тонных вагонах Гренби к стволу рудоспускных шахт для подачи руды по шахтам на горизонт капитальной штольни.

Суточная производительность одного рабочего (открытого рудника — 7,45 *т*.

Расходные коэфициенты приняты: взрывчатых материалов 0,20 *кг*, электроэнергии 3,8 kW, сжатого воздуха 6 $м^3$ на тонну апатитовой руды.

3. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КУКИСВУМЧОРРСКОГО АПАТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Вариантом подземного способа разработки Кукисвумчоррского апатитового месторождения, утвержденным в качестве основного для Хибин ЦНТЭСом неметаллических ископаемых, предусматривается, что к моменту начала развития подземной добычи апатитовая руда будет вынута открытыми работами на руднике им. С. М. Кирова до горизонтали 485—487 *м* при угле откоса ко времени окончания карьера 60—65°.

При подземной разработке апатитовых месторождений существенным вопросом является правильный выбор системы очистной выемки в отношении рентабельности.

Значительная мощность Хибинских апатитовых месторождений, крупный масштаб добычи, хрупкость апатитовой руды, требование введения наиболее дешевых методов — все это говорит в пользу отказа от применения систем разработки апатитов открытым забоем, системы с закладкой и системы с креплением в чистом виде.

Для мощных апатитовых месторождений Хибин возможны системы разработки двух основных типов: 1) система с обрушением в виде подэтажного, а также блокового обрушения и 2) система комбинации магазинирования в камерах с последующим обрушением целиков и одновременным выпуском всей руды из выработанного пространства — из систем комбинированных.

Комбинированная разработка с применением крепи или закладки не отвечает условиям Хибин (неценная поверхность, расположение рудного тела на склоне горы, отсутствие рыхлых наносных образований и значительный масштаб добычи) и поэтому отпадает.

Система с обрушением в виде чистого слоевого обрушения также исключается из тех соображений, что она требует расхода крепи, много подготовительных работ и обычно не применяется на горных предприятиях с очень большой производительностью.

Наиболее желательной системой разработки для Кукисвумчоррского апатитового месторождения является система блокового обрушения в чистом виде, как могущая дать значительное удешевление апатитовой руды.

Однако применение этой системы ограничивается месторождением с хрупкой и не слишком слеживающейся рудой.

В отношении апатитовых руд имеется основание полагать, что ввиду их хрупкости они будут раздавливаться при обрушении достаточно хорошо и быстро. Но на ряду с этим нет уверенности в том, что апатитовая мелочь, особенно в мокром виде, не будет проявлять склонности к слеживанию.

Неполнота знаний свойств пород Кукисвумчорра и недостаточность данных по изучению условий обрушения апатитовых руд привели ЦНТЭС неметаллических ископаемых к решению отказаться от немедленного ввода в действие системы блокового обрушения.

Что касается системы подэтажного обрушения, то условия ее применимости в отношении пород немногим расходятся с условиями применимости блокового обрушения.

На ряде американских рудников система блокового обрушения явилась следствием разработки с магазинированием камер, путем постепенного сжатия объема магазинирования, превратившегося в конечной стадии в подсечку основания блока и нарезку его проведением только ограничивающих обрушаемую площадь магазинных забоев.

а) Система выемки с магазинированием в камерах

В качестве основной подземной системы эксплоатации Кукисвумчоррского апатитового месторождения принята на первые годы, в соответствии с такой практикой американских рудников,

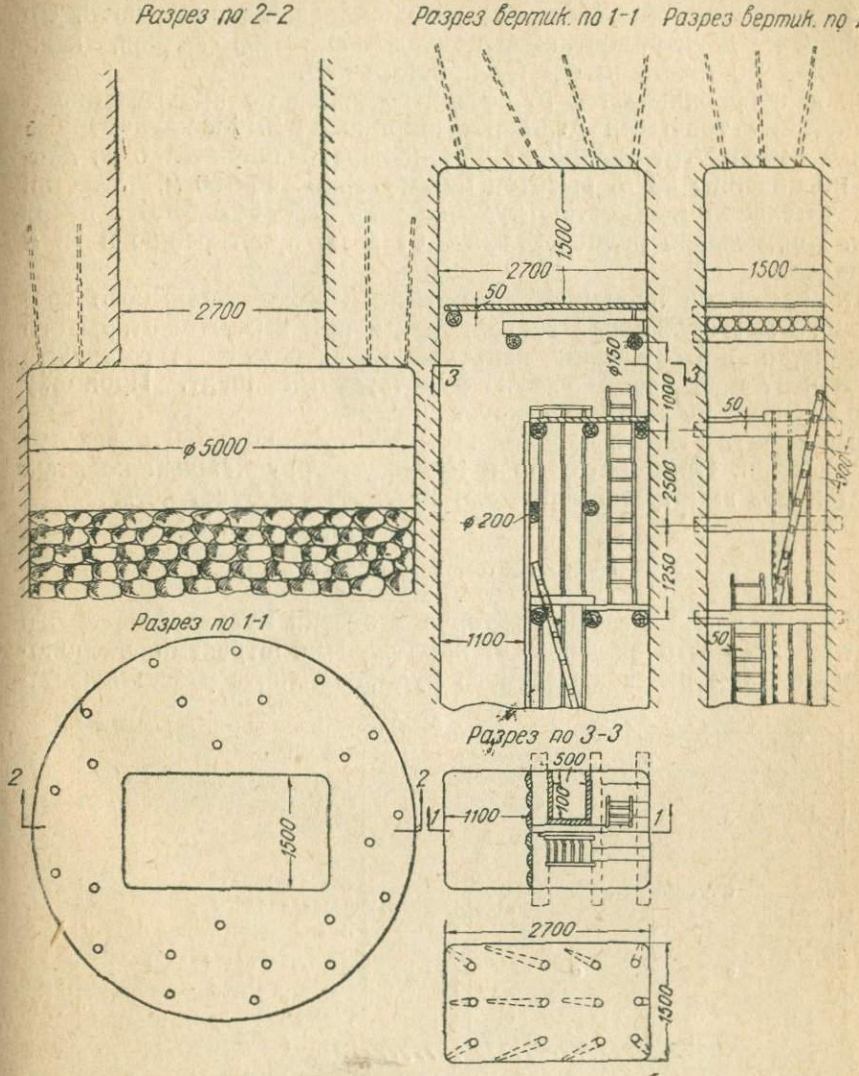


Рис. 29. Проходка рудоспускной шахты

комбинированная система выемки апатитовой руды с магазинированием в камерах, с последующим обрушением целиков и одновременным выпуском всей руды из выработанного пространства.

При системе разработки апатитового месторождения с магазинированием камер с последующим обрушением целиков выделенный участок работ разделяется на блоки определенных размеров. Блоки разбиваются на подблоки, последние — на камеры и целики.

При магазинной системе в применении к Кукисвумчоррскому апатитовому месторождению принимается за единицу блок, состоящий из двух рядов камер по падению месторождения, в каждом ряду по шесть камер по простиранию.

Блок отграничивается от соседнего блока по простиранию и по падению толстыми целиками шириной 8 *м*. Междукамерные целики намечаются толщиной 4 *м*, камеры — шириной 6 *м*, длиной по падению 30 *м*, высотой максимально 40—50 *м*. Участки с значительной мощностью рудного тела разрабатываются в два слоя. Нормальный размер блока — 64 *м* по простиранию и 72 *м* по падению.

Общая схема подземной разработки Кукисвумчоррского апатитового месторождения состоит, как и при варианте открытого рудника, в прохождении капитальной штольни на горизонте 380 м и от нее вверх — двух рудоспускных шахт. Проходку рудоспускных шахт иллюстрирует рис. 29.

Все поле по линии падения вниз до горизонта 380 *м* делится на подэтажи. Применительно к Кукисвумчорру каждый подэтаж будет иметь высоту по вертикали 30 *м;* этажей будет четыре.

Подготовительные работы

Из трех возможных вариантов подготовки Кукисвумчоррского апатитового месторождения: а) продольными штреками, расположенными ниже разрабатываемого рудного тела, с разветвляющи-

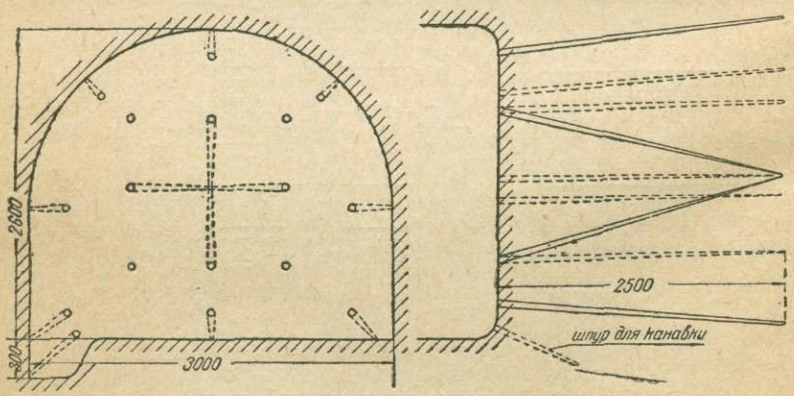


Рис. 30. Проходка однопутевого штрека для электровозной откатки. Расположение шпуров при проходке

мися скатами, б) системой квершлагов на каждом горизонте со скатами для спуска руды, в) системой бремсбергов и одного откаточного штрека — предпочитательным является первый вариант.

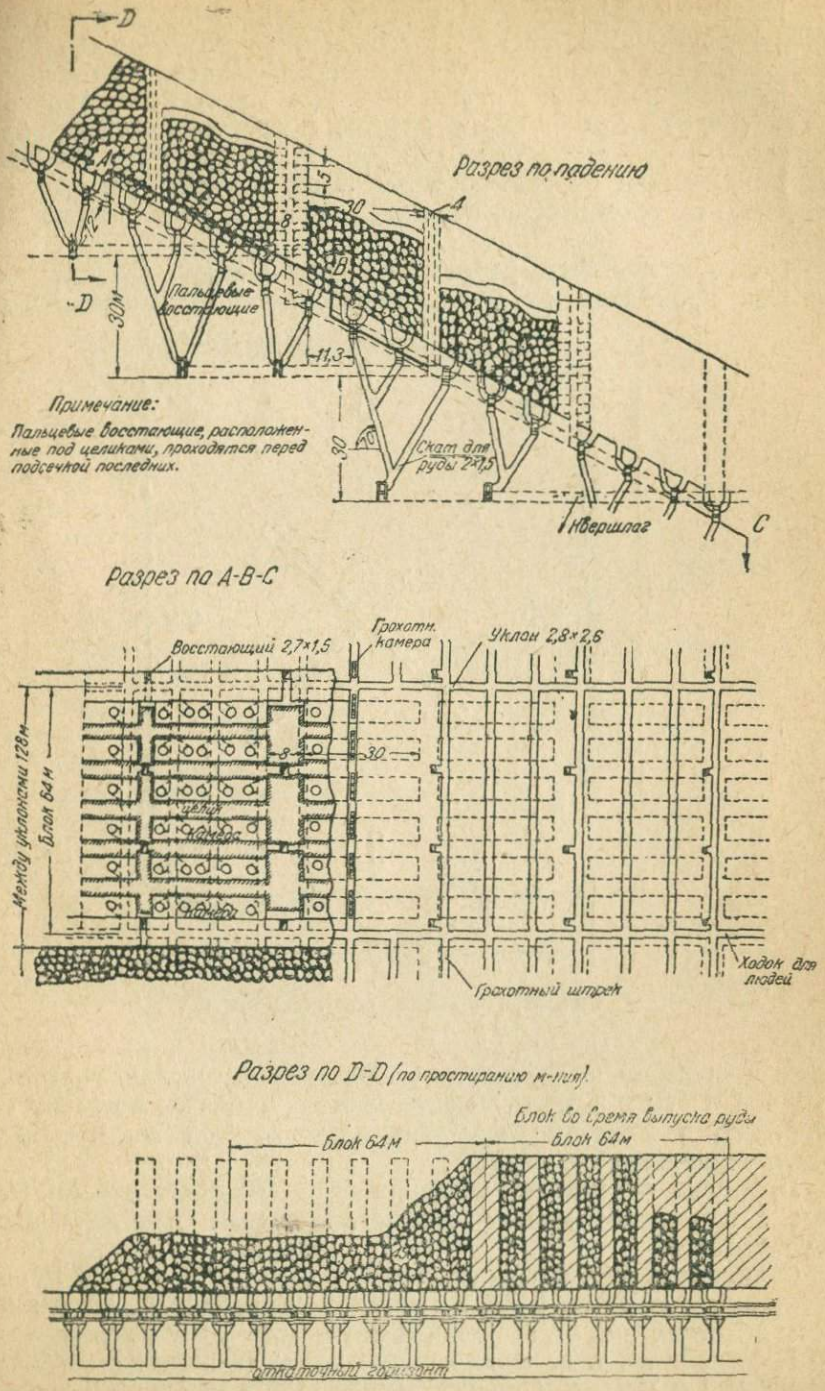


Рис. 31. Типовой чертеж системы разработки с магазинированием руды

Преимущества варианта подготовки продольными штреками заключаются: а) в сравнении с вариантом подготовки системой квершлагов — в меньшей общей длине выработок на откаточном горизонте при одинаковой длине многочисленных разветвляющихся скатов, б) в сравнении с вариантом подготовки системой бремсбергов — в более простом способе доставки руды по скатам, освобождающем от большого числа скреперных установок для доставки по бремсбергам, что дает значительную экономию в рабсиле.

Подготовительные работы по подземному руднику начинаются проходкой от рудоспускных шахт параллельных отка-

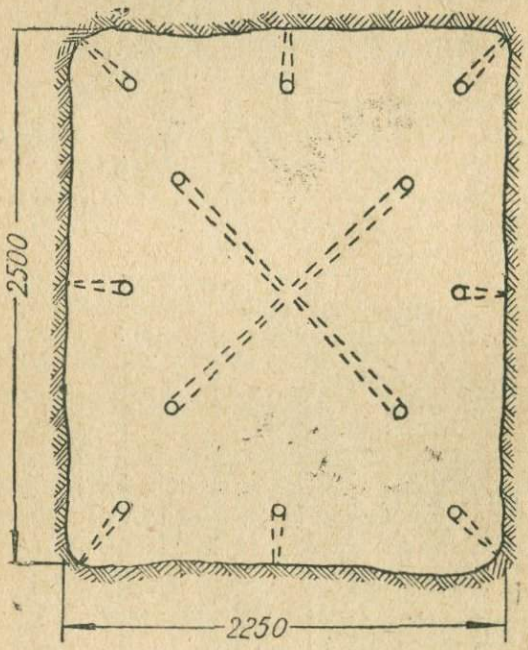


Рис. 32. Проходка грохотного штрека

точных штреков, в частности по Кукисвумчорру — на горизонтах 410, 443 и 472 *м*. Откаточные штреки проходятся по всему простиранию в лежачем боку богатой пятнистой апатитовой залежи, намеченной к выемке.

Проходка откаточных штреков (рис. 30) ведется без крепления, с приданием кровле сводчатой формы для надлежащей устойчивости.

Откаточные штреки проходятся сечением 3 *м* × 2,6 *м*, однопутевыми, с уклоном 0,003 в грузовом направлении. Из откаточных штреков, на расстоянии, равном двойному размеру блока по простиранию, т. е. через каждые 128 *м*, проходятся квершлаги сечением 3 *м* × 2,6 *м* и из них — уклоны под углом 25°, сечением шириной 2,8 *м*, высотой 2,6 *м* для сообщения и доставки материалов. Уклоны проводятся под 8-метровыми целиками, отде-

ляющими блок от блока. Каждый уклон предназначен для обслуживания двух блоков.

Типовой чертеж системы разработки с магазинированием руды представляет рис. 31.

Одновременно проходятся из откаточных штреков на горизонт камер грохочения восстающие сечением 1,5 *м* × 1,8 *м*, служащие скатами для апатитовой руды, добываемой подземным способом. Для обеспечения движения по ним апатитовой руды скаты задаются под углом минимально 70°. Скаты не крепятся. Расстояние между ними по откаточному штреку составляет 10 *м*.

На горизонте грохочения проводятся горизонтально на длину 65 *м* от уклона параллельные штреки грохочения (рис. 32) сечением 2,5 *м* × × 2,25 *м* и вдоль последних — аналогичного сечения 36 камер грохочения на каждый блок, длиной каждая по 6 *м*. Одновременно с камерами грохочения проходятся в междукамеромагазинных продольных целиках восстающие сечением 2,7 *м* × 1,5 *м* и из них через каждые 5 *м* по высоте — короткие ходки сечением 1,5 *м* × × 1,5 *м* для связи с магазинами.

Проходку восстающего для магазинной системы иллюстрирует рис. 33.

Штреки горизонтов грохочения и восстающие в междукамеромагазинных целиках с устроенным в них лестничным отделением с площадками на уровне ходков в магазины служат основными путями сообщения с забоями камер и целиков.

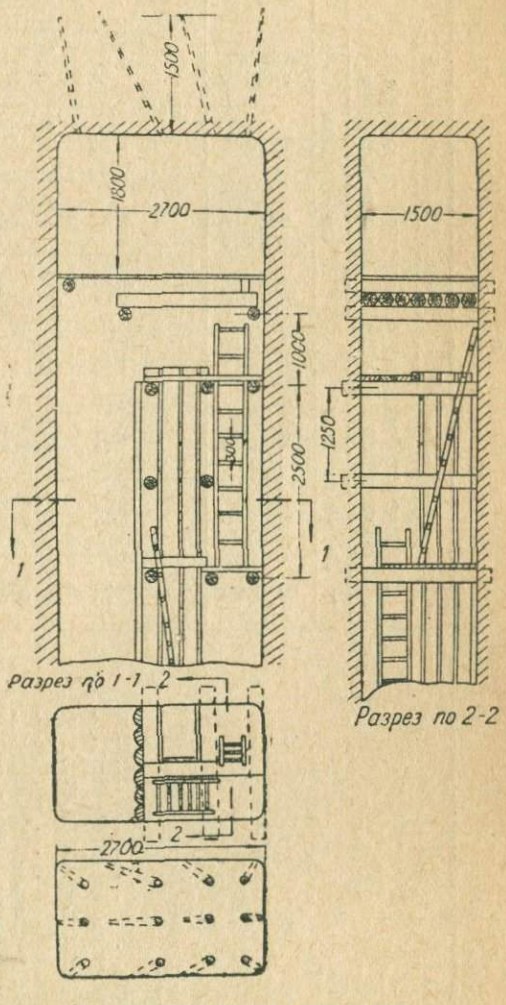


Рис. 33. Проходка восстающего

После проходки и закрепления камер (и штреков) грохочения проводятся пальцевые восстающие, сначала из трохотных камер под углом 40°, затем вертикально, сечением 1,5 *м* × 1,5 *м*.

Таблица 18

а) Горизонтальные выработки

	$3 \times 2{,}6 = 7{,}8$ м²				$2{,}5 \times 2{,}25 = 5{,}62$ м²				$1{,}8 \times 2 = 3{,}6$ м²			
	Бурение колонковым перфоратором СР-5 по породам				Бурение мелким Клаймакс и Флоттман по породам				Бурение молотками Клаймакс и Флоттман по породам			
	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким
Количество шпуров:												
а) врубовых	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
б) отбойных и вспомогательных	16	18	20	24	12	13	14	16	8	10	12	14
Глубина шпуров в м:												
а) врубовых	2,3	2,3	2,3	2,0	1,8	1,8	1,8	1,6	1,5	1,5	1,2	1,2
б) отбойных и вспомогательных	2,0	2,0	2,0	1,8	1,6	1,6	1,6	1,4	1,3	1,3	1,0	1,0
Коэфициент использования шпуров	0,8	0,8	0,8	0,75	0,8	0,8	0,8	0,75	0,8	0,8	0,8	0,75
Уход от 1 шпура в м	1,6	1,6	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	0,8	0,75
Метраж бурения на 1 комплект	41,2	45,2	49,2	41,2	26,5	28	29,5	29	16,5	19	17	19
Расход буров на 1 м бурения	0,75	1,0	2,0	3,0	0,75	1,0	2,0	3,0	0,75	1,0	2,0	3,0
Метраж бурения на 1 м ухода	26	28	31	31,5	20,5	21,5	23	29	16,5	19	21	25
Расход буров на 1 м проходки	20	28	62	95	15	22	46	87	12	19	42	75
Расход взрывчатки на 1 комплект:												
а) сольвенита в кг	30,6	33,7	36,7	36,3	20,1	21,4	22,7	19,6	11,5	12,3	10,1	10,5
б) бикфордова шнура, в м	69	78	88	108	52	56	60	69	37	44	52	60
в) капсюлей, шт.	28	30	32	36	24	25	26	28	20	22	24	26
Расход взрывчатки на 1 м ухода:												
а) сольвенита в кг	19,1	21,1	22,9	27,2	15,6	16,5	17,5	19,6	11,5	12,3	12,6	14
б) бикфордова шнура, в м	43	49	55	82	40	43	46	[illegible]	37	44	65	80
в) капсюлей, шт.	14	19	20	28	18	20	20	26	20	22	30	35
Расход сольвенита на 1 м³ породы в кг	2,45	2,71	2,94	3,5	2,78	2,94	3,12	3,5	3,2	3,42	3,5	3,9

б) Восстающие выработки

	$\varnothing 2{,}0$ м, $S = 3{,}14$ м²				$1{,}8 \times 1{,}5 = 2{,}7$ м²				$2{,}7 \times 1{,}5 = 4$ м²			
	Бурение телескопическим перфоратором S-49											
	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким	слабым	средней крепости	крепким	весьма крепким
Количество шпуров:												
а) врубовых	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
б) отбойных вспомогательных	8	10	11	12	9	10	12	14	10	12	13	16
Глубина шпуров в м:												
а) врубовых	1,5	1,5	1,5	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,75	1,75	1,75	1,2
б) отбойных вспомогательных	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,3	1,0
Коэфициент использования шпуров	0,8	0,8	0,8	0,75	0,8	0,8	0,8	0,75	0,8	0,8	0,8	0,75
Уход от 1 шпура в м	1,0	1,0	1,0	0,75	0,8	0,8	0,8	0,75	1,2	1,2	1,0	0,75
Метраж бурения на 1 комплект	16,5	19	20,5	19	13	14	16	19	22	25	23	21
Расход буров на 1 м бурения	0,75	1,0	2,0	3,0	0,75	1,0	2,0	2,0	0,75	1,0	2,0	3,0
Метраж бурения на 1 м ухода	16,5	19	20,5	25,5	16	18	20	25	18,5	21	23	28
Расход буров на 1 м проходки	12	19	41	77	12	16	40	75	14	21	46	84
Расход взрывчатки на 1 комплект:												
а) сольвенита в кг	13	15,2	16,3	16,2	11	12	13,5	16,5	15,1	17,3	18,4	18,1
б) бикфордова шнура в м	36	44	48	60	36	40	48	60	44	52	56	69
в) капсюлей, шт.	16	18	19	22	16	17	19	22	18	20	21	24
Расход взрывчатки на 1 м ухода:												
а) сольвенита в кг	13	15,2	16,3	21,6	13,8	15,0	16,9	22,0	12,6	14,4	18,4	24
б) бикфордова шнура в м	36	44	48	80	45	50	60	80	37	43	56	92
в) капсюлей, шт.	16	18	19	20	20	21	24	30	15	17	21	32
Расход взрывчатки на 1 м³ породы	4,14	4,84	5,19	6,87	5,11	5,36	6,26	8,15	8,15	3,6	4,6	6,0

Пальцевые восстающие служат для выпуска руды из блоков. Апатитовая руда поступает из них в камеры грохочения. В последней крупные куски руды разбуриваются и разбиваются.

Дальше руда спускается по разветвляющимся восстающим скатам к откаточным штрекам. В камерах грохочения, после соединения с ними восстающих, устанавливаются грохота из рельсов с шириной зазора между рельсами в 400 *мм*.

Проходка пальцевых восстающих и оборудование затворами пальцевых восстающих, выходящих на дно камер, завершают цикл подготовительных работ под камерами, намеченными к магазинированию, и под их целиками.

На Апатитовом руднике им. С. М. Кирова были установлены в первом полугодии 1936 г. нормативы на проходку подготовительных выработок (табл. 18).

Очистные работы

Магазинированию камер предшествует их подсечка. Последняя заключается: а) в проходке наклонной выработки вдоль дна камеры по восстанию, в направлении с нижнего конца камеры, в среднем в 6 *м* по вертикали от почвы камер грохочения; б) в расширении устья пальцевых восстающих и в) в расширении пройденной по дну камеры выработки до ширины камеры, т. е. до 6 *м*.

