

Er. 6.1  
246

TALLINNA POLÜTEHNILISE  
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 246

# ТРУДЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ

СБОРНИК СТАТЕЙ

III





Ер.6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
СЕРИЯ А № 246 1967

---

УДК 622

# ТРУДЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ

СБОРНИК СТАТЕЙ

III

ТАЛЛИН 1967

Ep. 7751



Eesti NSV

Teaduslik  
Raamatukogu

Teaduste Akadeemia



*Х. Х. Арукюла, Л. Х. Кальман, Э. А. Люютре*

### **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ МААРДУСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА**

В карьере Маардуского химического комбината добывают фосфоритную руду. Горные работы в карьере производились четырьмя уступами. Разрыхление пород осуществлялось буровзрывными работами и погрузка экскаваторами.

Верхний уступ составляли известняк и глауконитовый песчаник средней мощностью 5 метров. Второй уступ (диктионемовый сланец) имел среднюю мощность 3,5 метра и третий уступ (оболовый песчаник) — 1,5—2 метра. Четвертый уступ составляла фосфоритная руда средней мощностью 0,8—0,9 метра.

В карьере Маарду буровзрывные работы являются одними из наиболее трудоемких процессов и их стоимость составляет значительную часть себестоимости фосфоритной руды. По предложению Маардуского химического комбината бригада кафедры горного дела ТПИ в 1964 и 1965 гг. изучала состояние буровзрывных работ в карьере, определила технико-экономические показатели и возможности снижения стоимости буровзрывных работ.

Бурения скважин производились станками вращательного бурения СВБ-2 диаметром 115 миллиметров. В качестве взрывчатого вещества применяли аммонит, для взрывания — детонирующий шнур, огнепроводной шнур, детонаторы и пиротехнические реле времени.

В 1963 и 1964 гг. бурение скважин производилось в трех уступах (известняк, песчаник и фосфоритная руда), взрывание в этих же уступах и кроме этого крепкого пиритного прослойка (мощностью 5—15 сантиметров) накладными зарядами.

Объемы буровых работ приведены в таблице 1.



Объемы буровых работ станками СВБ-2 в карьере Маарду

		Объем работ				Средняя сменная производит. бурения, <i>п.м</i>
		Горные работы, $m^3$	Бурение			
			<i>п.м</i>	по паспорту	фактически	
Известняк	1963	515900	71730	0,144	0,139	37,7
	1964	1021000	74608			
Песчаник	1963	228970	17744	0,100	0,077	196,5
	1964	327000	33064			
Руда	1963	459461*	10568	0,100	0,023	174,7
	1964	424900*	20345			
Итого	1963	459461*	100042		0,218	
	1964	424900*	128017			

\* в тоннах

По данным таблицы 1 наибольший был объем бурения в известняке и наименьший в фосфоритной руде. При этом надо учитывать, что при фосфоритной руде применяли и ручное вращательное бурение, точный объем которого по отчетности не удалось установить.

Значительное уменьшение удельного объема бурения в известняке в 1964 году являлось результатом внедрения новых, рекомендованных бригадой Таллинского политехнического института, паспортов буровзрывных работ с увеличением расстояния между скважинами до 4—4,5 м (в 1963 году 2,5—3 метра).

Увеличение удельного объема бурения в руде в 1964 году являлось результатом уменьшения объема ручного бурения.

Общий объем бурения на 1 тонну руды увеличился в 1964 году до 0,302 м (в 1963 году 0,218 м). Это было вызвано увеличением средней взрывающей мощности уступов. Для разработки 1  $m^3$  фосфоритной руды удаляли известняка в 1964 году 5,76  $m^3$  и в 1963 году — 2,76  $m^3$ , песчаника в 1964 году — 1,84  $m^3$  и в 1963 году — 1,22  $m^3$ .

Расход аммонита и детонирующего шнура приведен в таблице 2.

По данным таблицы 2 наибольший был расход аммонита в известняковом уступе, который имел большую мощность и более крепкие породы. Значительное увеличение общего рас-



## Расход взрывчатых материалов в карьере Маарду

		Расход аммонита			Расход детонирующего шнура		
		кг	на един. работы		м	на един. работы	
			факт.	по плану		факт.	по плану
Известняк	1963	129710	0,251	0,438	83171	0,161	0,268
	1964	202049	0,248		88900	0,109	
Песчаник	1963	30493	0,133	0,154	50695	0,221	0,257
	1964	42972	0,174		61350	0,250	
Пирит	1963	5501	0,048	0,217	7572	0,075	0,206
	1964	5360	0,041		3100	0,024	
Руда	1963	73782	0,160	0,100	236782	0,515	0,284
	1964	36677	0,112		93180	0,284	
Итого	1964	239488	0,522		378220	0,825	
	1963	287059	0,876		246350	0,755	

Примечание: Данные за 1964 год приведены по итогам трех последних кварталов.