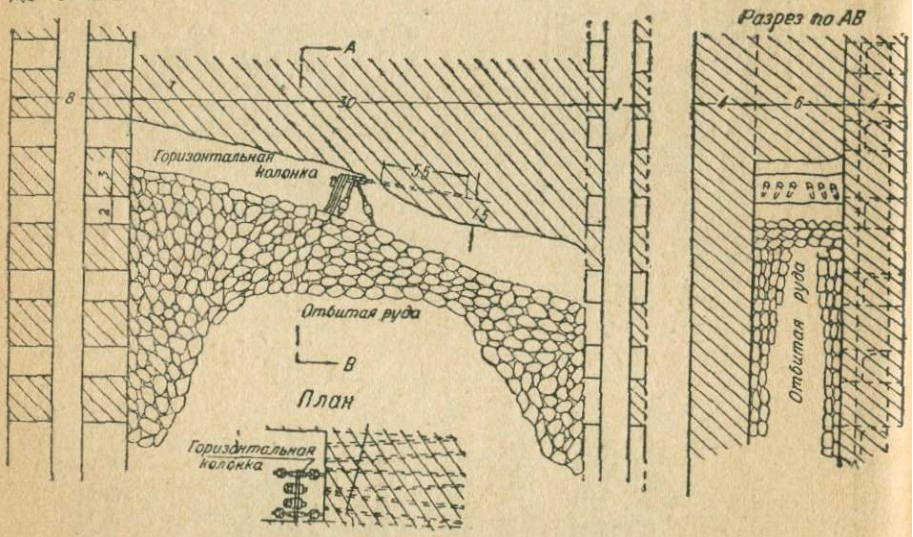


Рис. 34. Очистные работы в камере

Магазинирование камер производится слепка наклонными (под углом 10—15° к горизонту) слоями — забоями, подвигаемыми во всю ширину камеры с верхнего ее конца по падению месторождения. Выемка в камерах производится посредством пневматического бурения и применения взрывчатых веществ (аммонит № 2). Высота слоя, обрушиваемого после отпалки прой-

денных почти горизонтально (с небольшим наклоном вниз) буровых скважин, колеблется от 1 до 2,5 *м* в зависимости от строения апатитовой руды и от ее твердости.

Очистные работы в камере иллюстрирует рис. 34.

После отпалки скважин производится выпуск части руды (25—30%) в объеме, допускающем удобное размещение рабочих при бурении следующего комплекта скважин.

По данным американской практики, обычно оставляется расстояние в 2 *м* от магазинированной руды до кровли камеры после частичного выпуска руды. За время магазинирования доступ в забой камеры возможен с двух сторон по лестничному отделению восстающих, пройденных в междукамерных целиках.

Обрушению междукамерных 4- и 7-метровых целиков, производимому после окончания магазинирования руды в камерах блока или в части его, предшествует подсечка целиков. Последняя заключается в проходке высечек шириной 1,5 *м* из пальцевых восстающих 4-метрового целика и в расширении устья пальцевых восстающих. Вслед за тем производится постепенно бурение стенок и кровли рассечек. После отпалки скважин, заданных в количестве и длиной, соответствующей крепости целика, последний обрушается. Этим завершаются работы по выемке целика. В 8-метровых целиках высечка проходится во всю длину по его середине, шириной 2,5—3 *м;* стенки и кровля обуриваются аналогично.

Магазинная подземная система разработки Кукисвумчоррского апатитового месторождения предполагает обрушение висячего блока вслед за выпуском магазинированной руды.

По каждому участку подземного апатитового рудника может находиться в обрушении два-три блока. Помимо них, часть блоков должна быть в подготовке, часть — в магазинировании.

Выпуск руды может осуществляться по всей длине блока по простиранию, который имеет верхний ряд магазинированным. Руда начинает выпускаться для облегчения обрушения из пальцев самого верхнего ряда по восстанию, потом из следующих по падению. Выпуск руды производится только из тех пальцев, которые расположены под наклонной плоскостью, являющейся границей между раздробленной рудой и обрушаемой налегающей породой. Обрушившаяся порода следует за рудой, образуя угол 45°.

В то время как линия выпуска в данном блоке будет по мере выпуска спускаться ниже и достигнет границы целика, разделяющего выпускаемый ряд камер от соседнего, последний должен быть магазинирован. То же самое требуется и по простиранию; минимум две камеры блока, соседнего с выпускаемым, должны быть магазинированы.

При начале выпуска из следующего, нового ряда камер соседний по падению ряд должен магазинироваться, с тем чтобы к окончанию выпуска предыдущего он был полностью магазинирован, а целики его подсечены и обрушены. То же должно иметь место по простиранию.

По коренным откаточным штрекам откатка электровозная в 5-тонных саморазгружающихся вагонах Гренби, а по капиталь-

ной штольне от рудоспускных шахт — электровозом железнодорожного типа. Снабжение сжатым воздухом, по проекту, происходит от центральной компрессорной общей мощностью 450 $м^3$ при трех компрессорах.

Вентиляция намечена искусственная, в двух местах, путем установки вентиляторов по 5 000 $м^3$ в минуту каждый. Освещение электрическое. Имеется ряд трансформаторных подстанций. Потребность в оборудовании для подземного рудника выражается по Кукисвумчорру в следующем: молотков и перфораторов — 220, вагонов Гренби — 155, электровозов — 12, скреперов емкостью 1 $м^3$ — 15, пневматических 6-сильных лебедок — 34, подъемных машин по 125 *л. с.* — 2, бурозаправочных станков Лейнера — 13, компрессоров по 150 $м^3$ — 3; кроме того, насосы и вентиляторы.

Удельная длина подготовительных выработок, отнесенная на 1 000 *т* подготавливаемого запаса, определяется для варианта разработки с магазинированием руды следующей: откаточные штреки — 0,53 *пог. м*, скаты — 1,70 *пог. м*, грохотные штреки — 0,82 *пог. м*, уклоны — 0,11 *пог. м*, наклонные ходки — 0,07 *пог. м*, пальцевые восстающие — 0,82 *пог. м*, восстающие — 0,54 *пог. м*, ходки из восстающих — 1,30 *пог. м*.

Производительность рабочего, занятого на основных работах, по расчетам проекта, — 7 *т* руды в смену, и общего 6,3 *т*. Расход взрывчатых веществ — 0,25 *кг* на тонну. Расход сжатого воздуха — 25 $м^3$ на тонну. Процент разубоживания руды — 5. Среднее содержание фосфорного ангидрида в руде — 26,7%. Расход электроэнергии — около 4 kWh на тонну.

Выбранная на первое время эксплоатации Кукисвумчоррского месторождения комбинированная система является весьма гибкой и при современных знаниях свойств пород месторождения не внушает серьезных опасений в возможности ее применения для разработки апатитовых месторождений.

Принятая система широко распространена для разработки мощных месторождений руд выше-средней и средней крепости в Швеции и США — передовых по технике странах.

Преимущество выбранной комбинированной системы заключается в том, что она допускает такую схему подготовки, при которой переход от системы выемки с магазинированием к системе блокового обрушения в чистом виде возможно произвести в любом месте и во всякое время, без всякого нарушения деятельности апатитового рудника.

Естественно, что переход на систему блокового обрушения, на применение которой для разработки апатитов берется конечная установка, реально осуществим лишь в случае получения надежных положительных результатов опытных работ по изучению условий обрушения апатито-нефелиновых пород при системе работ камер с магазинированием и с обрушением при выемке целиков, в случае выявления благоприятных физических свойств апатитовой руды — слабой ее склонности к слеживаемости. При этих условиях приобретенный опыт подземной разработки облегчает переход на систему разработки кукисвумчоррского апатита с обрушением блоков, в начале в виде опыта.

После достаточного ознакомления с приемами работ по обрушению и выпуску блоков и установления путем испытаний размеров блоков, наиболее подходящих для условий Кукисвумчоррского месторождения, будет обеспечен спокойный переход с камер-магазинной системы разработки целиком на блоковую. Этот переход будет облегчен тем, что схема расположения подготовительных выработок выбирается одинаковой для той и другой системы.

б) Система блокового обрушения

Сущность системы блокового обрушения (рис. 35), на которую предполагается полностью перейти с камер-магазинной системы разработки в целях обеспечения наибольшей производительности рабочего и низкой себестоимости, заключается в нарезке блока, в проведении под блоком системы выработок с оставлением промежуточных целиков, в подрывке этих целиков

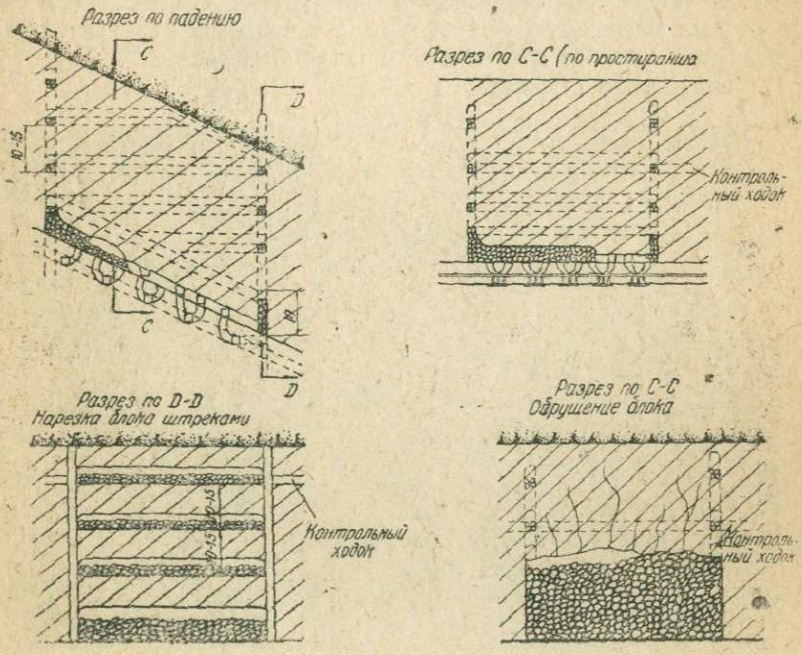


Рис. 35. Система блокового обрушения. Обрушение отдельными блоками

и кровли выработок и, наконец, в частичном или полном выпуске разрушенного слоя руды под блоком.

Нарезка блока имеет назначение ослабить связь обрушаемого блока с ближайшим массивом руды. Она состоит в проведении вдоль вертикальных границ блока узких пограничных выработок с магазинированием руды и с оставлением промежуточных целиков или в проведении горизонтальных штреков на расстоянии 10—15 *м* по высоте и в подрывке их кровли.

Подсечка основания блока производится системой взаимно пересекающихся штреков сечением 1,5 *м* × 2 *м*, в разбурке из штреков целиков и в подбурке кровли, чтобы вызвать обрушение.

После подсечки начинается выпуск руды через пальцевые восстающие, вначале медленное, до тех пор, пока руда начнет легко обрушаться. Выпуск производится непрерывно, чтобы компенсировать увеличение на 40—50% объема руды после ее раздробления.

Обрушенная руда через пальцевые восстающие поступает на грохоты с шириной отверстия 400 *мм*. Опираясь на данные американской практики, проект рекомендует размер отдельных блоков 50 *м* × 50 *м* при высоте примерно 100 *м*.

в) Сопоставление систем камер-магазинной и блокового обрушения

Для сопоставления с камер-магазинной системой приводим последовательность проведения подготовительных выработок при системе блокового обрушения, основанную главным образом на удобстве выдачи отбитой при проходке массы:

1) откаточные штреки.

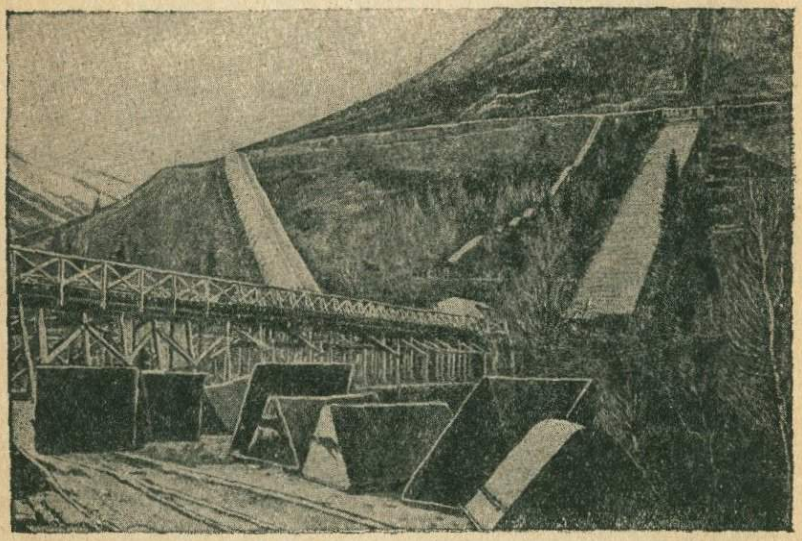


Рис. 36. Общий вид Кукисвумчоррского рудника им. С. М. Кирова

2) скаты, т. е. перепускные восстающие, частью разветвляющиеся,

3) наклонные штреки или уклоны,

4) грохотные штреки,

5) грохота,

6) пальцевые восстающие,

7) вертикальные восстающие и из них пограничные магазины или штреки для нарезки блока,

8) подсечные выработки — штреки и разрушение целиков в основании блока.

Кукисвумчоррским апатитовым рудником начаты опытные подземные работы, имеющие целью уточнить свойства руд и экономическую целесообразность применения: а) системы магазинирования с последующим обрушением целиков (опытный блок — тоннель горизонта 521 *м*) и б) системы подэтажного обрушения, а также подготовить кадры подземных рабочих для предстоящей подземной добычи крупного масштаба.

В направлении организации подземного рудника сделано следующее: пройдены капитальная штольня на 380 *м*, рудоспускная шахта № 1, штольня на горизонте 473 *м* от III горного участка открытого рудника к стволу рудоспускных шахт, проведен на горизонте 521 *м* тоннель длиной 280 *м*, выходящий одним концом в центральную часть открытого рудника, другим — в околоствольные выработки около шахт, пройдены из тоннеля гезенки на горизонты 547 и 559 *м*; около 3-го бремсберга начата штольня, для спуска руды — гезенки с горизонта 487 *м* на горизонт 499 *м* и с горизонта 511 *м* по 523 *м*.

Общий вид Кукисвумчоррского рудника приведен на рис. 36.

IV. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ АПАТИТОВОЙ РУДЫ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ ФАБРИК АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВОЙ РУДЫ

С открытием на Кольском полуострове исключительных по природным богатствам Хибинских апатитовых месторождений апатит и его обогащение приобрели особый интерес в связи с возраставшим спросом в народном хозяйстве на основной вид удобрений — суперфосфат и в связи с встретившимися затруднениями по применению в суперфосфатной промышленности необогащенной апатито-нефелиновой руды, даже имевшей высокое содержание фосфорного ангидрида (до 30—32%).

Из-за свойства нефелина образовывать при реакции с серной кислотой квасцы, выделять гидрогель SiO_2 и разубоживать монодикальций-фосфат, суперфосфат из необогащенной апатито-нефелиновой руды получался с 11—12% усвояемой фосфорной кислоты вместо 14% по стандарту. Необходимо было разрешить проблему обогащения апатито-нефелиновой руды, найти наиболее технически совершенный метод ее обогащения, т. е. максимального увеличения процентного содержания фосфорного ангидрида, до степени, требуемой суперфосфатной промышленностью для выпуска суперфосфата качеством выше стандарта.

Обогащение апатитовой руды представляло большие трудности, ввиду отсутствия между минералами-компонентами апатитовой руды каких-либо резких различий в физических свойствах, которыми можно было бы воспользоваться для их разделения. Были применены концентрация на столах и магнитная сепарация, с целью выделения роговообманковых минералов и титаномагнетита, а также флотация для отделения апатита от нефелина и других минералов.

Применение флотации для нерудных ископаемых, впервые начатое Институтом Механобр, дало для апатитов прекрасные результаты: при среднем содержании фосфорного ангидрида в исходной сырой руде 27% после перечистки были получены концентраты с 39,5—40% фосфорного ангидрида и 2—3% полуторных окислов. Флотационные концентраты состояли на 96—98% из чистого апатита. Последний содержит около 41,5% фосфорного ангидрида.

Эти результаты разрешили проблему обогащения апатитов и дали возможность приступить к широкому использованию богатейших месторождений апатита Хибинского массива.

На основе разработанных Институтом Механобр проектов была построена в г. Кировске в начале 1931 г. обогатительная флотационная фабрика (рис. 37); ее первая очередь дает произ-

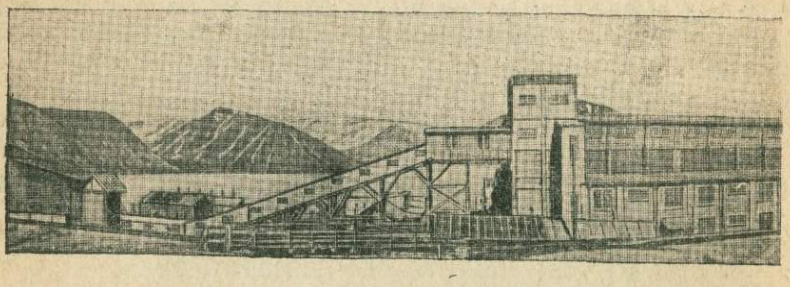


Рис. 37. Обогатительная фабрика апатитового концентрата в г. Кировске

водительность 200 тыс. *т* апатитового концентрата в год. В конце 1 квартала 1934 г. была закончена строительством и введена в эксплоатацию вторая очередь обогатительной апатито-нефелиновой фабрики проектной мощностью 800 тыс. *т* флотационного апатитового концентрата в год. Первая очередь фабрики — двухсекционная, вторая очередь — пятисекционная.

Полезные ископаемые, в том числе и апатитовая руда, состоят из полезного минерала (в данном случае — нефелина, при использовании последнего, и главным образом апатита), включенного в руду в виде кристаллов большего или меньшего размера, и обычно нескольких минералов, называемых пустой породой. Последние с точки зрения обогащения рассматриваются как вредные примеси, или хвосты. Задача обогащения заключается в наиболее совершенном разделении пустой породы от полезного минерала, в удалении пустой породы в хвосты, в доведении до минимума потери полезного минерала в хвостах — отходах фабрики. Естественно, что при наилучшем разрешении этой задачи содержание полезного минерала по отношению к оставшемуся количеству руды будет более высоким, чем то же самое количество полезного минерала в отношении к начальному количеству руды. В результате происходит концентрация полезного минерала — обогащение исходной руды.

Полное разделение полезного минерала апатитовой руды от пустой породы можно произвести только в том случае, если вся апатито-нефелиновая порода раздроблена до такой степени, что каждая крупинка представляет собой кристаллик апатита или кристаллик пустой породы. Практически такого положения никогда не удается добиться, и, кроме кристалликов чистого апатита и чистой пустой породы, всегда бывает некоторое количество зерен, состоящих из полезного и бесполезного минерала, сросшихся вместе, т. е. из так называемых «сростков».

Для того чтобы достигнуть максимального разделения апатитовой руды на кристаллики апатита и пустой породы, необходимо, как показали исследования, раздробить руду, в зависимости от ее минералогического состава, до максимального размера 0,25—0,17 *мм*, что соответствует 60—80 меш (американский термин «mesh» применяется для выражения степени тонкого измельчения, т. е. обозначения числа отверстий ячеек сита на 1 линейный дюйм).

Дальнейшее измельчение апатитовой руды теряет смысл, так как при величине зерна 60—80 меш разделение пустой породы от полезного минерала — апатита происходит достаточно совершенно. Естественно, что оптимальные для флотации апатита степень измельчения и размеры крупинок 0,25—0,17 *мм* относятся к наиболее крупным зернам в продукте измельчения. Остальные зерна будут меньше их, и размер наиболее тонко раздробленного зерна близок к нулю. Чем больше линейные допустимые размеры наиболее крупных зерен, тем меньше при прочих равных условиях в смеси содержится мельчайших зерен, или так называемых шламов. При величине наибольших зерен компонентов апатитовой руды 0,25—0,17 *мм* (что в пересчете по ситам дает 5—6% остатка на сите 65 меш, 8—10% — на сите 80 меш, 12—18% — на сите 100 меш и около 30% мелких классов, проходящих через сито 200 меш) разделение измельченной руды флотацией происходит довольно совершенно, т. е. концентрат может быть получен в пределах 39—39,5% фосфорного ангидрида, и потери в хвостах могут быть доведены до 3—4%.

Крупность измельчения апатитовой руды 60—80 меш является для нее «технологической», т. е. такой крупностью помола, которая необходима и достаточна для получения наилучших результатов обогащения, как с точки зрения качества концентрата, наименьших потерь в хвостах, наилучшего извлечения фосфорного ангидрида, так и с точки зрения наименьшего расхода на довольно дорогую операцию — измельчение.

Но для технологического процесса суперфосфатных заводов такая тонина концентрата оказалась не соответствующей: заводы предъявляют требования на апатитовый концентрат такой тонины, чтобы остаток на сите 80 меш был не более 1% или на сите 100 меш — не более 4% (размер отверстия сита 0,147 *мм*) и чтобы прохождение через сито 200 меш составляло не менее 52%. Выполнение обогатительной апатито-нефелиновой фабрикой требований по верхнему пределу, предъявляемых суперфосфатными заводами, приводит к значительному передрабливанию

руды, к получению чрезвычайно тонкого апатитового концентрата, дающего прохождение через сито 200 меш до 60—65% (размер отверстия сита 0,074 *мм*). Отрицательным фактором увеличения тонины помола является некоторое снижение качества апатитового концентрата из-за худшей флотируемости тонких классов (—200 + 250 меш и —250 меш), ухудшение работы фильтров при увеличении содержания тонких классов, уменьшение производительности фильтров, большие потери апатитового концентрата в уходящих дымовых газах сушилок, большие потери при распыле на погрузке.

Кировская обогатительная фабрика вынуждена измельчать руду не до крупности, определяемой технологическим процессом, а до крупности, соответствующей ее основным потребителям — заводам суперфосфатной промышленности СССР.

По проекту Механобра для первой очереди апатито-нефелиновой обогатительной фабрики была установлена следующая промышленная схема обогащения апатито-нефелиновой руды методом флотации. Руда в кусках крупностью 400—0 *мм* поступает с Кукисвумчоррского апатитового рудника на обогатительную фабрику. Здесь она подвергается в первую очередь предварительной операции — дроблению: вначале крупному в конической дробилке Телысмит (до 100—0 *мм*), далее — среднему в конической дробилке Саймонса (до крупности 20—0 *мм*). Степень сокращения — 5. Пройдя дробильное отделение, руда поступает в бункера, из последних питателями — в отделение тонкого измельчения, в стержневые мельницы, соединенные с реечным классификатором Дорра. В стержневых мельницах производится первая стадия тонкого дробления — с 20 *мм* до 20 меш (т. е. до 0,833 *мм*, степень сокращения 25). Слив крупности 20 меш — 0 с классификатора стержневой мельницы направляется во второй реечный классификатор Дорра, а пески +20 меш первого классификатора — в шаровую мельницу для доизмельчения во вторую стадию до крупности 80 меш — 0 (т. е. до — 0,175 *мм*). При работе стержневой мельницы в открытом цикле шаровая мельница работает в замкнутом цикле с третьим реечным классификатором, получающим в качестве питания пески первого и второго классификаторов и возвращающим свои пески обратно в шаровую мельницу. Сливы второго и третьего классификаторов технологической крупности 80 меш — 0 объединяются и направляются в основную флотацию. Подвергаясь крупному и среднему дроблению и тонкому измельчанию, куски апатитовой руды разной величины, начиная с 400 *мм*, доходят до величины порядка сотых миллиметра (0,147—0 *мм*).

Чтобы представить всю колоссальную работу, отводимую дроблению и измельчению апатитовой руды, достаточно посчитать суммарную степень измельчения для всех стадий дробления, начиная с крупного и кончая тонким измельчением. Если взять начальную (исходную) руду в 400 *мм*, а окончательный продукт в среднем порядка 100 меш, что соответствует 0,147 *мм*, то степень измельчения или сокращения выразится отношением 400 : 0,147 = 2700.

Классификация, представляющая процесс сортировки частиц различного размера и различного удельного веса на равномерные продукты, является в технологической части апатито-нефелиновой фабрики вспомогательной операцией. Ее цель — разделение песков от шламов (илов). Введение метода тонкого измельчения в замкнутом цикле позволяет отбирать на флотацию только часть продукта, измельченного до надлежащих размеров.

Под замкнутым циклом понимается работа мельницы с классификатором. Тонкий продукт отбирается классификатором и идет в слив и в дальнейшую переработку, а грубый, крупный продукт («пески») отбирается тем же классификатором и возвращается снова в мельницу для додрабливания.

На флотационной обогатительной фабрике совершенно не мыслится мельница, работающая без классификатора. Сочетание мельницы с классификатором — это стандартная аппаратура для тонкого измельчения на флотационных фабриках.

На практике работы первой очереди фабрики оказалось, что получать из первого классификатора стержневой мельницы слив крупностью 20 меш — 0 затруднительно. Обнаружилось, что второй классификатор в силу этого сильно перегружался. Одновременно выяснилось, что шаровая мельница также сильно перегружалась. С целью устранения этих недостатков запроектированная схема была изменена: на первой секции второй классификатор был совершенно выключен, а пески первого классификатора были разделены на две части, из которых большая часть была замкнута на стержневую мельницу, а в шаровую направлялась меньшая часть (примерно 15—20%).

Что касается второй секции первой очереди обогатительной фабрики, то материал после стержневой мельницы по проекту должен был классифицироваться в реечном классификаторе Дорра. Стержневая мельница должна была работать с ним в замкнутом цикле. Слив ее классификатора крупностью 20 меш — 0 должен был направляться в чашевый классификатор Дорра для отбора ила — слива крупностью 80 меш — 0 — для передачи во флотацию и песков +80 меш для подачи в шаровую мельницу, работающую с ним в замкнутом цикле.

Опыт работы показал, что тонко измельченная апатитовая руда имеет склонность к чрезмерно быстрому осаждению и что получение слива 80 меш — 0 из чашевого классификатора невозможно. Слив чашевого классификатора получался весьма тонким, крупностью —200 меш (—0,074 *мм*); чашевый классификатор, не проработав и часа, останавливался из-за чрезмерной перегрузки, из-за переполнения быстро осаждавшимся материалом. Увеличение скребков чаши классификатора не улучшило его работы. Чашевые классификаторы были изъяты, и во второй секции была осуществлена схема, аналогичная первой секции.

Характеристика материала, измельченного при проектной производительности по этой схеме, идущего во флотацию, была следующей: +65 меш — 6%, 65—80 меш — 3,9%, 80—100 меш — 10,5%, 100—150 меш — 18,9%, 150—200 меш — 19,1% и —200 меш — 41,5%.

Оборотная струя классификатора колебалась от 325 до 450%, в среднем примерно 425%. При работе шаровой мельницы на свежем питании, на материале после дробилки среднего дробления в замкнутом цикле с классификатором, характеристика по крупности материала, поступающего во флотацию, оказалась следующей: +65 меш —11,1%, 65—80 меш —5,1%, 80—150 меш —30,2% 150—200 меш —14,9% и —200 меш — 38,1%.

Весьма характерны данные проведенных фабрикой наблюдений, свидетельствующие, что технологические показатели работы флотационного отделения фабрики не изменяются существенно при довольно значительном увеличении крупности материала, направленного во флотацию.

Это обстоятельство дало основание предполагать, что при крупности — 48 меш (0,295 *мм*) апатитовая руда в отношении апатита приходит в разрыхление, сростки апатита с пустой породой в ней уже почти отсутствуют.

Как дробление, так и классификация на Кировской обогатительной фабрике в основном подготавливают материал—апатито-нефелиновую руду — для концентрации, не претендуя ни в какой мере на обогащение руды. Концентрация, представляя собой основной вид операций обогатительной фабрики, обогащает руду. В этом ответственном участке работы решается основная задача обогащения — извлечение наибольшего процента полезного минерала — апатита и отделение хвостов с наименьшим его содержанием. Здесь идет борьба за увеличение процента полезного минерала в апатитовом концентрате.

Одним из основных видов концентрации является молодая отрасль в обогащении — «флотация», вышедшая на одно из первых мест по сравнению с другими методами обогащения.

Флотация завоевала себе в передовых по технике странах доминирующее положение в области обогащения металлических руд. По данным Bureau of Mines этим методом обогащено в США в 1919 г. 26,5 млн. *т*, в 1928 г. — 47 млн. *т* руды.

Флотация с успехом применяется и для нерудных ископаемых (графит, уголь, сера в Шор-су, в Чекур-Каяше и др.). В СССР флотация за последние годы получила широкое развитие в области цветных металлов, серной промышленности; строятся флотационные фабрики для плавикового шпата, выстроены и работают с прекрасными техническими показателями первая и вторая очереди апатито-нефелиновой обогатительной флотационной фабрики в г. Кировске.

Основные причины все растущего значения флотационного процесса кроются в том, что при его применении достигаются: 1) максимальное извлечение полезного минерала и наиболее совершенное разделение рудных компонентов, 2) возможность получения высокопроцентного извлечения полезного минерала в концентрате из тонко измельченного материала, что не достигается мокрым процессом обогащения, 3) очень широкие возможности в отношении обогащения наиболее сложных по составу и трудно обогатимых по физическим свойствам руд, 4) автоматичность процесса, 5) возможность механизации всего цикла

обогатительных операций, 6) удешевление процессов обогащения вследствие улучшения работы.

Флотация представляет собой физико-химический метод обогащения. В флотационном процессе участвуют тонко измельченная руда, вода, пузырьки воздуха и реагенты. Руда должна быть измельчена до «технологической» крупности. Руда, измельченная грубее технологической крупности, содержит сростки полезного минерала с пустой породой. Такие сростки будут, с одной стороны, отчасти флотироваться вместе с концентратом и тем самым разубоживать его, с другой стороны, часть сростков останется в хвостах, вследствие чего последние будут богаты по содержанию в них полезного минерала.

Тонко измельченная руда подвергается энергичному перемешиванию с водой в особых аппаратах — машинах при помощи мешалки или струей сжатого воздуха, в зависимости от принципа работы флотационной машины.

В пульпу вводятся химические реагенты, которые в основном делятся на три группы: коллекторы (собиратели), вспениватели, присадки.

Вся жидкость в машинах вспенивается перемешивающим потоком пузырьков воздуха или механическим действием мешалки. Пустая порода, лучше смачиваемая водой, остается внутри жидкости и впоследствии падает на дно, а полезный минерал, который стараются извлечь, покрытый пленкой, образованной коллектором, плохо смачивается водой. Он легко пристает к пузырьку воздуха и поднимается последним на поверхность пульпы, образуя насыщенную пульпу. Пена, представляющая богатый концентрат, или сгребается специальными скребками или увлекается с поверхности ванны-машины через край в желоба и далее направляется на процесс обезвоживания.

Коллекторы — это в большинстве случаев органические соединения (масла), трудно растворимые в воде. Одна часть молекулы таких веществ является полярной (гидрофильной), другая — неполярной (гидрофобной). Например, молекула олеиновой кислоты, применяемой в качестве реагента при флотации апатитовой руды, $C_{17}H_{33}COOH$ состоит из полярной частицы COOH и неполярной углеводородной цепи $C_{17}H_{33}$. Коллектор должен иметь избирательное сродство именно к полезному минералу, вследствие чего он адсорбируется на поверхности частиц полезного минерала, образуя тончайшую пленку. Молекулы коллектора располагаются при этом так, что к полезному минералу бывает обращена полярная их часть, а к воде — неполярная. Частицы полезного минерала, покрытые такой гидрофобной пленкой, плохо смачиваются водой и приобретают склонность подниматься с пузырьками воздуха ванны в пену, независимо от их удельного веса.

Вспениватели имеют своим назначением уменьшать поверхностное натяжение жидкости. Благодаря им пена приобретает достаточную устойчивость для поддерживания и для поднятия приставших частиц полезного минерала. Ряд реагентов употребляется одновременно и как вспениватели и как коллекторы.

Присадки прибавляются в пульпу для подавления флотации пустой породы. Они представляют собой неорганические соединения (кислоты, щелочи, соли), распадающиеся в воде на ионы. При помощи присадки регулируют кислотность или щелочность пульпы, что имеет большое значение при флотации.

Флотореагенты при простой руде задаются или во флотационную машину или (в тех случаях, когда требуется некоторое время, после которого пульпа как бы обрабатывается) в контактные чаны — агитаторы. Назначение контактных чанов заключается в том, чтобы перед флотационной машиной подготовить действие реагентов на пульпу, создать нужное время для реакции, т. е. для контакта между зернами полезного минерала и данными реагентами.

Годными для флотации апатита реагентами являются: а) олеиновая кислота (остро дефицитная), керосин и жидкое стекло; б) торфяная смола, едкая щелочь и жидкое стекло. Наилучшим образом процесс протекал при применении первой группы реагентов.

Неплохих результатов добилась апатитовая фабрика к концу первого полугодия 1936 г., применяя в качестве реагентов торфяную смолу и асидол в смеси с керосином и, кроме того, щелочь.

В результате основной флотации на первой очереди обогатительной фабрики в г. Кировске получаются апатитовый концентрат и хвосты. Но концентрат основной флотации получается не чистым, а загрязненным примесями других компонентов, входящих в апатитовую руду, т. е. так называемый грубый концентрат. Хвосты, в свою очередь, также не свободны от содержания в них апатита, в силу чего и апатитовый концентрат и хвосты подвергаются на флотационной фабрике перечистке.

Перечистка грубых концентратов дает, с одной стороны, чистый апатитовый концентрат с содержанием 39,2—39,5—39,8% P_2O_5, с другой стороны, — промежуточный продукт, представляющий среднее между концентратом и хвостами.

Хвосты основной флотации в результате двойной перечистки дают также два продукта: промпродукт и окончательные хвосты. Последние идут в основном в р. Белую, а частично на дальнейшую обработку с целью извлечения из них нефелинового концентрата или для получения сухих нефелиновых хвостов для сельского хозяйства.

Промпродукты объединяются в одном месте и снова подвергаются перечистке; один из продуктов перечистки промпродуктов направляется в грубый концентрат для доработки, другой — хвосты — направляется к первым хвостам также для дальнейшей переработки.

Получением чистых концентратов и хвостов заканчивается процесс собственно флотации. При исходной апатитовой руде с содержанием около 26% P_2O_5 коэфициент обогащения

$$\frac{39{,}2\%}{26{,}0} = 1{,}51.$$

Чем богаче фосфорным ангидридом исходная апатитовая руда, тем выше расчетный, т. е. технологический выход апатитового концентрата, тем, наоборот, меньше расходный коэффициент рядовой апатитовой руды на тонну апатитового концентрата.

Пользуясь основной формулой для определения расчетного выхода апатитового концентрата

$$\gamma = \frac{\alpha - \vartheta}{\beta - \vartheta} \cdot 100,$$

где α — содержание P_2O_5 в руде, β — содержание P_2O_5 в концентрате, ϑ — содержание P_2O_5 в хвостах, определим γ — расчетный или технологический выход концентрата для примера для трех разностей руд: а) кируновариской апатитовой руды (Шведская Лапландия), содержащей в среднем $\alpha = 5{,}17\%$ P_2O_5, б) сетчатой апатитовой разности с содержанием $\alpha = 13\%$ P_2O_5 и в) богатой апатитовой пятнистой разности с содержанием $\alpha = 29\%$ P_2O_5 Кукисвумчоррского месторождения Хибинской тундры. Задавшись содержанием P_2O_5 в концентрате $\beta = 39{,}2\%$ и в хвостах $\vartheta = 3\%$, получим расчетные выхода апатитового концентрата для Кируновара $\gamma = 6\%$, для сетчатой разности $\gamma = 27{,}6\%$ и для богатой пятнистой разности $\gamma = 71{,}8\%$.

Соответственно расход апатитовой руды для выработки 1 *т* высокопроцентного апатитового концентрата с 39,2% P_2O_5 составит по Кируновара (Швеция) 17 *т*, по кукисвумчоррской бедной руде сетчатой разности — 3,62 *т* и по кукисвумчоррской богатой пятнистой руде — 1,4 *т*. Приведенный расчет наглядно иллюстрирует, какие преимущества имеет разрабатываемая в СССР пятнистая апатитовая руда Кукисвумчоррского месторождения Хибинских тундр в сравнении с бедными апатитовыми рудами большинства апатитовых месторождений других стран.

Первая очередь обогатительной фабрики была запроектирована с целью выпуска апатитового концентрата двух сортов с содержанием 39,5 и 37,8% фосфорного ангидрида, при содержании нерастворимого остатка в первом случае 1,4—2%, во втором 4,5—5%. Получение концентратов двух сортов обусловливалось предполагавшимися выгодами при переработке апатитового концентрата на суперфосфат. К моменту пуска первой очереди фабрики выяснилось, что получение апатитовых концентратов двух сортов не имеет основания. Вследствие этого схема флотации была изменена: концентрат первых восьми отделений флотационной машины Фаренволд, предполагавшийся по проекту к выпуску второго сорта концентрата, был направлен совместно с концентратом первой машины в пятую. Из последней и начал получаться один для всей секции высокопроцентный апатитовый концентрат.

Апатитовый концентрат, полученный в результате флотации на первой очереди обогатительной фабрики, направлялся в отделение сгущения, обезвоживания, в котором проделывалась заключительная работа по подготовке сухого концентрата для отправки суперфосфатным заводам.

По проекту Механобра процесс обезвоживания предусматривал по первой очереди фабрики две операции: так называемое предварительное сгущение и фильтрацию и после них — сушку концентрата.

Предварительное сгущение и фильтрация, выполняя по существу одну и ту же задачу, имеют разницу в неравнозначности операций. Предварительное сгущение представляет довольно вялый, пассивный процесс, процесс же фильтрации — активный, дающий возможность окончательно отделить всю ненужную излишнюю влагу перед поступлением апатитового концентрата в сушку. Для уменьшения потерь тончайших частиц апатитового концентрата, выносимых дымовыми газами сушилок, на первой очереди фабрики предусмотрены циклоны.

Подачей сухого апатитового концентрата на склад фабрики для отправки его на суперфосфатные заводы СССР заканчивалась вся работа, вся схема технологического процесса первой очереди обогатительной фабрики. От сырого куска апатитовой руды с средним содержанием около 26% фосфорного ангидрида до высокосортного апатитового сухого концентрата с содержанием 39,2—39,8% фосфорного ангидрида — таков путь, по которому должна протекать работа Кировской апатито-нефелиновой обогатительной фабрики.

При проектировании и строительстве пяти секций второй очереди обогатительной фабрики общей мощностью 800 тыс. *т* апатитового концентрата в год учтен был опыт и недостатки работы первой очереди фабрики. В технологическую часть фабрики был внесен ряд существенных изменений с целью упрощения процесса и доведения до минимума потерь концентрата. Последние достигали по первой очереди фабрики значительных размеров — 8—12%. Они получались вследствие неудовлетворительной работы отделения сгущения и неподходящей пылеулавливающей аппаратуры. Последняя, представленная циклонами, не справлялась с улавливанием наиболее мелких частиц готового апатитового концентрата, выносимых дымовыми газами сушильных барабанов.

Главнейшие изменения, внесенные при проектировании и строительстве в технологическую часть второй очереди апатито-нефелиновой обогатительной фабрики, были следующие:

1. Введение процесса грохочения перед дробильными агрегатами для повышения эффективности работы дробилок.

2. Отказ от двухстадиального тонкого измельчения в стержневой и в шаровой мельнице и переход на одностадиальное тонкое измельчение. Благодаря этому изменению схема измельчения второй очереди фабрики выгодно отличается от таковой первой очереди своей крайней простотой.

3. Отказ от операции предварительного сгущения концентрата в связи с неудовлетворительной работой сгустителей Дорра и Гентера на первой очереди фабрики и в связи с выявленной возможностью получать от флотационных ванн апатитовый концентрат с разбавлением, вполне подходящим для обработки его непосредственно на фильтрах, без предварительного сгущения.

4. Отказ от циклонов, установка взамен их специальных фильтров для улавливания пылеобразного апатитового концентрата. Намечавшиеся для этой цели камеры с насадкой из круглого камня, орошаемого водой, не были осуществлены. Вместо них в процессе строительства и монтажа второй очереди фабрики были спроектированы и смонтированы электрофильтры Коттрель для улавливания пылеобразного апатитового концентрата.

Вторая очередь обогатительной фабрики, работающая в основном по схеме первой очереди, но с внесенными в нее существенными изменениями, заключающимися в устранении излишних звеньев аппаратов и устранении ненужных операций, отличается от двух секций первой очереди простотой и лучшей компановкой аппаратуры.

2. АППАРАТУРА, ПРИМЕНЯЕМАЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ОБОГАЩЕНИИ АПАТИТА

Для крупного и среднего дробления апатитовой руды, поступающей с апатитового рудника им. С. М. Кирова на апатитово-нефелиновые обогатительные фабрики, выбраны конические дробилки Тельсмит № 20-А (для крупного дробления) и Саймонс 5½′ (для среднего дробления), работающие по принципу прерывного нажатия.

Руда, поступающая в них, подвергается дроблению лишь в момент схождения дробящих конусов, из которых один неподвижен, а другой описывает заостренную коническую поверхность. В моменты расхождения конусов руда дроблению не подвергается. Работают дробилки при отсутствии больших вибрирующих движений и резких толчков.

Степень измельчения в дробилках Саймонс регулируется ввинчиванием и вывинчиванием рамы неподвижного конуса (его поднятием или опусканием). Основным отличием дробилки Саймонс от других конических дробилок является иное расположение конусов. Последние располагаются так, что образуют параллельную зону. Это обстоятельство позволяет доводить степень сокращения до 20. Дробилки Тельсмит имеют ременные приводы от отдельных моторов по 100 *л. с.*, 3000 V и 750 об/мин. Практически было установлено в первые годы работы, что при выпускной щели в 75 *мм* производительность дробилки Тельсмит № 20-В составляет в среднем 150 *т* апатитовой руды в час с колебаниями от 130 до 170 *т* в час. Расход мощности при нормальной работе определен в 57,3 kW. Дробилки Саймонс для среднего дробления, при разгрузной щели 14—20 *мм* и при установленных перед ними подвижных грохотах системы Баума с шириной щели 30 *мм* достигали производительности по руде 200 *т* в час. Приводятся они каждая от мотора в 150 *л. с.*, 3000 V, 750 об/мин. Расход мощности при нормальной работе дробилки Саймонс составляет 45,04 kW. Выходящая из дробилки Саймонс дробленая апатитовая руда имела при выпускном отверстии 15 *мм* следующую характеристику: +19 *мм* — 8,48%, 19—13 *мм* — 17,53%, 13—10 *мм* — 11,39%, 10—6 *мм* — 17,28%, 6—2,5 *мм* — 14,72%, 2,5—0,5 *мм* — 15,89% и 0,5 *мм* — 14,71%.

Такая характеристика крупности материала после дробилок не является, конечно, на апатитовой фабрике постоянной, в связи с большим разнообразием крупности начальной руды, поступающей на фабрику.

Для тонкого измельчения апатитовой руды, осуществляемого на первой очереди фабрики в две стадии, выбраны были стержневые мельницы, изготовленные фирмой Томпкинс по типу мельницы Алис-Чалмерс, имеющие размеры 1,52 *м* × 3,05 *м* (5′ × 10′), приводимые через шевронную передачу непосредственно от мотора 100 *л. с.*, 3000 V, 375 об/мин фирмы Дженерал Электрик Ко, установленного на железобетонном фундаменте.

Для второй стадии тонкого измельчения были выбраны шаровые мельницы, приводимые также через шевронную передачу непосредственно от мотора 125 *л. с.*, 3000 V, 375 об/мин. Стержневые мельницы сконструированы так, что имелась возможность при помощи незначительных перемен (смена футеровки, горловины и приводных зубчаток) работать как шарами, так и стержнями. Стержневые мельницы вскоре после пуска фабрики, после расхода стержней были переключены на работу в качестве шаровых мельниц. Шаровые мельницы при шаровой нагрузке делают 29 об/мин, фактический расход мощности на шаровых мельницах 69 kW, на стержневых — 57,12 kW. Производительность каждой секции в составе двух стержневых и двух шаровых мельниц выражается по первой очереди фабрики в 650 *т* в сутки при крупности продукта 35—40% +200 меш и 15—20% +100 меш, направленного во флотацию.

Регулировка работы стержневых и шаровых мельниц велась посредством изменения соотношения дробящего материала (шаров, стержней), большей или меньшей подачей руды, изменением соотношения твердого к жидкому (Т : Ж).

Для второй очереди обогатительной фабрики выбраны шаровые мельницы крупных размеров 2,13 *м* × 3,05 *м* (7′ × 10′) с проектной производительностью не менее 275 *т* руды в сутки каждая. Мощность моторов мельниц по 250 *л. с.*

Мельницы работают в замкнутом цикле с реечным классификатором Дорра. Для достижения производительности 200—220 *т* на каждый классификатор, учитывая увеличение оборотной воды при переходе на одностадиальное измельчение, установили на второй очереди фабрики стандартные реечные классификаторы 2,44 *м* × 7,94 *м* (8′ × 26′). Скорость гребков классификатора влияет на степень взмучивания пульпы, препятствует оседанию песка и способствует уходу илов.

На первой очереди обогатительной фабрики в качестве флотационных машин были выбраны на одной ее секции машины с комбинированной агитацией Фаренволд, а на другой ее секции — пневматические машины Мак-Интош.

Флотационные машины Фаренволд (рис. 38) приняты 12-камерные № 24 с моторами 10 *л. с.* на каждые две камеры фирмы Алис-Чалмерс, с приводом через клинчатые резиновые ремни. Из пяти машин Фаренволд первая секция первой очереди фабрики располагала тремя односливными и двумя двухсливными.

Что касается пневматических флотационных машин Мак-Интош, то следует упомянуть, что на обогатительной фабрике в г. Кировске установлены машины этого типа последней модели, выгодно отличающейся от старых моделей наличием чрезвычайно простых сальников и ротором, покрытым перфорированной резиной. На машинах Мак-Интош установлены скребки для снятия пены. Привод от отдельных моторов $1^1/_2$ *л. с.* — через червячный редуктор. Из десяти флотационных машин Мак-Интош второй секции первой очереди фабрики две имеют размер 0,5 *м* × 9,1 *м* (20″ × 36″), четыре — 0,38 *м* × 9,1 *м* (15″ × 36″) и остальные четыре — 0,38 *м* × 6,1 *м* (15″ × 24″).

На второй очереди обогатительной фабрики были установлены для флотации для всех пяти секций те же флотационные машины Мак-Интош (рис. 39) с резиновыми покрышками рото-

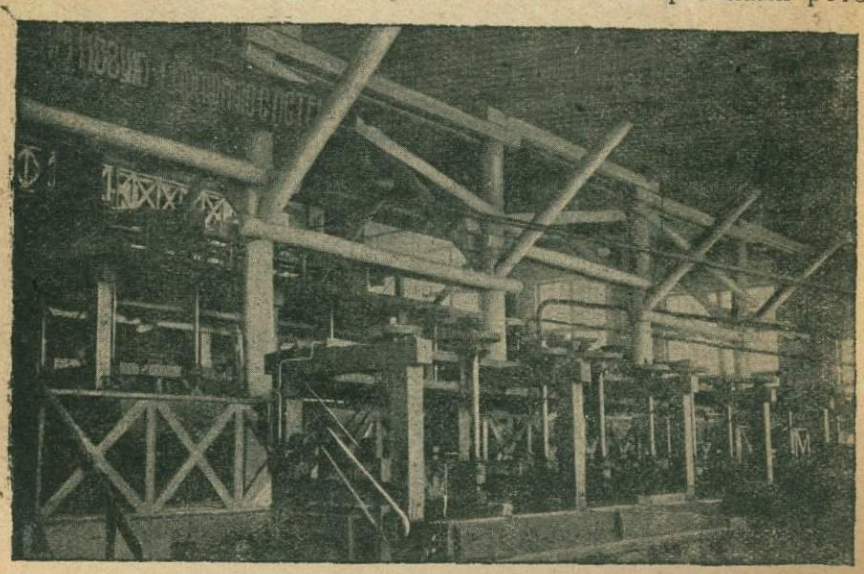


Рис. 38. Флотационные машины Фаренволд

ров и новым типом крайне простых и хорошо работающих сальников.

Для предварительного сгущения апатитового концентрата на первой очереди фабрики были установлены сгустители Дорра и кроме них сгустители Гентера, представляющие более совершенную разновидность аппаратов для предварительного сгущения. Установленные в каждой секции по два 6,1-метровые сгустители Дорра оказались мало эффективными в работе. Они сильно перегружались вследствие весьма быстрого осаждения материала, вызывавшего заиливание сгустителя.

Сгустители Гентера (рис. 40), в которых удаление излишней влаги концентрата ведется путем вакуума — отсасывания, были выбраны для первой очереди фабрики размером по 70 $м^2$ фильтрующей поверхности с мотором 2 *л. с.*, 675 об/мин. Диаметр сгустителя Гентера с поверхностью 70 $м^2$ равен 3,65 *м*.

Малая занимаемая площадь является отличительной особенностью сгустителей этой системы.

Отдельными деталями сгустителя Гентера являются: 1) чан; в нем устанавливаются рамы с трубками, на которые надевается ткань (чулки), 2) центральный автоматический клапан, 3) часовой механизм клапана и 4) трубопроводы. В чан сгустителя опускаются рамы с надетой тканью. Рамы сгустителя расположены по радиусу. Вследствие постоянного отсасывания, которое создается циклоидальным вакуум-насосом, на чулках по всей поверности их оседает концентрат, не имея возможности проникнуть через плотную ткань чулка. Следующей операци-

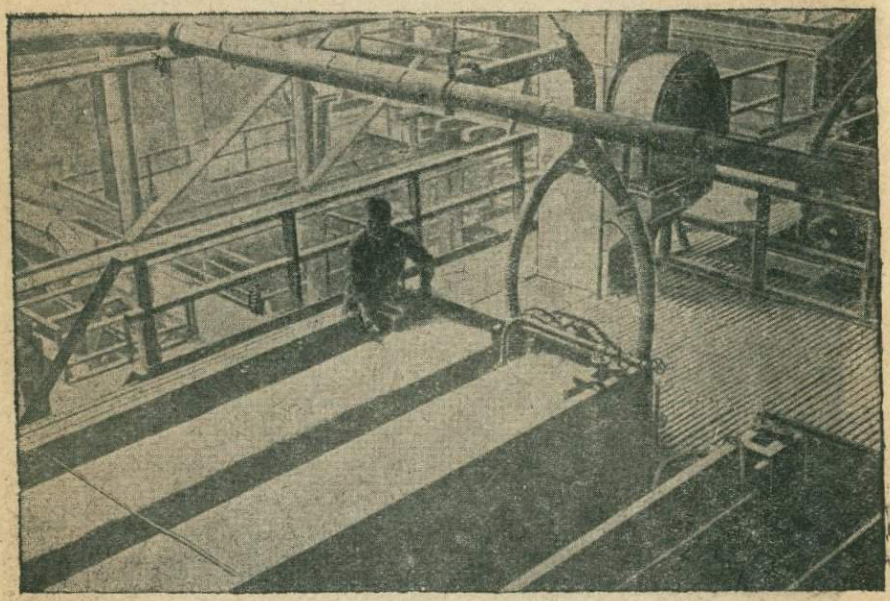


Рис. 39. Флотационные машины Мак-Интощ

ей — отдувкой — отделяется приставший к чулкам в виде кэка концентрат. Кэк падает вниз, где, подобно сгустителю Дорра, работают скребки.