хода аммонита в известняковом уступе за 1964 год определилось увеличением средней взрываемой мощности в 2 раза. Уменьшение фактического удельного расхода аммонита и детонирующего шнура в известняке по сравнению с плановым было достигнуто за счет усовершенствования буровзрывных работ.

Увеличение удельного расхода аммонита в песчанике за 1964 год объяснилось тем, что в 1963 году часть песчаника удалили без взрывных работ.

В 1964 году усовершенствование взрывных работ в фосфоритной руде обеспечило уменьшение удельного расхода аммонита на 30% и детонирующего шнура на 45% по сравнению с 1963 годом.

Стоимость буровзрывных работ определилась по фактическим данным отчетности карьера (см. таблицы 3 и 4).

По данным таблицы 3 выявлено следующее:

1. В карьере Маарду стоимость буровзрывных работ на 1 тонну добываемой руды составляла в 1963 году 40,6 коп. и в 1964 году 64,3 коп. Увеличение стоимости буровзрывных работ в 1964 году объяснилось в основном увеличением средней мощности разрыхляемых буровзрывными работами покрывающих пород (2,5 раза).



Стоимость буровзрывных работ в карьере Маарду на 1 тонну добываемой руды, в копейках

Виды затрат	Известняк		Песчаник		Пирит		Руда		Итого	
	1963	1964	1963	1964	1963	1964	1963	1964	1963	1964
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бурение . . . . .	12,9	21,2	0,7	1,8			1,6	2,6	15,2	25,6
в т. ч. заработная плата	5,4	10,9	0,3	0,9			0,7	1,3	6,4	13,1
материалы . . . . .	3,3	5,3	0,2	0,5			0,3	0,7	3,7	6,5
амортизация . . . . .	3,9	4,6	0,2	0,4			0,5	0,6	4,6	5,6
электроэнергия . . . . .	0,3	0,4	—	—			0,1	—	0,5	0,4
Взрывание . . . . .	11,3	24,6	3,2	6,5	0,4	0,7	10,5	6,9	25,5	38,7
в т. ч. заработная плата	0,6	2,6	0,1	0,5			0,4	0,5	1,1	3,6
материалы . . . . .	10,7	22,0	3,1	6,0	0,4	0,7	10,1	6,4	24,3	35,1
Итого буровзрывные работы . . . . .	24,2	45,8	3,9	8,3	0,4	0,7	12,1	9,5	40,6	64,3



Стоимость буровзрывных работ в карьере Маарду

	Стоимость на 1 м <sup>3</sup> , в копейках		Стоимость на 1 тонну добываемой руды, в копейках		
	1963	1964	1963	1964	1964*
Известняк . . .	21,6	18,9	24,2	45,8	21,9
Песчаник . . .	7,8	10,8	3,9	8,3	5,5
Пирит . . . .	1,6**	1,7**	0,4	0,7	0,7
Руда . . . . .	4,9	3,9	12,1	9,5	9,5
Итого . . . . .			40,6	64,3	37,6

\* приведена к средней мощности разрыхляемых пород 1963 года.

\*\* в пирите стоимость определена на 1 м<sup>2</sup>.

2. Основную часть из общей стоимости буровзрывных работ составляла стоимость взрывных работ в 1963 году — 63% и в 1964 году — 60%.

3. По уступам наибольшая была стоимость буровзрывных работ на известняковом уступе: в 1963 году — 60% и в 1964 году 71% от общей стоимости буровзрывных работ.

4. В известняковом уступе наибольшие были затраты на взрывные материалы и заработную плату бурильщиков.

По данным таблицы 4 выявлено следующее:

1. Усовершенствование буровзрывных работ в карьере Маарду в 1964 году обеспечило сравнительную экономию 7,5% по сравнению с 1963 годом.

2. Наибольшая сравнительная экономия в 1964 году 9,5% достигнута в известняковом уступе за счет внедрения новых паспортов буровзрывных работ с увеличением расстояния между скважинами.