Быстрота, с которой происходит сгущение, — главнейшее преимущество сгустителей Гентера перед сгустителями Дорра. Основным недостатком сгустителей Гентера является сложность их устройства. На второй очереди обогатительной фабрики как сгустители Дорра, так и сгустители Гентера отсутствуют.

Функции фильтрации на первой очереди обогатительной фабрики выполняли по три на секцию вакуум-фильтры системы Американ, шестидисковые с диаметром диска 150 *мм*, с моторами по 3 *л. с.*

Отличительными особенностями фильтров Американ являются простота, легкость конструкции, спокойная работа, несложность управления, возможность быстрой смены фильтровальной ткани или сетки на отдельных секторах-дисках.

На второй очереди обогатительной фабрики на основании испытаний в Магдебурге вместо дисковых вакуум-фильтров Америкен были установлены барабанного типа фильтры Вольфа значительных размеров — 3000 × 3300 *мм*. Фильтрующая их поверхность — металлическая, в виде сеток 180 меш из фосфористой бронзы. На каждую секцию второй очереди обогатительной фабрики было установлено по два фильтра Вольфа, а всего по фабрике второй очереди — десять фильтров.

Для сушки апатитового концентрата на первой очереди обогатительной фабрики применены вращающиеся барабанные сушильные печи системы Рогл-Косс фирмы Гардинж, размером

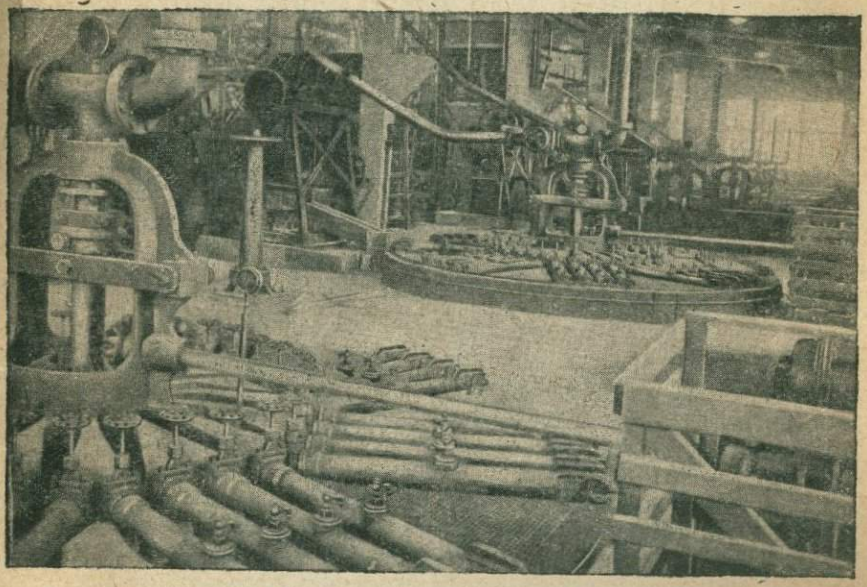


Рис. 40. Сгустители Гентера

каждый сушильный барабан 70″ × 30′ с приводом через червячный редуктор от мотора 25 *л. с.* На первой очереди фабрики таких сушильных барабанов шесть, на каждую секцию по три. На второй очереди обогатительной фабрики выбраны для сушки концентрата такие же цилиндрические барабанные вращающиеся сушилки с непосредственным обогревом, но более крупного размера — диаметром 2,4 *м*, длиной 12 *м*. Число их на второй очереди фабрики — десять, на каждую секцию установлено по две сушильных печи.

Для пылеулавливания приняты на первой очереди фабрики циклоны, на второй очереди фабрики смонтированы электрофильтры Коттрель.

Из остального оборудования обогатительных фабрик следует отметить: а) пластинчатые транспортеры фирмы АТГ шириной 1 100 *мм*, длиной 26 *м*, с непосредственным приводом от мотора 32 *л. с.*, соединяющие с дробильным корпусом фабрики завалочный бункер, в который поступает руда с рудника;

б) подвесные электромагниты Динг-Магнетик с питанием от мотора генератора постоянного тока; в) воздуходувки системы Рутса № 4 с индивидуальным приводом через текстроп от моторов в 40 *л. с.*; г) автоматические весы и автоматические опробователи; д) вентиляторы; е) дражные насосы, песковые насосы, центробежные насосы; ж) целый ряд горизонтальных и наклонных транспортеров; з) элеваторы, шнеки и поперечно двигающийся катучий шнек специальной конструкции для разгрузки склада апатитового сухого концентрата.

Перечень аппаратуры, установленной на обогатительной фабрике для флотации апатитовой руды, дает представление о той широкой механизации всего цикла обогатительных процессов, которая имеет применение в Кировске на флотационных фабриках. Вторая очередь обогатительной апатито-нефелиновой фабрики в части аппаратов отличается от первой очереди более крупными размерами ряда аппаратов, более стройным их расположением, отсутствием сгустителей Дорра, сгустителей Гентера, отсутствием шаровых мельниц для второй стадии тонкого измельчения и другим типом фильтров для операции фильтрации апатитового концентрата.

3. ОПИСАНИЕ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК, РАБОТАЮЩИХ В г. КИРОВСКЕ

Существующие две очереди апатито-нефелиновой обогатительной фабрики в г. Кировске состоят из цехов: дробильного, мельнично-флотационного, сгустительно-сушильного и складов апатитового концентрата с погрузочными устройствами. Дробильный цех, расположенный в отдельном корпусе, является общим для первой и второй очереди фабрики, потребляющих в сутки до 5500 *т* апатитовой руды, поступающей с апатитового рудника. На первой очереди фабрики сгустительно-сушильный цех находится в корпусе, расположенном отдельно от мельнично-флотационного цеха, а на ее второй очереди мельнично-флотационное отделение фабрики и отделение для фильтрации и сушки удалось удобно разместить в одном корпусе, благодаря отказу от установки сгустителей Дорра и сгустителей Гентера и благодаря переходу на одностадиальное тонкое измельчение. Более компактное расположение аппаратуры на второй очереди обогатительной фабрики в сравнении с ее первой очередью значительно упрощает ведение технологического процесса и облегчает проведение текущего и планово-предупредительного ремонта.

Дробильный цех, общий для обеих фабрик, находится в отдельном деревянном здании. Он соединяется галлереями с одной стороны с завалочным бункером, с другой стороны с бункерами дробленой руды отделения тонкого измельчения. Завалочный бункер для исходной руды, поступающей с рудника, представляет собой железобетонное сооружение и имеет для выпуска руды две ячейки. Завалочный бункер для предохранения его стенок обшит с внутренней стороны броневым железом толщиной 12 *мм*. В проекте не была предусмотрена обшивка стен железом, но опыт ра-

боты показал, что без нее из-за абразивного действия апатитовой руды стенки быстро изнашиваются. Завалочный бункер заполняется рудой непосредственно из железнодорожных вагонов, прибывающих по железнодорожной ветке со ст. Нефелин. Вагоны подаются на бункер. Одновременно могут разгружаться два нормальных железнодорожных вагона.

Завалочный бункер и дробильный корпус построены из расчета обслуживания целиком первой и второй очереди фабрики. Апатитовая руда из разгрузочных отверстий двух ячеек бункера поступает на два стальных пластинчатых транспортера длиной каждый по 26 *м*. Пластинчатые транспортеры установлены под углом 26° к горизонту; ширина их пластин 1100 *мм*, высота пластин 350 *мм*. Приводится в движение каждый транспортер через редуктор от мотора 40 *л. с.*, 380 V, 1000 об/мин. При подаче на фабрику сухой руды пластинчатые транспортеры работают хорошо, но при поступлении на них влажной мелкой руды наблюдается налипание части руды к пластинам и происходит осыпание руды на нижней ветви транспортера. В связи с неравномерным прибытием руды с рудника транспортеры приходится останавливать. При отсутствии тормоза в эти моменты получается обратный ход, в результате чего часть руды сваливается перед транспортером и тем самым создает затруднения для правильной его работы. Апатитовая руда, принятая пластинчатыми транспортерами, перемещается к дробилкам крупного дробления Тельсмит № 20-В. последние поступает материал крупнее 100 *мм*; более мелкий материал, отсеянный колосниковым грохотом размером 1,5 *м* × 3 *м* с шириной щели 100 *мм*, не проходя дробилок, соединяется с материалом, прошедшим дробилку. Из-под каждой дробилки Тельсмит раздробленная до 100 *мм* руда перемещается к 5½′ дробилкам Саймонс двумя ленточными транспортерами шириной 600 *мм*, длиной 16 и 7,5 *м*, установленными под углом 18°. Перед дробилками Саймонс находятся подвижные грохота системы Баума с шириной щели 30 *мм*. Их установка обусловлена принципом «не дробить ничего лишнего». Благодаря наличию грохотов Баума производительность каждой дробилки Саймонс повышается и достигает до 200—220 *т* в час.

Для обеспечения бесперебойной работы обогатительных фабрик в дробильном корпусе был установлен в дополнение к двум имевшимся агрегатам дробилок Тельсмит и Саймонс один резервный дробильный агрегат, т. е. третья дробилка Тельсмит и третья дробилка Саймонс.

Для предохранения конических дробилок Саймонс от попадания в них железных предметов на ленточных транспортерах помещены подвесные двухполюсные 24″ электромагнитные сепараторы Динг-Магнетик (рис. 41). Свое назначение они с успехом выполняют: не допускают аварий дробилок от попадания металлических предметов, могущих оказаться в руде, отгруженной рудником.

Апатитовая руда, пройдя дробилки среднего дробления Саймонс, поступает на наклонные ленточные транспортеры шириной 600 *мм*, установленные под углом 20°, с них передается на

сборный горизонтальный ленточный транспортер шириной 900 *мм*. Далее руда перегружается на транспортер шириной 900 *мм*, на наклонный под углом 16° с наклонной длиной 60 *м*, поднимается и далее по горизонтальному транспортеру шириной 900 *мм*, длиной 180 *м* разгружается в бункера дробленой руды помощью автоматической двухсторонней сбрасывающей тележки фирмы АТГ с приводом от отдельного мотора в 15 *л. с.* При наклонном транспортере 60-метровой длины, снабженном автоматическим электромагнитным тормозом, установлен автоматический взвешиватель фирмы Шмидт для фиксирования точного количества руды, принятой в обогатительную фабрику. Горизонтальный транспортер длиной 180 *м*, $v = 1{,}35$ *м/сек* рассчитан на часовую производительность 500 *т* в час, т. е. на работу двух дробильных агрегатов по 200 *т* в час, с учетом коэфициента неравномерности и запаса 1,25.



Рис. 41. Ленточный транспортер в дробильном цехе

Неразрывно с работой дробильного цеха и правильным функционированием бункеров дробленой руды, емкость которых по фабрике составляет для первой очереди 3500 *т* и для второй очереди 10000 *т* руды, связан вопрос о рудной «мелочи». В сырую и дождливую погоду поступающая на фабрику рудная мелочь содержит довольно много влаги. В морозное время года, довольно длительное в условиях Хибин, это влага доходит до 10%. Согласно определениям инж. Черного (Научный институт по удобрениям), предельная влагоемкость апатитовой руды в зависимости от ее крупности составляет для руды крупностью 500—50 *мм* — 0,6, 50—25 *мм* — 0,9, 25—10 *мм* — 2,7, 10—4 *мм* — 3,8 и 4—0 *мм* — 13,0, т. е. количество влаги в руде значительно возрастает с уменьшением ее крупности. При открытом способе разработок апатитового месторождения Кукисвумчорра не исключена возможность увеличения влаги в руде за счет попадания льда и снега. Холодное время года неблагоприятно для работы дробилок и для бункеров дробленой руды. Главной причиной имевших место неполадок и остановок дробилки Саймонс, как выяснено, было намерзание руды в воронках с изношенной футеровкой. Неполадки ликвидировали установкой парового отопления в дробильном корпусе и обеспечением дробилок запасными воронками для замены износившихся.

В бункерах дробленой руды последняя смерзается, и, несмотря на попытки одновременного отепления бункеров снаружи и их ячеек, все же приходится прибегать к шурованию дробленой руды в холодное время года. Эти трудности необходимо учитывать при проектировании флотационных фабрик для фосфоритов. Пока этот вопрос не получил на обогатительной фабрике в Кировске коренного технического разрешения. Переход в ближайшие годы апатитового рудника на подземный способ работ может в значительной мере ликвидировать затруднения, сопряженные со смерзаемостью руды открытой добычи.

Мельнично-флотационный цех первой очереди фабрики был оборудован в составе отделений: тонкого измельчения, флотации с сгустителями Дорра для промежуточного сгущения концентрата, реагентной и водонапорного бака. Цех состоял из двух секций: 1) левой по ходу материала, оборудованной двумя стержневыми мельницами, шестью классификаторами Дорра, двумя шаровыми мельницами, стоящими в отделении тонкого измельчения на уступ ниже, пятью флотационными 12-камерными машинами Фаренволд, одним самоходным кареткового типа сгустителем Дорра, и 2) правой секции с установленными двумя стержневыми мельницами, двумя реечными классификаторами, двумя чашевыми, замененными вскоре после пуска реечными классификаторами, двумя шаровыми мельницами, десятью флотационными машинами Мак-Интош и одним сгустителем Дорра.

Подача материала из бункеров дробленой руды в стержневые мельницы каждой секции первой очереди фабрики осуществлялась десятью питателями Саутс-Вестерн шириной 350 *мм*, приводимыми от трансмиссии, помощью двух сборных ленточных транспортеров, движущихся один навстречу другому, и поперечного наклонного ленточного транспортера шириной 350 *мм*, поднимающего дробленую руду в воронку для разделения в последней с помощью ножа на две части, поступающие в две стержневые мельницы. Установленный на наклонном траспортере автоматический взвешиватель давал показания веса руды, поступившей в переработку на секции, и обеспечивал контроль их работы.

Полученная в результате тонкого измельчения по описанной схеме пульпа направлялась с помощью песковых насосов в контактные чаны.

Из неполадок мельничного отделения первой очереди фабрики, имевших место в период его освоения, следует остановиться на неудовлетворительной работе классификаторов из-за их плохого качества и на обнаружившейся течи мельницы, особенно стержневых. Классификаторы были переделаны и стали работать нормально. Что касается течи мельниц, последняя, несмотря на все усилия (усиленная чеканка, расклинивание деревом футеровки, затяжка болтов на мягких прокладках и т. п.), не поддавалась устранению и давала мелкий материал, который, попадая на зубчатую передачу, вызывал ее износ. В конце концов швы мельниц, дававшие течь, были заварены электросваркой, и этим путем ликвидация течи мельниц была достигнута.

Производительность мельничного отделения двух секций первой очереди фабрики, рассчитанная на тонину измельчения 80 меш, составляла: 650 *т* × 2 секции = 1300 *т* руды в сутки.

В мельничном отделении второй очереди обогатительной фабрики (рис. 42) установлены в один ряд, вытянутый вдоль здания, 15 шаровых мельниц, более крупных, чем на первой очереди, по три мельницы в каждой секции, и с ними в замкнутом цикле по каждой секции три классификатора Дорра. Каждая мельница рассчитана по проекту на производительность до 275 *т* руды в сутки. Для питания мельниц дробленой рудой из бункеров установлены такие же, как и на первой очереди фабрики, питатели Саутс-Вестерн, по 12 на каждую секцию. Каждую мельницу обслуживают четыре таких питателя, горизонтальный ленточ-

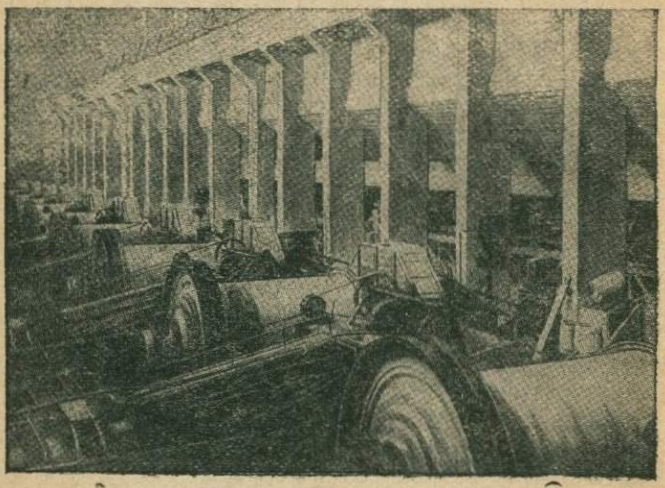


Рис. 42. Мельничное отделение 2-й очереди Кировской апатито-нефелиновой фабрики

ный транспортер (длиной 7 *м*, шириной 400 *мм*, $v = 0{,}7$ *м/сек*, мотор 2 *л. с.*) и поперечный наклонный транспортер к мельницам (длиной 9 *м*, шириной 400 *мм*, $v = 0{,}8$ *м/сек*, мотор 2 л. с.), поднимающий руду на высоту 2,7 *м*. На каждом наклонном транспортере к мельнице имеются автоматические весы для контроля и регулирования направляемой в мельницу тонкого измельчения апатитовой руды.

Производительность мельничного отделения второй очереди обогатительной фабрики по проекту 800 *т* × 5 секций = 4000 *т* руды в сутки, а фактически достижимая при стахановской организации работы — 4800 *т* в сутки, т. е. на 20% выше проектной.

В флотационном отделении первой очереди обогатительной фабрики были пущены в работу: на первой секции — флотационные машины с механической агитацией Фаренволд, на второй секции — флотационные машины с пневматической агитацией Мак-Интош последней модели. С самого начала работы выяснилось, что мотор в 5 *л. с.*, установленный по рекомендации фир-

мы Денвер на контактном чане, сильно перегружается. Моторы были заменены одновременно на первой и второй секциях более мощными. Фактически расход мощности на контактном чане после проверки оказался равным 5,15 kW.

Флотационные машины Фаренволд зарекомендовали себя в работе по флотации апатитовой руды с самой хорошей стороны, к достоинствам их относятся простота, несложность регулировки, бесперебойность их действия при работе фабрики. Как отрицательный момент для машин Фаренволд можно отметить забивание камер при случайных перерывах в работе фабрики из-за неподачи тока. Но это зависит не столько от конструкции машин, сколько от склонности апатитовой руды к чрезвычайно быстрому осаждению.

Крупным преимуществом флотационных машин Фаренволд является их довольно ровная работа. В то время как по машинам Мак-Интош наблюдалось резкое ухудшение процесса в моменты попадания на обогатительную фабрику разрушенной апатитовой руды (причем хвосты получались значительно более богатыми), на первой секции, оборудованной флотационными машинами Фаренволд, изменчивый состав поступавшей руды отражался незначительно.

Исходя из такой устойчивой работы машин Фаренволд, вторая очередь обогатительной фабрики, имевшая по проекту во всех пяти секциях для основной флотации и для перечисток концентрата и хвостов исключительно флотационные машины Мак-Интош, была вынуждена добавить к флотационным машинам Мак-Интош, установленным для флотации апатитового концентрата, флотационные машины Фаренволд для перечистки концентрата.

Последней модели флотационные машины Мак-Интош, установленные в количестве 10 машин на второй секции первой очереди фабрики, и 25 машин (5 секций по 5 штук) на второй очереди обогатительной фабрики, работают достаточно удовлетворительно: течь сальников не превышает допустимых норм; заиливание ротора, часто наблюдаемое в машинах Мак-Интош с полотняными роторами, в моделях с ротором, покрытым перфорированной резиной, отсутствует. Наблюдавшиеся в первые дни пуска машин Мак-Интош при употреблении олеиновой кислоты ненормальности с удалением пены были ликвидированы установкой специальных скребков для снимания пены.

Технологические показатели работы флотационных машин Мак-Интош и Фаренволд в пределах точности химических анализов почти не разнятся друг от друга.

Производительность 60 камер № 24 секции машин Фаренволд может доходить до 850 т в 24 часа. Однако продолжительная их работа с такой производительностью не выдерживалась в первые годы работы из-за перегрузки насосов, перекачивающих промежуточные продукты. На перегрузку насосов влияло употребление в качестве главного реагента олеиновой кислоты и жидкого стекла. Разбавление олеиновой кислоты керосином в значительной мере облегчило работу промежуточных насосов.

Применение керосина оказало влияние и на улучшение процесса флотации, результаты которой при низких температурах и ухудшенном качестве олеиновой кислоты ухудшились, и, кроме того, значительно снизило расход олеиновой кислоты.

При постройке второй очереди обогатительной фабрики отдано было предпочтение флотационным машинам Мак-Интош из следующих соображений: 1) при аварии с одной флотационной машиной Мак-Интош на той или иной секции исключается надобность в остановке всей секции, что было бы неизбежным при машинах Фаренволд; 2) при перерывах в подаче тока машины Мак-Интош не заиливаются, в то время как в камерах Фаренволд имеет место их забивание; 3) стоимость изготовления машин Мак-Интош, отличающихся простотой, ниже, чем машин Фаренволд; 4) машины Мак-Интош расходуют меньше электроэнергии. Общая длина роторов всех машин Мак-Интош, установленных на второй очереди обогатительной фабрики, составляет 70 *м*; нагрузка принята по проекту в 11,5 *т* на 1 *пог. м*. На первой очереди фабрики нагрузка машины Мак-Интош составляла 14 *т* на 1 *пог. м* длины ротора. Для снабжения флотационных машин Мак-Интош установлены: на первой очереди фабрики — три воздуходувки системы Рутса № 4 фирмы Стенс Инжиниринг Компани с индивидуальным приводом через текстроп от моторов Вестингауза 40 *л. с.*, на второй очереди фабрики — три рабочих воздуходувки Энке производительностью по 185 $м^3$/*час* и к ним две запасные воздуходувки.

На второй очереди обогатительной фабрики промежуточным звеном — буфером между флотационным отделением и отделением фильтрации — служат сборные чаны для хранения готового апатитового концентрата — пульпы флотационного отделения. В каждой секции установлено по два чана, всего на второй очереди фабрики — десять. Размер чанов 3,6 *м* × 3,6 *м* при рабочей высоте 3,3 *м*. Суммарный их объем составляет 67 $м^3$. Он достаточен для хранения апатитового концентрата не менее чем на 2 часа. В сборных чанах концентрат хранится с тем же отношением твердого к жидкому, как и в получаемом в флотационных машинах. Чаны помогают отделению и уничтожению пены. Этим самым они облегчают работу насосов Вильфлея, перекачивающих апатитовый концентрат в барабанные фильтры.

Промежуточного звена в виде сгустителей Дорра и сгустителей Гентера между флотационным и фильтровальным отделениями на второй очереди обогатительной фабрики не имеется. При строительстве ее от них отказались вследствие недостаточно удовлетворительной и мало эффективной работы сгустителей на первой очереди фабрики. На последней были установлены в каждой секции по одному сгустителю Дорра для сгущения промежуточных продуктов.

Вследствие склонности апатитового материала к быстрому осаждению мотор сгустителя оказался сильно перегруженным, работа сгустителя оказалась напряженной даже после замены мотора на более мощный (в 5 *л. с.*) и после увеличения вдвое

числа оборотов скребков. Работа сгустителя Дорра оказалась неудовлетворительной и с технологической стороны. В его сливе, имевшем характеристику по крупности +65 меш — 5,7%, 65—80 меш — 2,9%, 80—100 меш — 8,6%, 100—150 меш — 12,8%, 150—200 меш — 14,3% и —200 меш — 55,7%, содержание влаги составило 98,8%, содержание фосфорного ангидрида в его твердой фазе достигало 21,7—22,2%. Вследствие наличия в сливе такого богатого фосфорным ангидридом продукта, присоединявшегося к хвостам, идущим в р. Белую от флотационных машин, хвосты обогащались на 1,5—2% фосфорным ангидридом и потери последнего с хвостами возрастали.

Что касается нижнего продукта сгустителя Дорра, то содержание в нем влаги составляло в среднем 76%, содержание фосфорного ангидрида — 13—13,5% и характеристика его по крупности выражалась: +65 меш — 13,8%, 65—80 меш — 6,2%, 80—100 меш — 14,7%, 100—150 меш — 10,5%, 150—200 меш — 15,9% и — 200 меш — 23,3%.

Общее количество материала, поступавшего в сгуститель Дорра одной секции первой очереди фабрики, составляло около 18% от исходного тоннажа апатитовой руды, перерабатываемой секцией. И с количественной и с качественной стороны работа сгустителей Дорра оказалась мало эффективной, и они были выключены из цепи аппаратов фабрики.

Кроме сгустителей Дорра, на первой очереди фабрики сооружен отдельный корпус, в котором помещается сгустительный цех фабрики. Соединительным звеном между отдельными корпусами фабрики мельнично-флотационным и сгустительным — служат трубы, по которым флотационный концентрат передается в сгустительный цех первой очереди фабрики, в сгустители Гентера. Последних в цеху установлено на две секции шесть по 70 м² фильтрующей поверхности каждый. От каждого сгустителя Гентера сгущенный концентрат передается 4″ насосом Доррко (всего шесть) в буферный чан (по одному на два сгустителя Гентера). Из буферных чанов флотационной апатитовый концентрат поднимается на первой очереди фабрики в вакуум-фильтры Американ с помощью ленточных элеваторов (всего три) Стивенс Адамсон с приводом через трансмиссию.

С самого начала работы сгустителей Гентера выяснилось, что они дают довольно обильный слив. Последний в сгустителях Гентера должен был получаться чистым, не несущим в себе твердых частиц. На самом деле содержание твердой фазы в сливе доходило до 2%. Это обусловливалось разрывами в чулках вследствие неудовлетворительного качества ткани. Вследствие специфических особенностей апатитового концентрата и сложности устройства сгустителей Гентера их работа оказалась довольно напряженной и требующей бдительного надзора. Содержание влаги в апатитовом концентрате после выхода последнего из флотационных машин оказалась, по определению, 45—47%. Нормально получавшееся содержание влаги после сгустителей было 40%; при попытках получать более сгущенный материал возникали значительные затруднения. Такая работа сгу-

стителей Гентера заставила изыскать способы непосредственной подачи концентрата из флотационных машин в вакуум-фильтры без разбавления его водой, и отказаться от установки сгустителей Гентера на второй очереди обогатительной фабрики.

Это позволило обойтись по второй очереди обогатительной фабрики без отдельного корпуса для сгустительного цеха, разместить в одном корпусе мельницы, флотационные машины, барабанные фильтры Вольфа и сушильные барабанные печи.

Количественная схема с указанием цепи аппаратов на фабрике второй очереди приведена на рис. 43.

Для фильтрации концентрата, поступающего после сгустителей Гентера из буферных чанов и содержащего 40% влаги, установлены в том же сгустительном цеху фабрики первой очереди шесть дисковых вакуум-фильтров, имеющих диаметр 150 *мм*.

Кэк поступает с элеватора на ленточные транспортеры шириной 600 *мм*, находящиеся над каждым вакуум-фильтром. Большие затруднения встретились в отношении подыскания фильтровальной ткани. В связи с довольно сильным абразивным свойством апатитового материала и забиванием ткани мельчайшими частичками апатита, вызывающим приостановку фильтрации, срок действия ткани невелик.

По этим причинам возникала надобность в частой очистке секторов воздухом или промывкой водой и в частой замене секторов. Более радикальной мерой борьбы для устранения обнаруженного забивания ткани апатитовой мелочью оказалась стирка фильтровальных салфеток с последующей их сушкой. В последующем на части дисков вауум-фильтров Америкен вместо фильтровальной ткани применялась металлическая сетка 180 меш из фосфористой бронзы.

Из оборудования отделения фильтрации первой очереди фабрики необходимо отметить воздуходувки для отдувки кэка, транспортируемого далее ленточным транспортером от вакуум-фильтра к сушильной барабанной печи, и три вакуум-насоса Ингерсоль-Ранд производительностью 63 $м^3/мин$ с моторами по 75 *л. с.* (два рабочих и один запасный).

Трудности, встретившиеся с подбором надлежащей фильтрующей ткани, наличие до 2—3% твердых частиц в фильтрате благодаря недоброкачественности ткани и, как следствие, сильный износ золотников послужил причиной, побудившей отказаться от установки на второй очереди обогатительной фабрики дисковых вакуум-фильтров.

После специальных испытаний для второй очереди обогатительной фабрики были выбраны крупные барабанные фильтры размером 3000 × 3300 *мм* с металлической сеткой 180 меш из фосфористой бронзы вместо фильтровальной ткани. На каждой секции фабрики по второй очереди имелось по два таких фильтра с фильтрующей поверхностью каждого по 25 $м^3$. По проекту, нагрузка их должна составлять 425 *кг* на 1 $м^2$ в час.

На каждую секцию установлено по одному вакуум-насосу, дающему 1,49 $м^3$ на 1 $м^2$ фильтровальной поверхности фильтров, по одной воздуходувке с производительностью 1 550 $м^3/час$

для отдувки кэка и по одному центробежному насосу производительностью 2 000 *л/мин* для откачки фальтрата.

От установленных на второй очереди фабрики десяти фильтров Вольфа требовалась хорошая бесперебойная работа. При принятой в расчетах средней нагрузке в 425 *кг* концентрата на 1 *м²* в час требовалась работа фильтроз в сутки в течение 24 час. Фактический износ, разрывы металлической сетки у барабанных фильтров оказались частыми, потеря времени на ее смену или на постановку заплат пропайкой — значительной. Наряду с этим имелись затруднения с получением в нужных количествах бронзовой сетки. Обогатительная фабрика вынуждена была пойти по линии подыскания для фильтрации подходящей фильтровальной ткани к барабанным фильтрам, по пути применения ткани вместо фильтров. Производительность отделения фильтрации второй очереди обогатительной фабрики не соответствовала производительности ее мельничного отделения. При наличии в каждой секции трех шаровых мельниц производительностью 11,5 *т* × 3 мельницы = 34,5 *т* апатитовой руды в час и при выходе концентрата по проекту в 64% нагрузка на каждый фильтр из установленных двух на секцию предусматривалась (34,5 . 0,64) : 2 = 11 *т* в час. По определениям фабрики, производительность фильтра в среднем достигала 9 *т* за час чистой работы. Простои фильтров составляли 20—25% чистого времени. Отделение фильтрации второй очереди фабрики являлось лимитирующим звеном для всей фабрики и требовало усиления. Единственным путем, на который встали на обогатительной фабрике, было включение в работу на второй очереди имевшихся в запасе четырех барабанных фильтров с фильтрующей поверхностью каждого 25 *м²*. Отличительной особенностью второй очереди фабрики является устройство аварийного склада для пульпы на случай перерыва в работе фабрики. Наличие этого склада гарантирует от потерь пульпы. В результате фильтрации, представляющей собой активный процесс отделения от концентрата всей ненужной влаги, апатитовый концентрат получается с содержанием 12—14% влаги. В связи с тем что суперфосфатными заводами предъявляется требование о максимальном снижении влаги в апатитовом концентрате, — доведении ее до 1—2%, — характерной операцией для первой и второй очереди апатито-нефелиновой обогатительной фабрики является сушка апатитового концентрата.

От вакуум-фильтров Американ, работающих на первой очереди фабрики кэк подается ленточными транспортерами, шириной 600 *мм*, с приводом через трансмиссию от мотора 8,8 kW, к шести вращающимся барабанным сушилкам Рогл-Косс с непосредственным обогревом, с приводом каждой через червячный редуктор от мотора 25 *л. с.* Цилиндрические сушилки имеют на первой очереди размер 7″ × 30′. Топливом для них служили смешанные дрова; расход последних составлял 0,150—0,165 *м³* на тонну высушенного концентрата. Для выдачи сухого апатитового концентрата из сушилок были запроектированы шнеки (в каждой секции первой очереди по два, из них один рабочий, один запасный). Эти шнеки по проекту подают материал к середине сгустительно-сушильного

цеха, откуда с помощью продольных шнеков готовый апатитовый концентрат подается к элеваторам, установленным на складе концентрата.

Работа барабанных сушильных печей удовлетворяет при нормальной их загрузке требуемой производительности. Большое количество излишнего воздуха, засасываемого из шнека, загрузочных отверстий и т. д., нарушало тепловой баланс и приводило к ненормальной работе печей. Сушилки не допускали перегрузок их влажным материалом. Значительное увеличение температуры в такие моменты могло повести к искривлению колосников, перекашиванию, растрескиванию чугунных облицовочных плит у топок и полной деформации подовых плит. В моменты перегрева зубчатая передача работала ненормально.

На исправности работы отражалась апатитовая пыль, появившаяся в местах недостаточно плотных соединений у шнеков, убиравших из-под печей высушенный концентрат. Кроме того, у шнеков довольно сильно стачивались конические зубчатки вследствие сильного абразивного действия апатитового концентрата. Это было устранено заменой зубчаток цепным приводом. В дальнейшем шнеки под печами, служившие постоянной причиной остановок сушильного цеха, доходивших до 30%, были заменены транспортерными лентами. Установленные ленты работали удовлетворительно, вполне справлялись со своей работой и совершенно исключили возможность простоев. Продольный шнек, подававший концентрат из сгустительного корпуса на склад, являвшийся одним из узких мест, лимитировавших работу всей первой очереди фабрики, был также заменен транспортерной лентой. Шнеки не оправдали своего назначения, так как апатитовый концентрат имеет особое свойство механического действия на металл, и они быстро изнашивались, выходили из строя, и, кроме того, часто забивались, чем вызывали постоянные простои фабрики.

Узким местом были, кроме того, маломощные цепные элеваторы, подававшие сухой концентрат на склад первой очереди фабрики. В настоящее время, вместо ранее работавших двух маломощных и не справлявшихся с работой элеваторов, работает один более мощный, который вполне справляется со своей нагрузкой.

На первой очереди фабрики для улавливания пылеобразного апатитового концентрата были установлены циклоны. Их действие довольно удовлетворительно, но они не отвечают поставленной перед ними задаче. В связи с значительным содержанием в высушенном ценном концентрате чрезвычайно тонкой пыли, мелочи, последняя циклонами не улавливается. Как следствие наблюдается большой вынос мелочи концентрата в дымовые трубы. Помимо потерь ценного продукта, достигающих 8—10%, создаются весьма негигиенические условия для г. Кировска, в котором расположена обогатительная фабрика.

На второй очереди обогатительной фабрики для сушки апатитового концентрата аналогично установлены цилиндрические вращающиеся сушилки. Находящиеся на первой очереди су-

шильные печи имеют объем, соответствующий 36,5 *кг* испаряемой влаги на 1 *м*³ объема сушилок в час. По второй очереди обогатительной фабрике была принята для запаса нагрузка в 30 *кг* на 1 *м*³ объема. Соответственно ей установлены на каждую секцию второй очереди фабрики по две барабанных вращающихся сушилки длиной по 12 *м*, диаметром по 2,4 *м*, изготовленные николаевским заводом им. Марти.

Транспорт сушеного концентрата из-под печей осуществляется на второй очереди ленточными транспортерами, шириной лент 400 *мм* и скоростью 0,5—0,7 *м/сек*, прекрасно работающими в этих условиях.

Сборный транспортер для апатитового концентрата рассчитан на обслуживание всей фабрики, как первой, так и второй очереди. Он имеет длину 105 *м*, ширину ленты 750 *мм*, мотор 20 *л. с.* и производительность 170 *т* в час.

Со сборного транспортера сушеный концентрат подается по наклонной галлерее ленточным транспортером (длина 76,5 *м*, скорость 0,8 *м/сек*, подъем на высоту 16,7 *м*, с мотором 28 *л. с.*). При транспортере имеется автоматический взвешиватель для контроля и определения количества готовой продукции, выпущенной фабрикой.

Для перекачки пульпы применены на фабрике насосы Вильфлея. Они перекачивают слив классификаторов в контактные чаны для агитации, хвосты основной флотации, хвосты второй перечистки концентрата в контактные чаны, концентрат в сгустительный корпус первой очереди фабрики. Для откачки фильтрата из отделения фильтрации установлены на второй очереди фабрики центробежные насосы.

Для перекачки хвостов в р. Белую или на нефелиновую фабрику хвосты собираются с флотационных машин в деревянные бачки песковых насосов. Последними они в случае надобности нагнетаются по трубопроводу для переработки на нефелиновый концентрат. При удалении хвостов в р. Белую они спускаются самотеком, при этом скорость 3,47 *м/сек* достаточна и не дает оседания материала в деревянном желобе. Песковый насос для перекачки хвостов фабрики производительностью 7,5 *м*³/*мин* имеет мотор 102 *л. с.*, 1 000 *об/мин*.

Фильтрат используется для питания шаровых мельниц и классификаторов Дорра. Он собирается в бачок и подается 6″ насосом с мотором 50 *л. с.* по назначению.

На первой и второй очереди фабрики сушеный концентрат подается в значительной своей массе на склады концентрата. Апатитовый концентрат представляет собой мелкозернистый порошкообразный материал светлого цвета, проходящий целиком через сито 80 меш и имеющий около 50% крупности — 200 меш. Влажность концентрата по выходе из сушильных печей — 1—2%. Насыпной вес апатитового концентрата, по определениям, равен 1,5 *т/м*³. На практике оказалось, что теплый концентрат склонен образовывать довольно малый угол естественного откоса. Последний при спокойной насыпке колеблется в пределах 30—35°. При высыпании через бункерные затворы апатитовый концентрат,

обладая, благодаря своей кристалличности, большой текучестью, не образует заторов. Выпуск концентрата со склада первой очереди фабрики через люки происходит беспрепятственно. Задвижки должны быть изготовлены тщательно, так как в противном случае в нижней галлерее создаются весьма тяжелые условия для работы. Для транспортировки концентрата к разгрузочным люкам на складе первой очереди фабрики установлен поперечно двигающийся катучий шнек специальной конструкции с двухходовым рабочим шнеком диаметром 600 *мм*, с мотором 32 *л. с.* Некоторые детали, например, соединительные муфты, были выполнены фирмой не вполне правильно, из-за чего происходили частые поломки

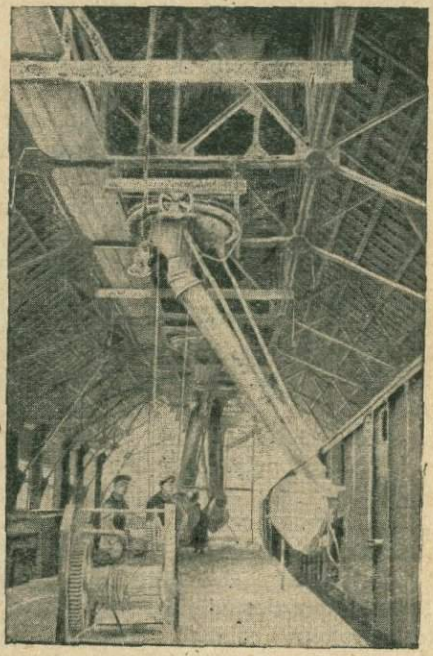


Рис. 44. Вагонопогрузочная машина-шнек

и связанные с этим простои. Само же погрузочное устройство работало удовлетворительно.

Для погрузки апатитового концентрата в нормальные крытые железнодорожные вагоны применены на первой очереди четыре вагонопогрузочных машины — шнеки (рис. 44), с непосредственным приводом от отдельных моторов по 6,8 *л. с.* Скорость погрузки каждой машины фирмы Кернер — четыре железнодорожных вагона в час. Двери вагона забираются на высоту 1 *м* щитами.

Выданный второй очередью обогатительной фабрики концентрат поступает на склад, из последнего — в железнодорожные вагоны, по мере их прибытия. Помимо этого, предусмотрена подача апатитового концентрата с производства на погру-

зочные бункера для непосредственной, без предварительного складирования, погрузки в железнодорожные вагоны.

Запас концентрата предусмотрен равным 12-суточной производительности фабрики на складе 37 000 *т* и в погрузочных бункерах — 2 000 *т*.

Из трех типов складов: а) железобетонного силосного, б) бункерного железобетонного и в) шатрового полубункерного спроектирован и построен вредительски деревянный шатровый. Размеры склада — длина 100 *м*, ширина 28 *м*, глубина подземной части 5,6 *м*. Деревянная конструкция надземной части склада при горячем концентрате с влажностью до 2% неприемлема и нуждается в замене. Через 3 года эксплоатации склада, стойки средних опорных рам оказались в своем большинстве сломанными, схватки как продольные, так и частью поперечные разрушенными, древесина влажной.

Концентрат в количестве 135 *т* в час поступает на склад от сушильных барабанных печей по одному из двух ленточных транспортеров, идущих на склад. По пути на транспортере, апатитовый концентрат автоматически взвешивается. По мере надобности апатитовый концентрат подается или непосредственно на склад или на погрузочные бункера. В последнем случае апатитовый концентрат с верхнего ленточного транспортера спускается по трубе в промежуточный бункер, железобетонный емкостью 200 *т*. Из последнего концентрат пересыпается помощью секторных затворов на нижние транспортеры, установленные под бункером, идущие на погрузку. На погрузочные бункера концентрат подается в том случае, когда они свободны или когда погрузка концентрата производится непосредственно в железнодорожные вагоны.

В тех случаях, когда концентрат подается на склад, наклонный транспортер с автоматическим взвешивателем перегружает концентрат на горизонтальный ленточный транспортер длиной 103 *м*, с шириной ленты 750 *мм*, с мотором 20 *л. с.*, 1 000 об/мин, проходящий в галлерее под складом. С ленточного транспортера загружается склад с помощью автоматической разгрузочной тележки. При погрузке концентрата в железнодорожные вагоны со склада концентрат подается из склада на погрузочные бункера. Разгрузка концентрата со склада осуществляется секторными затворами от руки на нижние ленточные транспортеры под складом длиной 100 *м*, производительностью 175 *т* в час.

Неотъемлемую часть обогатительных фабрик составляет реагентная с чанами-смесителями для перемешивания реагентов.

Непосредственно к зданию обогатительной фабрики примыкает здание ремонтно-механических мастерских фабрики. В нем должны разместиться механическая, слесарно-монтажная, котельно-сварочная, кузница с литейной и деревообделочная.

Наличие на первой очереди обогатительной фабрики аппаратуры, отличной от установленной на второй очереди фабрики, к тому же смонтированной на других уровнях и менее производительной, наличие у первой очереди фабрики отдельно расположенного сгустительного сушильного корпуса, отдельного погрузочного цеха и склада концентрата осложняет работу обогати-

тельных фабрик. Эти обстоятельства вынуждают по существу одну фабрику делить в отношении учета обслуживания на две очереди.

Крупным недостатком первой очереди фабрики является несовершенное устройство циклонов для улавливания пылеобразного апатитового концентрата. По отчетам первой очереди фабрики потери ценного концентрата с дымовыми газами составили в 1932 г. 14,75%, в 1933 г.—9,3% по отношению к расчетному выходу апатитового концентрата.

Аппаратура первой очереди фабрики значительно уступает по производительности аппаратам ее второй очереди. Например, в мельничном отделении первой очереди фабрики работали восемь шаровых мельниц; достигнутая производительность по мельницам составляла в 1932 г. 6,24 *т*, в 1933 г.—5,84 *т* на одну мельницу в час, тогда как по второй очереди, оборудованной более крупными шаровыми мельницами, по три на каждую секцию, производительность каждой мельницы в час достигала 11—12 *т* руды в час — до стахановского движения, а к концу первого полугодия 1936 г. дошла до 15 *т* в час.

Безусловно, мельницы второй очереди фабрики, вдвое превышающие по производительности мельницы первой очереди, имеют перед последними крупное преимущество. По сушильному цеху имеется также значительное различие в пользу оборудования второй очереди фабрики. В то время как на первой очереди фабрики производительностью 200 тыс. *т* концентрата установлено шесть барабанных вращающихся сушилок, на второй очереди фабрики на каждой секции проектной мощности 160 тыс. *т* концентрата работают по две сушильных барабанных печи.

При проектировании второй очереди обогатительной фабрики такое положение дела на первой очереди обогатительной фабрики было учтено, и проектом была предусмотрена целесообразность реконструкции первой очереди фабрики.

В пользу реконструкции первой очереди фабрики говорит почти полная обеспеченность этой работы оборудованием и коренное упрощение, которое будет достигнуто заменой оборудования первой очереди фабрики и установкой аппаратов, одинаковых с имеющимися на второй очереди фабрики.

Вопрос об актуальности и целесообразности переоборудования, прежде всего, мельничного отделения тонкого измельчения первой очереди фабрики, вопрос об установке после небольшой строительной переделки мельничного корпуса пяти шаровых аналогичных работающих на второй очереди мельниц взамен восьми особо назрел, тем более, что такие мельницы и к ним классификаторы Дорра имелись. К 1 апреля 1936 г. реконструкция мельничного пролета первой очереди фабрики была выполнена.

Более сложной представляется реконструкция первой очереди фабрики в части сгустительно-сушильного отделения. В основном она сведется к пристройке к мельничному отделению первой очереди фабрики нового производственного корпуса, который служил бы продолжением здания второй очереди фабрики с размещенными в нем мельницами, флотационными машинами, ба-

рабанными фильтрами Вольфа и десятью вращающимися барабанными сушилками. Реконструкция в этой части потребует проведения серьезных монтажных работ по установке четырех новых барабанных сушилок, шести барабанных фильтров Вольфа, восьми сдвоенных флотационных машин, восьми контактных чанов, одной воздуходувки (180 $м^3$) для флотационных машин Мак-Интош, двух воздуходувок для фильтров, двух вакуум-насосов по 450 $м^3$, 3″ и 6″ песковых насосов, пяти автоматических весов. Помимо того, по примеру второй очереди фабрики в новом корпусе необходимо будет провести строительные работы, связанные с электрофильтрами Коттрель, и смонтировать электрофильтры Коттрель.

Проект реконструкции первой очереди фабрики разработан трестом «Апатит» в части технологической, строительной, сантехнической, электрической и экономической.

Проектом предусмотрено использование теперешнего сгустительного фильтровально-сушильного корпуса первой очереди фабрики в качестве цеха фабрики нефелинового концентрата.

Последняя по проекту треста «Апатит» рассчитывается на ежегодный выпуск 207 тыс. $т$ алюминиевого концентрата с содержанием Al_2O_3 29%, P_2O_5—0,5%, полуторных окислов — 4,5%, 96 тыс. $т$ сушеного крупного нефелина для кожевенной промышленности и сельского хозяйства (с содержанием окиси железа в 6,23% и P_2O_5 — 4,02%) и 82 тыс. $т$ апатитового промпродукта с содержанием P_2O_5 15%, окиси железа — 5,31%.

При реконструкции первой очереди фабрики особое внимание потребуется уделить отделению фильтрации, имея в виду, что барабанные фильтры Вольфа с металлическими сетками 180 меш из фосфористой бронзы не вполне себя оправдали в отношении производительности и прочности металлической сетки и лимитировали в целом работу второй очереди фабрики, являлись ее узким местом. Для более равномерной нагрузки новых сушильных барабанов по два на секцию целесообразно будет смонтировать на двух секциях первой очереди восемь барабанных фильтров по 20 $м^2$ фильтрующей поверхности вместо шести по 25 $м^2$.

После реконструкции первой очереди фабрики будет одна апатито-нефелиновая обогатительная фабрика. Она будет состоять из дробильного цеха, размещенного в отдельном корпусе, из мельнично-флотационно-сгустительно-сушильного цеха, размещенного во втором большом отдельном корпусе, и из одного погрузочного склада апатитового концентрата. Сгустительно-сушильный корпус первой очереди фабрики и ее склад войдут в состав нефелиновой флотационной фабрики.

После реконструкции дробильный цех фабрики останется неизменным, состоящим из двух рабочих и одной запасной секции дробилок Тельсмит и Саймонс. Мельнично-флотационно-сгустительно-сушильный цех фабрики будет состоять из семи однородных секций, оборудованных однотипными аппаратами: шаровыми мельницами в числе 20, расположенными в один вытянутый ряд, флотационными машинами с пневматической агитацией Мак-Интош для основной флотации и перечистки хвостов,

флотационными машинами Фаренволд для перечистки апатитового концентрата, барабанными фильтрами Вольфа с фильтрующей поверхностью каждый по 25 $м^2$ в числе 15 и по 20 $м^2$ в числе 8, одинаковыми барабанными вращающимися сушилками диаметром 2,4 *м*, длиной 12 *м* в числе 14 и электрофильтрами Коттрель для улавливания пылеобразного ценного апатитового концентрата.

Это будет огромнейшая производственная единица без лишних звеньев в цепи аппаратов, без излишнего нагромождения разнотипных машин, это будет пока единственная не только в СССР, но и в мировой практике флотационная фабрика по роду обогащаемого полезного ископаемого — апатитовой руды. В дополнение к ней проектом оформляется и будет форсированно строиться вторая апатитовая фабрика на 2 млн. *т* концентрата в год.

Апатит при одинаковой примерно твердости с другими минералами, слагающими апатито-нефелиновые руды Хибинских месторождений, обладает, однако, относительно большей хрупкостью. Эта особенность апатита была использована суперфосфатными заводами СССР для обогащения апатитовых руд методом избирательного дробления. Этот метод применим только к рудам, богатым фосфорным ангидридом. Сущность обогащения апатито-нефелиновых руд методом избирательного дробления заключается в дроблении и грохочении в несколько стадий. В результате такой обработки руды получаются мелкие классы, обогащенные апатитом; содержание в них фосфорного ангидрида возможно довести до 36—37%. Но наряду с ними получаются хвосты — крупные классы апатитовой руды с высоким содержанием P_2O_5 — до 23—25%.