Анализ фактической стоимости буровзрывных работ показывает, что в карьере Маарду можно рекомендовать следующие мероприятия для снижения стоимости буровзрывных работ:

1) увеличение рабочего времени буровых станков СВБ-2, что позволяет увеличить годовую производительность станков, уменьшить необходимое количество станков и затраты (заработная плата и амортизация) на бурение 1 м скважины;

2) рационализация паспортов буровзрывных работ с целью снижения удельного объема бурения и удельного расхода взрывчатых материалов;

3) введение текущей отчетности по важнейшим показателям буровзрывных работ, что позволяет более эффективно



проверить выполнение параметров буровзрывных работ и их организацию.

Кроме определения и анализа стоимости и параметров буровзрывных работ в карьере Маарду бригадой Таллинского политехнического института были проведены испытания:

1) новых паспортов буровзрывных работ в известняковом уступе;

2) бурового станка БМК-4 для бурения скважин в пирите, песчанике и в известняке;

3) приспособления для увеличения усилия подачи буровых станков СВБ-2.

В июле и августе 1964 года бригадой Таллинского политехнического института были проведены наблюдения при испытании новых паспортов буровзрывных работ в известняковом уступе. Средние показатели при испытании были следующие:

расстояние между скважинами —	4,2 м,
ширина взрываемой полосы	12,9 м,
длина „	73 м,
количество скважин	51
глубина скважин	8,1 м,
объем взрываемых пород	6560 м <sup>3</sup> ,
объем бурения	0,064 нм/м <sup>3</sup> ,
величина заряда	27 кг,
расход аммонита	0,210 кг/м <sup>3</sup> ,
расход детонирующего шнура	0,097 нм/м <sup>3</sup> .

Качество взрывных работ было удовлетворительное и стоимость буровзрывных работ уменьшилась на 8,3 коп. или 38% по сравнению со средней стоимостью буровзрывных работ на 1 м<sup>3</sup> известняка за 1963 год.

При увеличении расстояния между скважинами до 5,5 метров по данным опытных взрывов стоимость буровзрывных работ уменьшилась, но значительно ухудшилось качество взрывания (негабаритные куски), что затрудняло работу экскаваторов. Поэтому оптимальным расстоянием в известняковом уступе можно рекомендовать 4—4,5 метра.

Пиритный прослоек в карьере Маарду имеет большую крепость, и попытки пробурения его станками СВБ-2 не удалось. Для исследования возможности бурения скважин в пирите и в песчанике станками ударного бурения БМК-4 были проведены опытные бурения. Испытания показали, что бурение скважин в пирите и в песчанике станками БМК-4 технически возможно, но экономически несобосновано, поскольку значительное снижение скорости бурения скважин в



песчанике удорожает стоимость работ на 15% по сравнению с вариантом взрывания пирита накладными зарядами и бурения скважин в песчанике станком вращательного бурения СВБ-2.

В результате научно-исследовательских работ, проведенных кафедрой горного дела Таллинского политехнического института в 1961 — 1963 г.г., выяснилось, что усилие подачи станка СВБ-2 не обеспечивает рационального режима бурения скважин диаметром 115 мм в крепких известняках. Недостаточное усилие подачи определяло сравнительно малую скорость бурения и стойкость буровых коронок, а также вызывало значительную вибрацию при бурении.

С целью увеличения усилия подачи по предложению кафедры горного дела были спроектированы и изготовлены дополнительные тяжести общим весом 450 кг.

Результаты испытаний бурового станка СВБ-2 с дополнительными тяжестями в известняковом уступе приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты испытания станка СВБ-2 с дополнительными тяжестями в карьере Маарду

Среднее время бурения, в мин. сек.				
I	I испытание		II испытание	
	без доп. тяжести	с дополн. тяжестями	без доп. тяжести	с дополн. тяжестями
1	2	3	4	5
I штанга	4.33	2.28	1.14	0.55
II штанга	14.35	10.30	12.50	10.48
III штанга	13.16	11.54	12.15	12.46
IV штанга	16.04	11.58	13.48	13.12
V штанга	2.57	4.14	4.12	3.43
VI штанга	4.05	3.21	4.14	3.50
Итого	55.30	44.25	48.33	45.14

Средняя стойкость буровых коронок

	I испытание	II испытание
при бурении без дополнительных тяжестей	14.2	18.1
при бурении с дополнительными тяжестями	14.1	22.6



Испытание в известняковом уступе бурового станка СВБ-2 с увеличением усилия подачи показало, что средняя скорость бурения увеличивается на 16% и стойкость коронок на 25%. Наибольший эффект наблюдался при бурении в более крепких прослойках.