Метод избирательного дробления не разрешает кардинально проблему обогащения хибинских апатито-нефелиновых руд. В силу этих причин он не нашел себе применения в Хибинах и должен был уступить место флотационному методу обогащения апатито-нефелиновых руд.

V. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АПАТИТА. ОТРАСЛИ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА, ПОТРЕБЛЯЮЩИЕ АПАТИТ И ЕГО ОТХОДЫ

Апатитовый концентрат, содержащий 39,2—39,8% фосфорного ангидрида, представляет наивысшее фосфатное сырье, какое когда-либо знала туковая промышленность. Апатитовый концентрат нашел широкое применение в туковой промышленности прежде всего для производства наиболее распространенного вида минеральных удобрений — суперфосфата.

До возникновения в СССР новой отрасли промышленности — апатитовой — суперфосфатная промышленность СССР испытывала острый голод в фосфатном отечественном сырье. Высокосортные фосфориты богатого Верхнекамского фосфоритного месторождения Кировского края были трудно доступными. Фосфоритный район был значительно удален от промышлен-

ных центров, развитие его задерживалось отстрочкой из года в год вопроса об отпуске средств на строительство железнодорожной ветки Яр — Фосфоритная протяжением 180 *км* к Верхнекамским фосфоритным рудникам. В Московской области существовал один действовавший фосфоритный рудник — Егорьевский; остальные два — Лопатинский и Воскресенский — находились лишь в стадии организации и подготовки.

К тому же качество фосфоритов Егорьевского месторождения Московской области не обеспечивало выпуск стандартного 14%-ного суперфосфата. В силу этого обстоятельства требовалось сдабривать их высококачественным видом фосфорного сырья — импортным марокканским фосфоритом Североафриканских месторождений.

Сырьевая база южных суперфосфатных заводов — месторождения подольских фосфоритов, богатых фосфорным ангидридом (31—34% P_2O_5), — была близка к исчерпанию своих природных богатств и не удовлетворяла полностью спрос на подольские фосфориты Одесского, Винницкого, Константиновского суперфосфатных заводов.

Ряд заводов СССР, изготовлявших суперфосфат, работал целиком на импортном марокканском фосфорите, другие применили последний как добавку к отечественному, недостаточно высокосортному фосфориту.

С появлением апатитового флотационного концентрата суперфосфатная промышленность переключалась на этот вид фосфатного сырья. Импорт марокканских фосфоритов был прекращен. Они с успехом были вытеснены апатитовым концентратом.

Снабжение суперфосфатной промышленности апатитовым концентратом характеризуется данными табл. 19.

Таблица 19

Годы	1931	1932	1933	1934	1935	1936 (ориентировочно)
Тыс. *т*	18,37	140,59	105,76	280	620	750

Все действующие суперфосфатные заводы работают на апатитовом концентрате, за исключением Пермского и Воскресенского заводов, применяющих в смеси с апатитовым концентратом местные фосфориты — верхнекамские и егорьевские.

Высокое качество апатитового концентрата обеспечивает выпуск суперфосфата хороших физических свойств, с 17,5—18,5% — усвояемой фосфорной кислоты, т. е. выше стандартного 14%-ного. С появлением апатитового концентрата связаны крупные сдвиги и достижения в области производства суперфосфата.

На смену суперфосфату должны притти концентрированные фосфатные туки — двойной суперфосфат, преципитат и фосфорно-аммиачные туки, аммофос и др.

Применение, которое может найти апатитовый концентрат в области производства комбинированных сложных и концентри-

рованных минеральных удобрений, может быть весьма существенным. Сущность получения таких туков сводится к извлечению, другими словами, к экстракции из фосфатного сырья фосфорной кислоты, посредством обработки ею исходного сырья — в случае приготовления двойного суперфосфата и в насыщении известью фосфорной кислоты, отфильтрованной от шлама, — в случае производства преципитата. Апатитовый концентрат представляет для подобных производств то преимущество, что

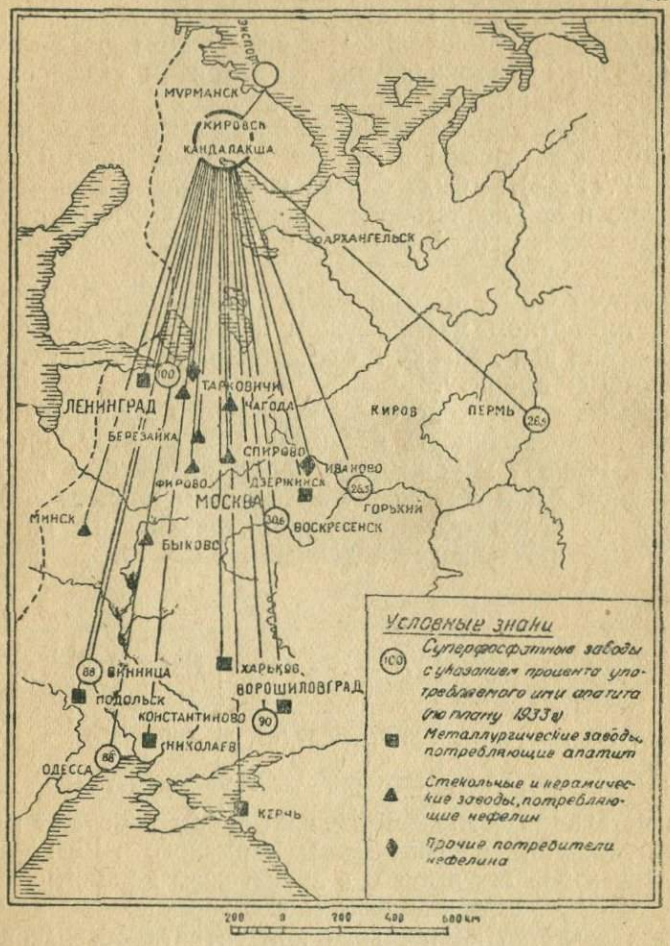


Рис. 45. Схема распространения хибинской продукции по основным потребителям СССР

фосфорная кислота, полученная из него, содержит меньше нежелательных примесей, чем вытяжка из низкопроцентных фосфоритов, легче упаривается, не выделяет значительного количества осадков.

Из других видов использования апатита можно указать получение термофосфата и фосфора. Термофосфаты с содержа-

нием от 25 до 30% усвояемого фосфора против 15—17% в суперфосфате получаются напреванием до высокой температуры (1200°) смеси апатитовой руды с щелочными солями или с щелочными силикатами. Они соединяют в себе выгоды и суперфосфата и томасовского порошка. Проблема получения термофосфата на месте облегчается возможностью получения щелочного силиката попутно при производстве окиси алюминия из нефелинового концентрата.

Производство фосфора восстановлением из апатитовой руды может ограничиться задачей получения его для разных нужд промышленности (спичечной, химико-фармацевтической и др.) или задачей получения его при одновременном окислении его в фосфорную кислоту, представляющую полупродукт для дальнейшей переработки в минеральные удобрения, например в двойной суперфосфат.

Следующими заслуживающими внимания потребителями апатита являются: металлургия, применяющая апатитовую руду вместо ферро-фосфата для получения фосфористой стали и гаечного железа, стекольная помышленность — для получения матового белого стекла, керамическая промышленность — для эмалей и сельское хозяйство, использующее апатит непосредственно в форме апатитовой муки на кислых почвах. Особый интерес представляют опыты по выплавке чугуна из шихты, в которую вводились апатиты. Эти опыты производились в доменных печах Керченского завода. Чугуны получались хорошо текучими, имели хороший физический напрев.

Не исключена возможность получения фосфорных удобрений типа томасовских шлаков путем присадки сухого апатитового концентрата к расплавленным шлакам и извлечения из обогащенных апатитом металлических шлаков фосфорной кислоты. Апатитовая руда и апатитовый концентрат, как источники первоклассного фосфатного сырья, находят широкое применение в Советском Союзе. Чрезвычайный интерес представляет в частности проблема получения криолита путем улавливания фтора, выделяемого при производстве суперфосфата, из апатитового концентрата.

Схема распространения Хибинской апатитовой продукции по основным потребителям СССР представлена на рис. 45.

VI. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТОВЫХ РУД

При обогащении апатито-нефелиновой руды флотационным методом получаются наряду с апатитовым концентратом отходы — «хвосты», содержащие в основном нефелин [состав его n $(NaK)_2Al_2Si_2O_8$, где большей частью $n = 4$].

По определениям, произведенным в Керамическом институте, нефелиновые хвосты содержали Al_2O_3 — 23%, SiO_2 — 37%, CaO — 12%, Fe_2O_3 — 3,6%, MgO — 0,22% и щелочи.

Из хвостов апатито-нефелиновых обогатительных фабрик представляется возможность выделить путем флотации алюминиевый (нефелиновый) концентрат (по выходу 34%), содержа-

щий 29—30% Al_2O_3, 4,5% полуторных окислов, 0,5—1,0% P_2O_5, 42% SiO_2 и ($Na_2O + K_2O$), в пересчете на Na_2O — 17—19%. Попутно могут быть выделены: крупный нефелиновый концентрат (по выходу 15,8 %), богатый Fe_2O_3 (6,23%) и P_2O_5 (4,02%) и апатитовый продукт с содержанием 15% P_2O_5, 5,3% Fe_2O_3.

Нефелиновый (алюминиевый) концентрат, представляющий собой алюмощелочный силикат, получаемый в качестве флотационного продукта при разделении нефелиновых отходов обогащения апатитовых руд, может служить источником окиси алюминия. Щелочи и шлам, получаемые попутно с окисью алюминия при спекании алюминиевого концентрата с известью, могут, со своей стороны, послужить для изготовления термофосфата из щелочей с апатитовой рудой и цемента из шлама.

Другое применение, которое может найти нефелин, содержащийся в отходах обогащения апатитовых руд, это — получение силикагеля. Последний применяется в кожевенной промышленности для кремнекислого дубления кож. В момент выделения из нефелина в кислых растворах кремнекислота проникает в кожу, где удерживается подобно окиси хрома при хромовом дублении.

Следующей областью применения нефелинового концентрата, флотационного продукта отходов обогащения апатитовых руд, является производство из него неочищенного сернокислого глинозема для целей коагуляции, очистки и улучшения качества воды; это имеет актуальное значение в связи с бурным ростом промышленности и городов, способствующих загрязнению воды.

Имеется полная возможность использовать нефелиновый материал «отходов» в бумажной промышленности для получения самими бумажными предприятиями растворов сернокислого алюминия для проклейки бумаги с целью придания ей свойства водонепроницаемости. Поскольку в бумажном производстве применяются растворы сернокислого алюминия и притом сравнительно невысокой концентрации (10%), применение в этой области нефелина вполне реально.

Не исключена возможность употребления нефелинового концентрата для смягчения жестких вод. Выявлено, что нефелиновые породы сами по себе обладают умягчающей способностью. Последняя проявляется, однако, после обработки их растворами поваренной соли. Обменная способность нефелиновых пород почти равна обменной способности шахтинских глауконитовых песков, но ниже заграничных неопермутитов. Искусственно же приготовленные из нефелинов алюмосиликагели обнаруживали умягчающую способность, равную, а в ряде случаев и более высокую, чем неопермутиты.

Значительное содержание окиси натрия в нефелиновых хвостах обогащения апатитовых руд позволяет употреблять их в производство стекла, вместо соды и сульфата. Опыты подтвердили полную пригодность нефелина при применении его в качестве основного материала для бутылочного стекла. Несколько сомнителен вопрос об оконном белом стекле: последнее требует материала с минимальным содержанием железа.

Нефелиновые отходы обогащения апатита представляют ин-

терес и для керамической промышленности. Для фарфоро-фаянсового производства необходим полевой шпат, который остро дефицитен. Опыты показали полную пригодность нефелина для замены полевого шпата. Нефелиновые хвосты оказались хорошим материалом для изготовления изоляторов низкого напряжения, каменного товара, твердого фаянса, хозяйственного фарфора.

Пользование обогащенными нефелиновыми хвостами должно представить выгоды для керамической промышленности потому, что они будут поступать к потребителям в тонко измолотом виде. В случае успешного разрешения магнитной сепарацией вопроса о резком снижении содержания железа в нефелиновом материале — «отходах» обогащения апатитовых руд — они могут найти употребление для производства ультрамарина. Преимущества нефелина в этом производстве окажутся весьма большими, так как нефелин не потребует прокалки, стоит почти вчетверо дешевле каолина, понизит расход соды вдвое и исключает надобность в инфузорной земле.

Наряду с возможностью переработки и потребления различными отраслями промышленности — стекольной, керамической, кожевенной, алюминиевой, ультрамариновой, бумажной — нефелиновые отходы обогащения апатитовых руд могут иметь и непосредственное применение в качестве удобрения. Полевыми опытами доказана возможность их использования на торфянистых почвах северной части Советского Союза.

Применением для целей удобрения нефелинового материала «отходов» может быть получена двойная выгода, так как, помимо нейтрализации почвы, из тонко измолотых хвостов, содержащих 3,5—5% окиси калия, в почву переходит калий, являющийся одним из необходимейших элементов удобрительных туков.

Технические условия на нефелиновый концентрат для разных видов промышленности даны в табл. 20.

Таблица 20

Отрасль хозяйства	Содержание в %								Тонина остатка на сите 150 меш в %
	окиси кремния	окиси алюминия	окиси железа (валовое)	окиси железа (кислотно-растворимое)	влаги	фосфорного ангидрида	сумма щелочей	в том числе K_2O	
Стекольная пр-сть	42—43	29—30	3—3,5	—	2—3	—	16—19	—	50—55
Керамическая и фарфоровая промышленность . .	42—43	29—30	3—3,5	—	—	—	18—19	—	—
Химическая и бумажная пр-сть .	—	29—30	3—3,5	2—2,5	—	0,7—0,9	—	—	50—55
Химическая для производства силикагеля . . .	42—43	29—30	—	2—2,5	—	—	18—19	—	—
Кожевенная промышленность .	42—43	—	—	—	—	—	18—19	—	5—7
Для агрономических целей . . .	—	—	—	—	—	0,7—0,9	12—19	6,5	5—7

VII. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ. ОБЩЕСОЮЗНЫЕ СТАНДАРТЫ АПАТИТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

На апатитовый концентрат утвержден 25/XII 1934 г. Всесоюзным комитетом стандартизации стандарт ОСТ/ВКС 7735.

Общесоюзный стандарт включает следующие положения.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Апатитовый концентрат представляет собой продукт, получаемый измельчением апатитовой руды и последующим обогащением ее (в части трикальций-фосфата) методом флотации.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

а) Содержание P_2O_5 (в пересчете на абсолютно сухое вещество) не менее 39,2%, б) содержание влаги не более 1%, в) тонина помола: остаток на сите Тейлора 100 меш не выше 4%, прохождение через сито 200 меш не менее 52%.

3. УПАКОВКА И ПОГРУЗКА

Погрузка насыпью в чистые железнодорожные вагоны, снабженные предохранительными деревянными щитами. Маркировка производится на стенке вагона у дверей: «Апатит — концентрат».

4. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

а) Отбор проб

Пробу отбирают совком из десяти различных мест вагона, сверху, с середины и внизу, проникая внутрь слоев. Отобранный материал, общим весом 20 *кг*, тщательно перемешивают и сокращают на делителе Джонса до 2,5 *кг*. Сокращенную пробу снова тщательно перемешивают и распределяют на гладкой стеклянной плите ровным слоем в 1 *см* толщиной в форме прямоугольника. Последний делят чертами на равные квадраты, из каждого квадрата отбирают ложкой равные количества концентрата и составляют таким образом три пробы весом в 800 *г* каждая.

Пробы помещают в три сухие стеклянные банки и запечатывают их печатью ОТК треста. Одна банка передается покупателю, остальные две — тресту, из коих одна хранится у него в течение 3 месяцев со дня отбора пробы на случай арбитража его анализа.

б) Методы испытаний

Получение аналитической пробы

Апатитовый концентрат высыпают из банки на чистую гладкую бумагу, быстро и тщательно перемешивают и распределяют тонким и ровным слоем 3—4 *мм* толщиной; полученный слой делят на 20—25 прямоугольников и отбирают от каждого

из них такое количество муки, чтобы общий вес отобранной пробы был около 50 *г*. Аналитическая проба хранится в банке с притертой пробкой.

Определение влажности

Навеску концентрата около 5 *г* отвешивают в сушильном стаканчике с притертой крышкой и сушат в сушильном шкафу при 102°, в первый раз 3 часа и затем повторно по 1 часу до постоянного веса. Влажность в процентах вычисляется по формуле

$$\frac{(a-b)\,100}{a},$$

где a — навеска, b — вес пробы после высушивания.

Определение общей фосфорной кислоты (P_2O_5). Цитратный метод (арбитражный)

Навеску концентрата в 5 *г* в стакане на 250 *мл* обливают 50 *мл* царской водки (30 *мл* HCl пл. 1,12 и 20 *мл* HNO_3 пл. 1,2). Стакан, накрытый часовым стеклом, нагревают сначала слабо, а затем до кипения. Кипятят 30 мин., время от времени перемешивая стеклянной палочкой. Затем содержимое стакана вместе с осадком переносят в мерную колбу на 250 *мл*, по охлаждении доводят водой до метки, тщательно перемешивают и отфильтровывают около половины раствора через сухой беззольный фильтр в сухую колбу на 150 *мл*.

Для анализа берут 25 *мл* фильтрата в стакан на 200 *мл*, приливают 10—15 *мл* 50%-ного раствора лимоннокислого аммония (реактив 2) и нейтрализуют аммиаком (по фенолфталеину). Затем прибавляют медленно, при постоянном помешивании, 30 *мл* щелочной магнезиальной смеси (реактив 1), добавляют 25 *мл* 25%-ного аммиака (пл. 0,91) и оставляют на 15—18 час. или подвергают непрерывному перемешиванию на специальных приборах в течение 30 мин. Фильтруют через плотный беззольный фильтр и промывают 2,5%-ным аммиаком, перенося осадок целиком на фильтр (промывных вод не должно быть больше 100 *мл*).

Фильтр с осадком переносят в тигель, осторожно подсушивают и сжигают до полного обугливания фильтра, затем прокаливают в муфеле или на паяльной горелке до постоянного веса и по охлаждении в эксикаторе взвешивают.

P_2O_5 в процентах на абсолютное вещество вычисляется по формуле:

$$\frac{a\cdot 10\cdot 0{,}6379\cdot 100\cdot 100}{n\,(100-c)} = \frac{a.63\,790}{n\,(100-c)},$$

где a — вес прокаленного остатка,
n — навеска,
c — процент влаги в концентрате (определенный в п. 2);
0,6379 — коэфициент пересчета $Mg_2P_2O_7$ на P_2O_5.

(Реактивы. Магнезиальная смесь 55 *г* хлористого магния $MgCl_2.6H_2O$) и 70 *г* хлористого аммония (NH_4Cl) растворяют в воде, прибавляют 250 *мл* 10%-ного раствора аммиака (пл. 0,91), доводят раствор до 1 *л* и фильтруют.

Лимоннокислый аммоний (50%-ный). 500 *г* кристаллической чистой лимонной кислоты растворяют в 25%-ном аммиаке (пл. 0,91), примерно в 600 *мл*, до нейтральной реакции, доводят объем до 1 *л* и фильтруют.

Определение тонины помола

Испытание производится в ставке сит 100 и 200 меш по шкале Тейлора. Навеску концентрата около 400 *г* сушат до постоянного веса при 130°, комки разминают шпателем и отвешивают для анализа на технических весах (с точностью до 0,1*г*) около 300 *г*. Эту навеску помещают на верхнее сито (№ 100), закрывают его крышкой и встряхивают на приборе Ро-Тап 30 мин. По окончании встряхивания обметают мягкой кистью или щеткой внутренние края сит и немного трясут каждое из них в отдельности. Остатки на ситах переносят на часовые стекла и взвешивают (с точностью до 0,1 *г*).

Примечания. 1. До и после производства ситового анализа сита должны быть тщательно вычищенными и совершенно сухими.

2. Общая потеря материала при ситовом анализе не должна превышать 1%.

Определение общей фосфорной кислоты. Молибденовый метод Ниссенса (рекомендуемый для заводской практики)

Для анализа отбирают пипеткой 5 *мл* фильтрата в коническую колбу на 250 *мл*, нейтрализуют аммиаком, подкисляют 10 *мл* HNO_3 пл. 1,2 (реактив 7), прибавляют 5 *мл* 25%-ного аммиака (пл. 0,91) и 2 *мл* лимоннокислого аммония по Петерману (реактив 5). Содержимое колбы перемешивают, прибавляют 50 *мл* молибденовой жидкости (реактив 4) и встряхивают 30 мин. на специальном аппарате от руки. По окончании встряхивания дают осадку сесть, фильтруют (по возможности оставляя осадок в стакане) через плотный беззольный фильтр, промывают колбу и осадок 3—4 раза 1%-ной азотной кислотой (реактив 6), а затем — насыщенным раствором фосфорномолибденового аммония (реактив 3), пока 25 *мл* промывных вод будут требовать для нейтрализации не больше 0,1 *мл* 1/3N раствора КОН (реактив 2). После этого фильтр с осадком переносят в колбу, где производилось осаждение, сюда же прибавляют 150 *мл* дестиллированной воды, лишенной кипячением CO_2, и растворяют осадок в 1/3N КОН (реактив 2), прибавляя последний в небольшом (3—5 *мл*) избытке; фильтр стеклянной палочкой разрывают на мелкие части и жидкость обратно фильтруют 1/3N H_2SO_4 (реактив 1) в присутствии фенолфталеина. 1 *мл* 1/3N КОН точно соответствует 1 *мг* P_2O_5.

P_2O_5 в процентах на абсолютно сухое вещество вычисляется по формуле

$$\frac{(a-b)\,50\cdot0{,}001\cdot100\cdot100}{n\,(100+c)} = \frac{(a-b)\,500}{n\,(100-c)},$$

где a — количество *мл* КОН, пошедшее на растворение осадка,

b — количество *мл* H_2SO_4, пошедшее на обратное титрование,

n — навеска,

c — процент влаги в концентрате (определенный в п. 2).

Реактивы. 1. Раствор 1/3N H_2SO_4. 328,95 *мл* нормальной серной кислоты разводят дестиллированной водой до 1 *л*.

2. Раствор 1/3N КОН. 323,95 *мл* нормального едкого кали разводят дестиллированной прокипяченной водой до 1 *л*.

3. Насыщенный на холоду водный раствор фосфорно-молибденового аммония. Соль приготовляется путем осаждения химического фосфата калия или натрия по методу Ниссенса и должна быть тщательно отмыта водой от азотной кислоты. 25 *мл* насыщенного раствора этой соли должны требовать для нейтрализации в присутствии фенолфталеина не более 0,1 *мл* 1/3N раствора КОН.

При хранении раствор может изменить свою кислотность, поэтому необходимо периодически его проверять.

4. Молибденовая жидкость. 1 *л* 15%-ного раствора молибденовокислого аммония вливают при постоянном перемешивании в 1 *л* азотной кислоты (пл. 1,2). После двухдневного стояния реактив готов для употребления.

5. Лимоннокислый аммоний по Петерману. 173 *г* кристаллической чистой лимонной кислоты растворяют в воде и при охлаждении понемногу прибавляют 536,9 *мл* 10%-ного аммиака (пл. 0,96) или 224,8 *мл* 25%-ного аммиака (пл. 0,91). По охлаждении раствор доводят до 1 *л*. Готовый раствор имеет пл. 1,082—1,083.

6. Азотная кислота 1%-ная. 11 *мл* концентрированной HNO_3 (пл. 1,40) разбавляют водой до 1 *л*.

7. Азотная кислота (пл. 1,2). 424 *мл* концентрированной HNO_3 (пл. 1,40) разбавляют водой до 1 *л*.

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА АПАТИТОВУЮ РУДУ ДЛЯ МЕТТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Эти условия состоят в следующем:

а) Апатитовая руда дробленая. Содержание фосфорного ангидрида не ниже 29,5%.

б) Размер отдельных кусков руды не более 100 *мм*. Содержание мелочи (класс — 25 *мм*) не более 10%.

Условия, установленные на апатитовый концентрат для туковой промышленности и на апатитовую руду для металлургических заводов, трестом «Апатит» соблюдаются. При повышении или понижении пределов, предусмотренных техническими условиями, применяются скидки и накидки.

VIII. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ДОБЫЧЕ И ОБРАБОТКЕ АПАТИТОВ

Из апатитовых месторождений вне СССР эксплоатировались норвежские и канадские. Разработка канадских апатитов шла интенсивным темпом до открытия огромных залежей фосфоритов в Тенесси, Флориде и других штатах Северной Америки.

Наибольшая продукция в Канаде была достигнута в 1890 г., когда годовая добыча исчислялась в 31,75 тыс. *т*. С этого времени добыча канадского апатита падала и в 1896 г. дошла до 570 *т*. Разбросанность отдельных жил апатита и большая твердость пород, его вмещающих, обусловили относительно высокую стоимость канадского апатита и свертывание работ по его добыче.

Норвежские апатитовые месторождения между фиордами Лангезунд и Арендаль близ Осло эксплоатировались с 1872 г. Максимальная добыча падает на 1890 г., около 12 тыс. *т*. С этого времени добыча уменьшилась; в 1926 г. добыто было всего 343 *т*, в дальнейшем добыча норвежского апатита прекратилась.

По данным акад. А. Е. Ферсмана, устойчивые выработки апатита намечались, помимо Хибин в СССР, лишь в месторождениях Кирунавара и Гелливара в Шведской Лапландии, в Логрозан в Испании и в Зютпансберге в Южной Африке. Вероятный масштаб каждого из них примерно 100 тыс. *т* апатитового концентрата в год.

В СССР годы первой пятилетки были в деятельности треста «Апатит», годами резких сдвигов в области производственной мощности и объема апатитовой продукции.

Апатитовый рудник им. С. М. Кирова, эксплоатирующий Кукисвумчоррское апатитовое месторождение Хибинской тундры, закрепляет из года в год достигнутые успехи и создает предпосылки для дальнейшего движения вперед.

Добыча апатитовой руды в Хибинах выражается следующими цифрами.

Таблица 21

Годы	1930	1931	1932	1933	1934	1935	Ожидаемая выработка в 1936 г.
Тыс. *т*	269,0	573,0	385,2	686,8	1136,2	1555,0	2200,0
Рост в %	—	121	32,8	78,3	41	41	37,5

Роль продукции апатитового рудника им. С. М. Кирова из года в год увеличивается. В 1929 г. суперфосфатные заводы СССР выпустили около 200 тыс. *т* суперфосфата, и для его производства было импортировано 60,5 тыс. *т* марокканских фосфоритов. В 1934 г. выпуск суперфосфата достиг 850 тыс. *т*, импорт марокканских фосфоритов отсутствовал. Вытеснившие его апатиты составляли в 1934 г. около 80% всего фосфатного сырья, переработанного в СССР в суперфосфат. В 1935 г.

выпуск суперфосфата достигает 1 200 тыс. *т*, удельный вес апатитового сырья возрастает в этом производстве до 95%.

Качество апатитовой руды по содержанию P_2O_5 в % видно из цифр табл. 22 (в среднем).

Таблица 22

Руда	Годы		
	1932	1933	1934
Отгруженная суперфосфатным заводам	31,66	32,95	32,16
Отгруженная на обогатительную флотационную фабрику	28,2	28,29	26,26
Вся добытая руда	—	30,22	27,57

Понижение качества руды в 1934 г. обусловлено интенсивной разработкой нижних, более бедных горизонтов.

Объем выполненных вскрышных работ по съему нефелиносиенитовых пород и морены выражается по апатитовому руднику им. С. М. Кирова данными в табл. 23.

Таблица 23

Годы	1932	1933	1934	1935
Тыс. *т*	57,9	250,5	507,9	1190,0
Рост в %	—	435	203	234

В 1934 г. объем механизированной добычи и вскрыши составлял по Апатитовому руднику им С. М. Кирова 10,06% общего объема выработанной горной массы. В 1935 г. рудник становится на путь широкого применения экскаваторов в забоях, наметив довести механизированную вскрышу до 57,7% и механизированную добычу до 39,8%.

Переход на механизацию наиболее трудоемких процессов апатитового рудника является значительным шагом его вперед.

Главные рудоспускные устройства рудника — Диагональный клетьевой бремсберг и Лопарские скиповые — перекрыли к 1935 г. проектные мощности и обеспечивали спуск до 5 500 *т* в сутки апатитовой руды с главного откаточного горизонта 446 *м* на горизонт 380 *м* к ст. Нефелин.

К 1936 г. рудоспуск усилен вводом в эксплоатацию одной рудоспускной шахты и капитальной штольни на горизонте 380 *м*.

Для сопоставления по годам производительности труда в табл. 24 приводятся итоговые показатели по данным годовых отчетов треста «Апатит».

Таблица 24

Показатели	Годы			
	1932	1933	1934	1935
Сменная производительность разборщика в *т* . . .	13,9	15,25	16,83	21,18
» » основного рабочего в *т*	9,15	10,17	11,42	—
» » средняя по добыче в *т*	2,76	3,17	3,31	3,70
Количество горнорабочих	652	958	1558	1930
» » в%	100	147	242	296
Для сопоставления добыча апатитовой руды в тыс. *т*	385	687	1136	1555
» » » » » в %	100	178	298	416

Эти цифры говорят о больших успехах рудника в деле поднятия производительности труда.

Проектная себестоимость апатитовой руды подземного рудника утверждена в 5 р. 83 к. франко-рудник. Фактическая себестоимость хибинской апатитовой руды примерно на 85% превышает проектную. Основная причина удорожания руды — производство вручную целого ряда трудоемких процессов.

Перед рудником им. С. М. Кирова имеется впереди широкое поле деятельности по снижению себестоимости апатитовой руды.

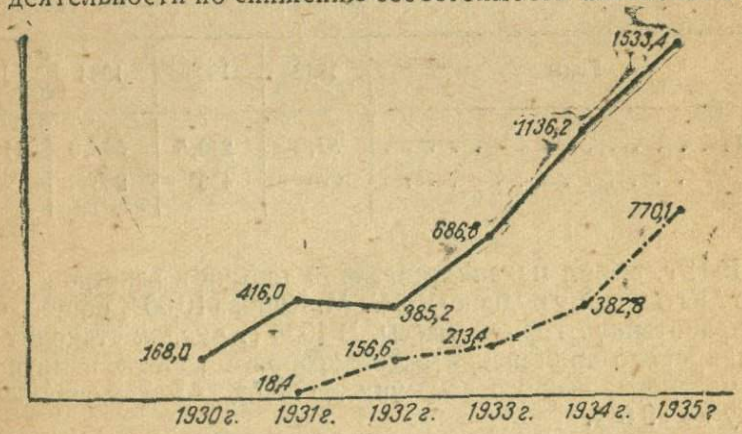


Рис. 46. Рост выпуска основной продукции треста «Апатит».
———— апатитовая руда в тыс. *т*
— · — · — апатитовый концентрат в тыс. *т*

Нет сомнений в том, что руководство рудника достигнет в этом направлении в ближайшие годы серьезных успехов.

Внимание треста «Апатит», уделяемое апатито-нефелиновым обогатительным фабрикам в г. Кировске, опыт и инициатива рабочих и инженерно-технических работников фабрик обеспечили крупный рост выпускаемой фабриками продукции апатитового флотационного концентрата, выработка которого по годам приведена в табл. 25 (см. также рис. 46).

Таблица 25

Годы	1931	1932	1933	1934	1935	Ожидаемая выработка в 1936 г.
Апатитовый концентрат в тыс. *т*	40,0	156,5	213,4	382,8	765,0	1200,0
Ежегодный рост в %	—	291	36,4	79,4	99,8	56,7

Характерными показателями работы первой очереди апатито-нефелиновой фабрики являются отчетные данные за 1932 и 1933 гг., когда вторая очередь фабрики находилась в стадии строительства и монтажа и в работе находилась одна первая очередь фабрики. Количество переработанной руды, ее качество, выработка апатитового концентрата и его качество по первой очереди фабрики за 1932 и 1933 гг. характеризуются данными табл. 26.

Таблица 26

Годы	Переработка апатитовой руды в тыс. *т*			Содержание P_2O_5 в руде (среднее за год) в %	Выработка апатитового концентрата в тыс. *т*			Содержание P_2O_5 в апатитовом концентрате (среднее за год) в %
	за 1-е полугодие	за 2-е полугодие	за год		за 1-е полугодие	за 2-е полугодие	за год	
1932	122,6	145,0	267,6	29,06	67,8	88,7	156,5	39,72
1933	156,4	185,8	342,2	29,13	90,1	123,3	213,4	39,84

Выпущенный апатитовый концентрат представлял по содержанию фосфорного ангидрида прекрасное фосфатное сырье, довольно однородное, с незначительными колебаниями по содержанию фосфорного ангидрида. Тонина апатитового концентрата выработки 1933 г. в среднем за год: 2,18% остатка на сите 80 меш.

Содержание фосфорного ангидрида в хвостах по первой очереди фабрики, расчетный процент извлечения фосфорного ангидрида, расчетный выход апатитового концентрата, товарный выход последнего и потери апатитового концентрата с дымовыми газами сушилок при погрузке характеризовались за 1932 и 1933 гг. данными табл. 27.

Таблица 27

Годы	Содержание P_2O_5 в хвостах в %	Извлечение P_2O_5 в % расчетное	Расчетный выход концентрата в %	Товарный выход концентрата в %	Потери апатитового концентрата в %
1932	5,52	94,27	68,82	58,67	14,75
1933	4,38	95,46	69,8	62,37	9,30

Наибольшей производительности с наилучшими техническими показателями первая очередь апатито-нефелиновой обогатительной фабрики достигла во втором полугодии 1933 г., к моменту окончания освоения ею основных процессов. Во втором полугодии 1933 г. среднемесячная производительность первой очереди фабрики была по перерабатываемой руде 61 тыс. *т*, по готовой продукции — 31 тыс. *т* апатитового концентрата в месяц. К концу 1933 г. содержание P_2O_5 в хвостах фабрики было снижено до 4,08%, потери апатитового концентрата—до 6,05%.

Производительность основной аппаратуры первой очереди фабрики за 1932 и 1933 гг. характеризуется данными табл. 28.

Таблица 28

а) По мельничному отделению

Годы	Мельницы находились в работе (маш.-час)	Простои (маш.-час)	% использования мельниц	Производительность в *т* руды в маш.-час
1932	42 749	27 522	60,83	6,24
1933	58 635	11 445	83,67	5,84

б) По отделению фильтрации

Годы	Вакуум-фильтры Американ			Производительность фильтра в *т* концентрата в маш.-час
	чистая работа в маш.-час	простои в маш.-час	% использования	
1932	30 680	12 280	71,4	5,1
1933	42 362	10 198	80,6	5,04

Во втором полугодии 1933 г., в период наибольшей нагрузки первой очереди фабрики, фильтры Американ отработали 22 016 маш.-час, с процентом использования 83,1% и производительностью 5,6 *т* апатитового концентрата в маш.-час.

Расходные коэфициенты по первой очереди обогатительной фабрики за 1932 и 1933 гг. приведены в табл. 29.

Таблица 29

Годы	Расход на 1 *т* апатитового концентрата		Расход на 1 *т* руды в *кг*			
	электроэнергии в kW	топлива (дров) в $м^3$	олеиновой кислоты	торфяной смолы	керосина	жидкого стекла
1932	55	0,203	0,61	1,84	0,45	0,37
1933	51,8	0,188	0,291	0,444	0,436	0,381

1934 год был первым годом работы апатито-нефелиновых фабрик двух очередей. Секции второй очереди фабрики вступили в эксплоатацию с III квартала 1934 г. Значительная часть второго полугодия была периодом освоения технологического процесса.

Работа обогатительных фабрик двух очередей за 1934 г. и за первое полугодие 1935 г. характеризуется данными табл. 30.

Таблица 30

Период времени	Переработка апатитовой руды в тыс. *т*	Выработка концентрата в тыс. *т*	Содержание P_2O_5 в %			Выход концентрата в %		Потеря концентрата в %
			в руде	в концентрате	в хвостах	расчетный	товарный	
Первое полугодие 1934 г.	267,5	142,6	—	—	—	—	—	—
Второе полугодие 1934 г.	490,8	240,2	—	—	—	—	—	—
Весь 1934 г.	758,2	382,8	25,97	39,56	5,72	62,44	58,18	7,94
Первое полугодие 1935 г.	615,2	358,0	26,0	39,4	3,72	63,68	58,86	7,57

В отношении содержания фосфорного ангидрида, влаги и тонины апатитовый концентрат выработки 1934 г. в сравнении с продукцией 1933 г. характеризуется табл. 31.

Таблица 31

Годы	Содержание P_2O_5 в %	Влага в %	Тонина (остаток на сите 80 меш в %)
1933 . . .	39,8	1,79	2,17
1934 . . .	39,56	1,11	1,43

Несмотря на выпуск тонкого апатитового концентрата, мельницы тонкого измельчения фабрики работали с производительностью выше проектной, что было достигнуто изменением соотношения между шарами различных диаметров.

Производительность мельниц на 1 маш.-час выражалась в 1934 г. по первой очереди фабрики в 5,02 *т*, по второй очереди в среднем за год 11,15 *т* руды, в том числе в IV квартале 1934 г. 12,07 *т*.

Работу барабанных фильтров Вольфа с металлической сеткой 180 меш иллюстрируют данные работы фабрики за сентябрь и октябрь 1934 г. (табл. 32).

Таблица 32

Месяцы	Работало фильтров	Выработка концентрата в *т*	Число маш.-час работы	Средняя производительность на маш.-час в *т* концентрата
Сентябрь	8	27 597	3386	8,1
Октябрь	9	24 231	2676	9,0

Расходные коэфициенты по Апатито-нефелиновой обогатительной фабрике в г. Кировске в 1934 г. в сравнении с 1933 г. даны в табл. 33.

Таблица 33

Годы	Расход на 1 *т* концентрата			Расход реагентов на 1 *т* руды в *кг*				Шаров на 1 *т* руды
	электроэнергии в kW	воды в $м^3$	топлива (дров) в $м^3$	олеиновой кислоты	торфяной смолы	керосина	жидкого стекла	
1933	51,18	4,0	0,188	0,291	0,444	0,316	0,085	0,42
1934	59,13	4,01	0,157	0,428	0,436	0,381	0,107	0,80

Повышение расходного коэфициента по электроэнергии обусловлено было в 1934 г. затратами на пусковой период второй очереди фабрики и большим расходом руды на тонну концентрата в связи с ее пониженным качеством.

Электропылеуловители Коттрель, несмотря на сложность и на то обстоятельство, что работа их в таком крупном масштабе нова не только для СССР, но и для мировой практики, были освоены в 1934 г. полностью и работали с коэфициентом полезного действия 97%.

Фабричная стоимость тонны апатитового концентрата, по отчетным данным за 1934 г., была 53 р. 45,8 к. Удельный вес слагающих ее элементов составлял в %:

Сырье (апатитовая руда)	38,5
Вспомогательные материалы	3,8
Электроэнергия	15,0
Топливо (дрова)	6,8
Заработная плата с начислениями	4,6
Цеховые расходы	23,2
Общезаводские расходы	8,2
Суммарно	100

Без учета стоимости сырья—апатитовой руды — и общезаводских расходов цеховая стоимость процесса обогащения апатитовой хибинской руды выражалась в 28 р. 50 к., причем электроэнергия и топливо составляли от нее 40,8%.

Несмотря на то, что выработка апатитового флотационного концентрата из хибинских руд являлась делом новым, в котором притом не было чужих образцов, самый технологический процесс вполне удовлетворительно был разрешен и быстро освоен.

IX. СТАХАНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ НА АПАТИТОВОМ РУДНИКЕ ИМ. С. М. КИРОВА

Развитие стахановского движения на Апатитовом руднике им С. М. Кирова, начавшееся в октябре 1935 г., организовывалось по следующим основным направлениям: а) своевременная подготовка рабочих мест и улучшение их обслуживания в про-

цессе, б) вместо интеграции труда, практикуемой на апатитовой фабрике, — диференциация труда — освобождение рабочих ведущих профессий от вспомогательной работы и, в частности, освобождение разборщиков от откатки руды из забоев, в) уплотнение рабочего дня рабочих, обслуживающих агрегаты (экскаваторы, компрессоры и т. д.).

Работа по внедрению стахановских методов на руднике носила в IV квартале 1935 г. больше подготовительный характер, непосредственно же участвовали в стахановском движении преимущественно отдельные рабочие из ведущих профессий (бурильщики, разборщики).

В результате применения новых методов работы выработка основными рабочими рудника была резко повышена. Так, отдельные разборщики руды при норме 19 *т* довели ее до 30 *т*, т. е. 158% нормы.

На бурении — отстающем участке по подземным работам — были достигнуты значительные успехи; так, отдельные рабочие имели производительность до 28 *пог. м*, т. е. 185% нормы.

Всего на конец 1935 г. имелось 244 рабочих, перевыполнявших нормы свыше 140 и до 185%.

К отрицательным итогам подготовительного периода (конец 1935 г.) относилось слабое развитие стахановского движения на таких участках, как экскаваторный парк, где оно имело все возможности и условия для полного разворота.

В 1936 г. рудник перешел к организации стахановских суток, пятидневок, декад и месячника. Подготовка к ним сводилась в организационно-техническом отношении к организации текущего и предупредительного ремонта оборудования и сооружений, проверке и ремонту воздухопроводной магистрали, очистке бункеров шахты, составлению графиков грузопотока, подготовке рабочих мест и т. п.

В итоге стахановской организации работ была достигнута в декаду с 15 по 24 февраля 1936 г. производительность разборщика в среднем 32,2 *т* (при средней норме, существовавшей на руднике, 20 *т*) и средняя производительность труда по добыче 9,15 *т*.

За апрель 1936 г. рудник работал по намеченному стахановскому плану, причем в апреле стахановский план 175 000 *т*, или 7 000 *т* добычи руды в сутки, выполнен фактически на 100,6%.

В мае 1936 г. стахановский план в сутки намечен был в 7 300 *т* по добыче и 4 100 *т* по вскрыше. Фактическое его выполнение колебалось по добыче от 7 250 до 8 200 *т* и по вскрыше от 3 800 до 5 000 *т* скальной массы в сутки.

Благодаря стахановской организации работ производительность труда значительно возросла в I квартале 1936 г., что иллюстрирует табл. 34.

Достигнутая в I квартале 1936 г. производительность в среднем по бурению за маш.-смену приведена в табл. 35.

Неудовлетворительной была работа станков канатно-ударного бурения, отставало в сравнении с подземным перфораторное бу-

Таблица 34

Производительность	в 1936 г. за I кв. в *т*	В % к I кв. 1935 г.	В % к IV кв. 1935 г.
Разборщика на вскрыше в горной массе	25,85	146,2	144,4
» » добыче рудной массы	30,18	159,4	130,5
Средняя по вскрыше на основного рабочего	13,41	211,5	167,4
Средняя по добыче на основного рабочего	7,94	150,3	117,1

Таблица 35

	Производительность за 1 маш.-смену			
	на вскрыше		на добыче	
	пог. м	% к плану	*пог. м*	% к плану
а) Перфоратор Клаймакс	10,7	107	14,6	104,3
» Флоттман	17,6	117,4	23,13	115,7
Канатно-ударный станок Маршаль	1,01	67,4	3,3	165
б) Подземное бурение СР-5	24,2	—	—	—
» » S-49	22,1	—	—	—
» » ручное	21,1	—	—	—
» » (среднее)	21,4	142	—	—

рение на открытых работах. Причины – отсутствие систематической подготовки рабочих мест, недостаточное освоение техники, влияние недостаточного рабочего давления воздуха, устраненное с пуском компрессора в 100 $м^3$.

При должной организации рабочих мест производительность труда на руднике может быть значительно выше. Об этом говорит опыт работы лучших стахановцев, выполнявших норму по бурению на 200—260% и по рудоразборке — на 180—200%.

Существовавшая на руднике форма оплаты труда способствовала развитию стахановского движения, расширение же прогрессивно-премиальной системы после решения Отраслевой горно-химической конференции явилось новым рычагом для еще большего его расширения.

О росте кадров стахановцев свидетельствуют данные за первые 4 месяца 1936 г. (табл. 36).

Таблица 36

Месяцы	Число рабочих на руднике	Из них стахановцев, выполняющих новые нормы свыше 140%	Из числа стахановцев число мастеров высокой производительности
Январь	2940	275	35
Февраль	3012	282	48
Март	3067	381	50
Апрель	2951	501	50

На руднике с мая 1936 г. введены новые нормы. Количество пересмотренных норм, не считая норм механических мастерских, было свыше 300. Средний процент повышения норм — 28,5. Введенные новые нормы в основном выполняются, и имеются все основания, чтобы их перевыполнять.

В частности, приняты следующие нормы:

а) По уборке породы рудоразборщиками на открытых горных работах — 28 *т* при работе одного разборщика на один путь и откатке груза и порожняка откатчиками, 26 *т* — то же при работе звена на одну вагонетку при одном пути, 24 *т* — то же при откатке вагонетки на 25 *м* самими разборщиками.

б) По бурению на открытых работах (в *пог. м*):

Таблица 37

Бурение	По руде пятнистой и полосчатой		По сетчатке		По крепким нефелино-сиенитовым породам	
	шпуры вертикальные	шпуры вниз под углом 30—60°	шпуры вертикальные	шпуры вниз под углом 30—60°	шпуры вертикальные	шпуры вниз под углом 30—60°
Канатно-ударным станком Маршаль	3,5	—	2,6	—	1,75	—
Перфоратором Клаймакс тяжелого типа	17	16	15	13	12	10
Флоттман AN-65 . .	28	25	25	20	18	16
Молотком БМ-13 . .	24	23	20	19	16	14

в) По бурению в подземных выработках (в *пог. м*):

Таблица 38

Бурение	По руде пятнистой и полосчатой		По сетчатке		По породам крепким	
	шпуры горизонтальные или с наклоном ± 15°	шпуры восстающие под углом 30—50°	шпуры горизонтальные или с наклоном ± 15°	шпуры восстающие под углом 30—50°	шпуры горизонтальные или с наклоном ± 15°	шпуры восстающие под углом 30—50°
Молотком Флоттман и Клаймакс	25	—	21	—	16	—
Молотком БМ-13 . .	23	21	11	17	15	13
Перфоратором на колонке СР-5	30	—	26	—	19	—
Телескопным перфоратором S-49 в выработках вертикальных и под углом до 50°	—	20	—	14	—	11

г) По отбойке руды в камер-магазинах при бурении перфораторами: легкого типа Клаймакс и Флоттман — 65—35 *т*, молотком БМ-13—30 *т*, на колонке СР-5—50 *т*.

д) По отбойке руды по системе подэтажного обрушения молотками Флоттман AN-65, Клаймакс и «Пневматика» БМ-13—26 *т*.

В итоге стахановского движения на Апатитовом руднике им. С. М. Кирова мощность рудника принята Горно-химической конференцией уже на 1936 г. в 2,2 млн. *т* при плане на 1936 г. 2,0 млн. *т* и фактической добыче в 1935 г. 1,555 млн. *т*, т. е. на 41% выше его производительности за 1935 г.

X. НОВЫЕ МОЩНОСТИ КИРОВСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВОЙ ФАБРИКИ

(Итоги Отраслевой горно-химической конференции и стахановского движения)

Горно-химическая промышленность и ее отрасли—апатитовая, калийная, фосфоритная и серная — имеют особое значение.

Они являются в значительной мере сырьевой базой химии, о которой т. Орджоникидзе сказал на Декабрьском пленуме Центрального комитета ВКП(б) следующее:

«Химией мы бедны; химическая промышленность у нас слаба; надо во всяком случае нажать на нашу химическую промышленность, и она без всякого сомнения даст гораздо больше, чем дает сегодня».

От того, насколько горно-химическая промышленность сумеет использовать свои резервы, зависит нагрузка и выпуск химикалий химическими заводами, перерабатывающими продукцию, получаемую от обогатительных фабрик горно-химической промышленности.

В разрешении задачи максимального использования производственных возможностей сырьевых баз химии и в выявлении резервов наличного оборудования обогатительных фабрик горно-химической промышленности сыграли огромную роль стахановские методы и стахановская организация работ.

Примером может быть Кировская апатитовая флотационная фабрика. При установлении на 1936 г. программы, близкой к 1 млн. *т* апатитового концентрата, многие не верили в ее выполнение; считали, что фабрику придется переоборудовать, перестраивать, и только тогда можно будет получить заданное количество апатитового концентрата.

При обсуждении в секции и на пленуме Горно-химической конференции оказалось, что с Апатитовой фабрики можно получить в 1936 г. 1,1 млн. *т* апатитового концентрата и довести ее производительность до 1,5 млн. *т* после реконструкции двух секций первой ее очереди.

До конференции имелись опасения, что суперфосфатные и фосфорито-размольные заводы будут работать не с полной нагрузкой, что резервы туковой промышленности в области производства суперфосфата, фосфоритной муки и других видов минеральных удобрений не смогут быть использованы полностью, в силу того, что на ближайшие годы, до строительства новых обогатительных фабрик, нехватит апатитового концентрата и местных видов фосфатного сырья — фосфоритов.

Оказалось, что благодаря стахановским методам и организации работ на предприятиях горно-химической промышленности и использованию резервов действующих обогатительных фабрик возможно получить в 1937 г. количество горно-химического сырья не меньшее, чем было предусмотрено в решениях XVII Съезда партии, не построив ни одной новой апатитовой фабрики, ни одной новой обогатительной фабрики по другому виду фосфатного сырья — фосфоритам, серному концентрату.

Оказалось, что производственные возможности любой отрасли горно-химической промышленности — апатитовой, калийной, фосфоритной и серной — значительно выше проектной мощности предприятий.

Стало это возможным благодаря тому, что обогатительные фабрики горно-химической промышленности пошли по пути проведения в жизнь основных требований стахановской организации работ — тщательной подготовки рабочих мест, интеграции труда, интенсификации использования наличного оборудования, повышения производительности последнего, увеличения процента рабочего времени всех агрегатов фабрик на базе возросшей технической квалификации и культурности рабочих масс, повышения процента извлечения полезного вещества исходной руды рационализацией технологического процесса и за счет снижения потерь до минимума.

Кировская апатитовая обогатительная фабрика треста «Апатит» — одна из самых северных фабрик; тем не менее она не осталась в стороне от охватившего нашу страну стахановского движения.

На апатитовой фабрике с механизированным процессом, конвейерным ритмом работы стахановское движение пошло в основном по линии уплотнения рабочего дня, по линии уменьшения количества обслуживающего персонала на один агрегат.

До стахановского движения в 1935 г. сменное количество рабочих по мельничному пролету было следующее: классификаторщиков 6, насосчиков 3, питательщиков 15, шуровщиков 14, всего 38 чел. После перехода на стахановскую организацию работы обслуживают мельничный пролет 2 классификаторщика без насосчиков, 10 питательщиков и 6 шуровщиков, всего 18 чел.

По флотационному пролету апатитовой фабрики было в 1935 г. 7 насосчиков, 6 флотаторщиков, 7 реагентщиков, всего 20 чел. в смену; с мая 1936 г. работают в смену 3 флотаторщика, 3 реагентщика, 2 насосчика в смену, всего 8 чел.

По фильтрационному пролету работало в смену до стахановского движения 7 фильтровальщиков и 5 насосчиков, а с мая 1936 г.—3 фильтровальщика и 3 насосчика, т. е. 6 чел. вместо 12.

По дробильному цеху работало 48 грузчиков, а с мая 1936 г. оставлено 24 чел.

По всей апатитовой обогатительной фабрике рабочих было на 1 января 1935 г. 1900 чел., а на 1 января 1936 г. стало 1300 чел.; до 1 мая 1936 г. было 905 чел., а с 1 мая 1936 г.—716 чел., или около 38% к количеству рабочих на 1 января 1935 г.

По линии уплотнения рабочего дня апатитовая фабрика проделала значительную работу, но по количеству рабочих на фабрике, которое, наряду с временем работы фабрики и ее агрегатов в году, определяет культурность работы обогатительных фабрик, апатитовая фабрика еще не достигла американских норм.

Производительность труда на 1 отработанный чел.-день в тоннах апатитового концентрата, при немеханизированном топливном хозяйстве фабрики, составила за I квартал 1936 г. по основному производству 5 *т*, а по фабрике в целом — 3,26 *т*. В пересчете на переработанную исходную руду это составляет соответственно 8 *т* руды по основному производству и 5,3 *т* по фабрике в целом.

Между тем по данным, оглашенным в обогатительной секции конференции инженерами Механобра А. А. Азаровым и В. А. Перовым, американские фабрики дают на одного рабочего, включая ремонтных рабочих, лабораторию и пр., следующие цифры в человеко-смену:

Юнайтед-Верде	39 *т*
Олд-Доминион	26 »
Майами (Аризона)	73 »
Никоуари	19 »

Основным аппаратом, определяющим производительность флотационных фабрик, являются шаровые мельницы. По проекту апатитовой фабрики производительность главного агрегата фабрики — шаровой мельницы — определена была в 11 *т/час* при тонине измельчения—остаток 6—8% на сите 100 меш, что соответствует производительности порядка 9,5 *т/час* при фактическо-

крупности измельчения остаток 4% на сите 100 мещ, установленной стандартом на апатитовый концентрат, отгружаемый суперфосфатным заводом.

Работа фабрики в стахановские дни января и февраля 1936 г. позволила Горно-химической конференции принять на 1936 г. производительность шаровой мельницы в 14 *т/час*, т. е. на 47% выше проектной. Фактическая производительность за I квартал 1936 г. составляла в среднем 14,3 *т/час*.

Исходя из того, что цифра 14 *т/час* не является для мельницы предельной и может быть превзойдена работниками Кировской фабрики по введении грохочения перед крупным и средним дроблением и путем уменьшения крупности материала, поступающего в мельницы, Конференция наметила на 1937 г. производительность шаровой мельницы $7' \times 10'$ в 15,5 *т/час*.

Одним из главнейших факторов, определяющих производительность флотационных фабрик, является чистое время работы агрегатов фабрики. Этот фактор служит в то же время и показателем освоения оборудования флотационной фабрики и культурности работы фабрики.

Вследствие сравнительно короткого периода работы наших флотационных фабрик (развитие флотации в СССР началось с 1926—1927 гг.), союзная практика не выработала более или менее стабильных норм использования оборудования флотационных фабрик.

Время простоев на наших фабриках хотя и сокращается с каждым годом, но все же очень велико — до 30% и выше.

Американская обогатительная практика показывает высокие примеры использования рабочего времени, которые должны быть достигнуты нами в ближайшие годы.

Представителями Механобра тт. Азаровым и Перовым приведены были на Обогатительной секции Отраслевой горно-химической конференции следующие данные из американской практики (табл. 39).

Таблица 39

Наименование обогатительной фабрики	Суточная производительность в *т*	Отношение рабочего времени к *возможному* календарному в %	Отчетный период (год)
Майами (Аризона)	17 141	97,5	1930
Моренси	4 645	95,5	1927
»	4 928	95,5	1928
»	4 728	95,5	1929
Юнайтед-Верде	1 532	94,5	1930
Олд-Доминион	1 515	93,5	1930

Учитывая, что наша флотационная практика следовала до сих пор в значительной мере американской практике, учитывая некоторые местные условия работы мельниц на апатитовой фабрике в настоящее время, Отраслевая горно-химическая конференция приняла процент использования мельничного оборудования Ки-

ровской фабрики во времени в 94% и количество рабочих дней в году — 360, вычтя 5 дней на революционные праздники. Фактически процент использования машинного времени выразился за I квартал 1936 г. по мельничному пролету в среднем в 82,1.

По дробильному отделению апатитовой фабрики Конференцией принята пропускная способность одной секции при существующей крупности дробленой руды в 200 *т/час* без предварительного грохочения перед дробилками.

В этом отделении имеется резерв в производительности. Он может быть использован на снижение крупности выдаваемого продукта и тем самым дает возможность повысить производительность шаровой мельницы к 1937 г. до 15,5 *т/час*.

Производительность всего дробильного отделения фабрики при работе двух секций дробилок Тельсмит и Саймонс (третья секция резервная) определена Конференцией в 2,5 млн. *т* исходной апатитовой руды в год.

По фильтрационному пролету производительность барабанного фильтра Вольфа с внутренней фильтрующей поверхностью по 25 $м^2$ каждый принята в 10 *т/час* и использование фильтров — в 90%. Фактически достигнутая производительность барабанного фильтра составила в среднем за I квартал 1936 г. 9,63 *т/час* и процент использования машинного времени — 82,2%.

Фильтрационное отделение апатитовой фабрики лимитирует производительность всей фабрики. К очередным мероприятиям относятся поиски радикальных мер в отношении подбора и изготовления надлежащей фильтровальной ткани и приобретение для двух секций первой очереди фабрики дополнительно восьми барабанных фильтров с внутренней фильтрующей поверхностью по 20 $м^2$ каждый.

Производительность сушильного барабана диаметром 2,4 *м*, длиной 12 *м* принята в среднем 14 *т/час*. По сушильному пролету с десятью барабанными сушилками и с учетом сушилок первой очереди фабрики мощность фабрики Конференцией определена в 1,21 млн. *т* апатитового концентрата в год. Фактическая производительность сушилки за I квартал 1936 г. выразилась в среднем в 12,9 *т* на 1 маш.-час и процент использования машинного времени — 86,1.

По постановлениям Горно-химической конференции мощность 1,21 млн. *т* не является предельной для апатитовой фабрики и может быть повышена до 1,5 млн. *т* апатитового концентрата в год тониной остаток 4% на сите 100 меш путем реконструкции первой очереди фабрики (две секции) по типу второй очереди (пять секций), главным образом в части фильтрационного и сушильного отделений фабрики для доведения их мощности до мощности дробильного цеха и мельничного пролета, обеспечивающих работу фабрики на 1,5 млн. *т*.

Капитальные затраты по реконструкции фабрики и по доделочным работам — диспетчеризация, вентиляция, механизация топливного хозяйства — относительно невелики и составят не более 25% от капитальных затрат на тонну концентрата при строительстве новой апатитовой обогатительной фабрики.

Конференцией намечена возможность дальнейшего увеличения мощности Кировской апатитовой обогатительной фабрики примерно до 1,8 млн. *т* апатитового концентрата с содержанием 39,2% фосфорного ангидрида в год сооружением специальной додрабливающей установки, с тем, чтобы вести технологический процесс на крупном материале (60 меш) и повысить этим производительность мельничного пролета на 20% — до 3,0 млн. *т* по исходной 26%-ной апатитовой руде.

Такое повышение мощности апатитовой фабрики требует уточнения проектными расчетами. Возможно, что придется отказаться от сооружения додрабливающей установки, если это повлечет за собой надобность в усилении дробильного цеха, внутризаводского транспорта, в переустройстве погрузочных устройств и подъездных путей, т. е. потребует коренных переустройств по фабрике.

Из достижений апатитовой фабрики следует еще отметить: а) введение теплой воды для флотации, что позволило получить чрезвычайно интересный эффект: извлечение фосфорного ангидрида повысилось с 85—86 до 91—92% и содержание его в хвостах снизилось до 2,0—2,5% и б) проведение большой работы по полной замене дефицитной и весьма дорогой (7 500 руб. за тонну) олеиновой кислоты торфяной смолой с керосином и небольшим количеством асидола.

По Кировской апатито-нефелиновой фабрике введена сдельно-премиальная система оплаты труда: по дробильному цеху — за степень измельчения, по мельничному пролету — за производительность шаровых мельниц, по флотационному пролету — за увеличение извлечения фосфорного ангидрида, по фильтрационному — за увеличение извлечения фосфорного ангидрида и за снижение влажности кэка и по сушильному пролету — за увеличение извлечения фосфорного ангидрида.

Новые нормы выработки, установленные с 1 мая 1936 г. по Кировской апатито-нефелиновой обогатительной фабрике, следующие: дробильный цех —2000 *т* руды в смену, пролет тонкого измельчения —1680 *т* руды в смену из расчета производительности шаровой мельницы 14 *т* за 1 маш.-час при 15 одновременно работающих мельницах, по пролету флотации и фильтрации — по 1000 *т* концентрата в смену и извлечение P_2O_5 не ниже 91%, по сушильному цеху, работающему на четырехсменном графике,—750 *т* концентрата в смену.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА КО ВТОРОЙ ЧАСТИ

1. Сборники «Хибинские апатиты». Издано 8 т. Т. I, 1930; III, 1931; VII, 1934 г., Л., НИС НКТП.

2. Антонов, Л. Б. и Гринвальд, И. М. Добыча апатита. Справочник по удобрениям. Л., ОНТИ, Госхимтехиздат. 1933 (177—79).

3. Влодавец, В. И. Хибинские апатитовые месторождения как сырьевая база для суперфосфатной промышленности. «Удобр. и урожай». 1929, № 1 (24—26).

4. Воин, И. И. Подсчет запасов апатитовых руд Кукисвумчорр-Юкспорской линзы. Апатито-нефелиновые месторождения Хибинских тундр Кукисвумчорр-Юкспор. Сборн. 1, Тр. Научн. инст. по удобрениям, 1932, вып. 89 (100—05).

5. Вольфкович, С. И. Получение фосфорных удобрений из Хибинских апатитов. «Хибинские апатиты», сборн. III, 1931.

6. Гришин, Н. М. и Покровский, Н. М. К вопросу о подземной эксплоатации апатито-нефелиновой руды (пятнистой разности). Апатито-нефелин. месторождения Хибинск. тундр; Кукисвумчорр-Юкспор. Сборн. 1, Тр. Научн. инст. по удобрениям, 1932, вып. 89 (106—22).

7. Казаков, А. В. Разведанные запасы фосфоритов и апатитов главнейших промышленных месторождений СССР. Справ. по удобрен., Л., ОНТИ, Госхимтехиздат, 1933 (1—7).

8. Куплетский, Б. М. Ископаемое сырье по эконом. областям СССР. Сев.-зап. область Кольский район. Хим. техн. справочник. 1. Ископаемое сырье. Ч. 2, Л., Научн.-хим. техн. изд-во, 1925 (1—6 и дополн. 317).

9. Куплетский, Б. М. Распределение полезных ископаемых Кольского п-ва на основе его геологического строения. Мат. к I Всесоюзн. конфер. по размещен. производ. сил СССР во 2-м пятилетии. Л., Гос. эконом. изд., 1932 (1—11).

10. Лабунцов, А. Н. Апатитовые месторождения в Хибинских тундрах Кольского п-ва и возможность их практического использования. «Горн. журнал», 1926, № 12 (796—98).

11. Лабунцов, А. Н. К вопросу об использовании хибинского апатита в нашей фосфорной промышленности. «Горн. журнал», 1928, № 1 (32—35).

12. Лабунцов, А. Н. и Щербина, В. В. Полезные ископаемые Хибинских тундр и применение их в промышленности. Путевод. по Хибин. тундрам. Л., Изд. Акад. наук, 1931 (18—29).

13. Лабунцов, А. Н. Апатит и главные его мировые месторождения. «Хибин. апатиты», сборн. VII, Л., 1934.

14. Пермяков, В. М. Роль и значение хибинских нефелинов, сиенитов и нефелиновых хвостов для керамической промышленности. «Хибин. апатиты», сборн. III., Л., 1931.

15. Полканов, А. А. Геология, история металлогении и образования полезных ископаемых Кольского п-ва. Сборн. «Проблема Кольского п-ва», Л., Геолразведиздат, 1933 (4—37).

16. Соловьянов, Г. Н. Кольский промышленный узел. С предисл. ЦБК и акад. А. Е. Ферсмана, Л., Экономгиз, 1932 (1—124).

17. Тищенко, В. Е. Результаты хим.-технолог. исследов. работ по использов. апатита и сопровождающих его пород в 1930 г. «Хибинские апатиты», сборн. III, Л., 1931.

18. Унанянц, Т. П. Добыча фосфоритов и апатитов в СССР. Справ. по удобрениям, Л., ОНТИ, Госхимтехиздат, 1933 (860—61).
19. Ферсман, А. Е. Хибинские апатиты как сырье для суперфосфатной и стекольно-фарфоровой промышленности. Полезн. ископ. Ленингр. обл. и проблема их использования. Л., изд. Облсовнархоза. 1929 (5—11).
20. Ферсман, А. Е. Нефелино-апатитовая проблема. Тр. Инст. по изуч. севера, 1930, вып. 46 (3—13).
21. Ферсман, А. Е. Апатит, его месторождения, геохимия, запасы и экономика. «Хибин. апатиты», сборн. 3, Л., Гос. н.-техн, изд., Ленхимсектор, 1931 (124—68).
22. Ферсман. А. Е. Перспективы развития Хибинских месторождений, 2-я суперфосфатная конференция в Хибиногорске. Мат. Технолог. отдела НИУ. М., 1931, тетр. 11 (2—3) (на стеклографе).
23. Ферсман, А. Е. Сырьевая база Хибинского горно-химического комбината. Сборн. «К вопросу организации хим. комбината на Кольском п-ве», Л., Госхимтехиздат, 1932 (8—28).
24. Фивег, М. П. Очерк Кукисвумчорр-Юкспорского апатитового месторождения. Апатито-нефелин. месторождения Хибин. тундр. Кукисвумчорр-Юкспор. Сборн. 1 Тр. Научн. инст. по удобрениям, 1932, вып. 89 (24—76).
25. Черный, Л. М. Забойное опробование и рудоразборка апатито-нефелиновой руды Кукисвумчоррского рудника. Апатито-нефелин. месторождения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

М. П. Фивег. **Минералогия и месторождения**

I. Минералогическая характеристика апатита 5
1. *Химический состав* 5
2. Физические свойства 10
II. Описание апатитовых месторождений 11
1. *Апатитовые месторождения СССР* 13
а) Хибинские апатитовые месторождения 13
б) Другие месторождения апатита в СССР 35
2. Месторождения апатитов вне СССР 39
III. *Условия концентрации фосфора при дифференциации магмы* 43
Главнейшая литература к I части 45

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

А. П. Шубин. **Запасы, условия залегания, добыча, обработка**

I. Запасы апатитов 47
II. Условия залегания рудного тела апатитовых месторождений 52
III. *Разработка апатитовых месторождений* 54
1. Способ вскрытия апатитовых месторождений. Вскрытие Кукисвумчоррского месторождения 57
2. Горные работы по добыче руды на открытых апатитовых разработках. Открытый рудник им. С. М. Кирова в Хибинах 68
3. Описание системы разработки Кукисвумчоррского апатитового месторождения подземным способом 77
а) Система выемки с магазинированием в камерах 79
б) Система блокового обрушения 89
в) Сопоставление систем камер-магазинной и блокового обрушения 90
IV. Механическое обогащение апатитовой руды 91
1. Технологическая часть обогатительных флотационных фабрик апатито-нефелиновой руды 91
2. Аппаратура, применяемая при механическом обогащении апатита 101
3. Описание апатито-нефелиновых обогатительных фабрик, работающих в г. Кировске 106
V. Технология применения апатита. Отрасли народного хозяйства, потребляющие апатит и его отходы 122
VI. *Использование отходов обогащения апатитовых руд* 125

VII. Технические условия. Общесоюзные стандарты апатитовой продукции 128
1. Определение 128
2. Технические условия 128
3. Упаковка и погрузка 128
4. Правила приемки 128
а) Отбор проб 128
б) Методы испытания 128
5. Технические условия на апатитовую руду для металлургических заводов 131
VIII. Экономические и статистические данные по добыче и обработке апатитов 132
IX. Стахановское движение на Апатитовом руднике им. С. М. Кирова 138
X. Новые мощности Кировской обогатительной апатито-нефелиновой фабрики 142
Главнейшая литература ко II части 148

БИБЛИО
Геолог
Арм. Фил.
СССР

Редактор Е. Ф. Шешко. Технич. редактор А. С. Полосина. Корректор О. И. Киселева. График Б. И. Некрасов. Сдано в набор 3/I 1937 г. Подписано к печати 5/V 1937 г. Тираж 2000 экз. Формат бумаги 62×94 1/16. Объем 9 1/2 печ. л.+3 вкл. Уч. авт. л. 11,6. Изд. № 2. Учетный № 1704.
Уполн. Главлита № Б-19555 Заказ 344.
1-я Журн. тип. ОНТИ. Москва, Денисовский пер., 30.

БИБЛИОТЕКА
Геол
Арм. Фил.
...ит.
...ЗР

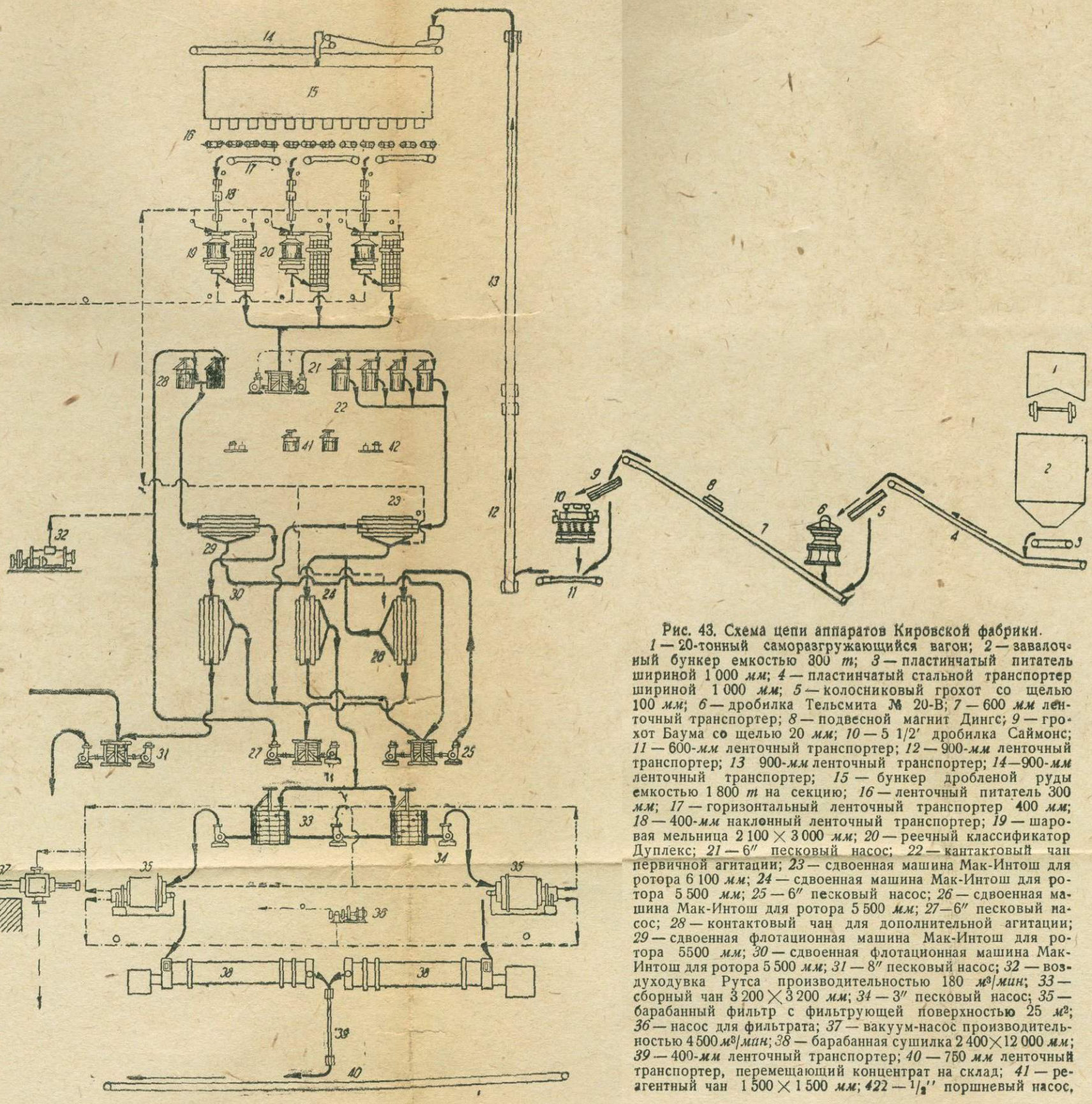


Рис. 43. Схема цепи аппаратов Кировской фабрики.
1 — 20-тонный саморазгружающийся вагон; *2* — завалочный бункер емкостью 300 *т*; *3* — пластинчатый питатель шириной 1 000 *мм*; *4* — пластинчатый стальной транспортер шириной 1 000 *мм*; *5* — колосниковый грохот со щелью 100 *мм*; *6* — дробилка Тельсмита № 20-В; *7* — 600 *мм* ленточный транспортер; *8* — подвесной магнит Дингс; *9* — грохот Баума со щелью 20 *мм*; *10* — 5 1/2′ дробилка Саймонс; *11* — 600-*мм* ленточный транспортер; *12* — 900-*мм* ленточный транспортер; *13* 900-*мм* ленточный транспортер; *14*—900-*мм* ленточный транспортер; *15* — бункер дробленой руды емкостью 1 800 *т* на секцию; *16* — ленточный питатель 300 *мм*; *17* — горизонтальный ленточный транспортер 400 *мм*; *18* — 400-*мм* наклонный ленточный транспортер; *19* — шаровая мельница 2 100 × 3 000 *мм*; *20* — реечный классификатор Дуплекс; *21* — 6″ песковый насос; *22* — кантактовый чан первичной агитации; *23* — сдвоенная машина Мак-Интош для ротора 6 100 *мм*; *24* — сдвоенная машина Мак-Интош для ротора 5 500 *мм*; *25* — 6″ песковый насос; *26* — сдвоенная машина Мак-Интош для ротора 5 500 *мм*; *27*—6″ песковый насос; *28* — контактовый чан для дополнительной агитации; *29* — сдвоенная флотационная машина Мак-Интош для ротора 5500 *мм*; *30* — сдвоенная флотационная машина Мак-Интош для ротора 5 500 *мм*; *31* — 8″ песковый насос; *32* — воздуходувка Рутса производительностью 180 *м*³/*мин*; *33* — сборный чан 3 200 × 3 200 *мм*; *34* — 3″ песковый насос; *35* — барабанный фильтр с фильтрующей поверхностью 25 *м*²; *36* — насос для фильтрата; *37* — вакуум-насос производительностью 4 500 *м*³/*мин*; *38* — барабанная сушилка 2 400 × 12 000 *мм*; *39* — 400-*мм* ленточный транспортер; *40* — 750 *мм* ленточный транспортер, перемещающий концентрат на склад; *41* — реагентный чан 1 500 × 1 500 *мм*; *42* — 1/2″ поршневый насос,

М. П. Фивег и А. П. Шубин

Ц. 2 р. 75 к.
Т. 40-5-3

645