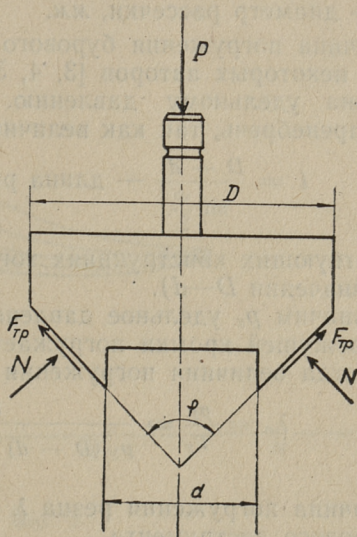
Использование станков СВБ-2 с приспособлением для увеличения усилия подачи обеспечивает снижение стоимости бурения 1 метра скважины в известняковом уступе на 7,9 коп. (14%).



## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕВОГО УГЛА РЕЗЦА НА СКОРОСТЬ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Многие резцы, применяемые для бурения шпуров и скважин, имеют концевой угол  $\varphi < 180^\circ$ . Как влияет величина концевой угла на скорость бурения, в настоящее время мало изучено. По теории, выработанной проф. В. Г. Михайловым [1], можно сделать следующий вывод: скорость бурения  $v$  обратно пропорциональна  $\sin \frac{\varphi}{2}$ . Экспериментальные работы, проведенные автором данной статьи, этого не подтверждают. Р. Шеферд [2] дает следующие данные: при изменении торцевого угла от  $131^\circ 38'$  до  $109^\circ 16'$  скорость бурения увеличивается от  $76,2 \text{ мм/мин}$  до  $87,6 \text{ мм/мин}$  (бурили гранит;  $\varnothing$  резца  $12,7 \text{ мм}$ ; усилие подачи  $102,5 \text{ кг}$ ).

Фиг. 1





Пытаемся более подробно решить этот вопрос. Резец с торцевым углом  $\varphi$  погружается в породу под действием силы  $P$  (фиг. 1). На режущие кромки в плоскости чертежа действуют силы нормального давления  $N$  и силы трения  $F_{\text{тр}}$ . Сумма проекций всех этих сил на вертикальную плоскость при равновесии должна равняться нулю.

$$2N \sin \frac{\varphi}{2} + 2F_{\text{тр}} \cos \frac{\varphi}{2} - P = 0.$$

$$F_{\text{тр}} = N \cdot f,$$

где  $f$  — коэф. трения между породой и твердым сплавом.  
После замены получим

$$2 N \sin \frac{\varphi}{2} + 2 N f \cos \frac{\varphi}{2} - P = 0.$$

$$N = \frac{P}{2 (\sin \frac{\varphi}{2} + f \cos \frac{\varphi}{2})} [\text{кг}].$$

Удельное давление на 1 мм длины режущей кромки

$$p_1 = \frac{2 N \sin \frac{\varphi}{2}}{D - d} = \frac{P}{(D - d) (1 + f \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2})},$$

где  $D$  — диаметр резца, мм,

$d$  — диаметр рассечки, мм.

Величина погружения бурового инструмента в породу по данным некоторых авторов [3, 4, 5] приблизительно пропорциональна удельному давлению. Масштабным фактором можно пренебречь, так как величина,

$$l = \frac{D - d}{\sin \frac{\varphi}{2}} \text{ — длина режущей кромки}$$

в существующих конструкциях того же порядка (при постоянным значением  $D-d$ ).

Обозначим  $p_y$  удельное давление, при котором один мм длины режущей кромки погружается в породу на глубину 1 мм. Тогда величина погружения в направлении нормали

$$\lambda_n = \frac{p_1}{p_y} = \frac{P}{p_y (D - d) (1 + f \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2})} \text{ мм.}$$

Величина погружения резца  $\lambda$  в направлении оси вращения бурового инструмента



$$\lambda = \frac{\lambda_n}{\sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{P}{p_y (D-d) (\sin \frac{\varphi}{2} + f \cos \frac{\varphi}{2})} \text{ мм.}$$

Толщина снимаемой стружки  $h$  пропорциональна начальному погружению резца в породу

$$h = \kappa \lambda,$$

где  $\kappa$  — коэф. пропорциональности.

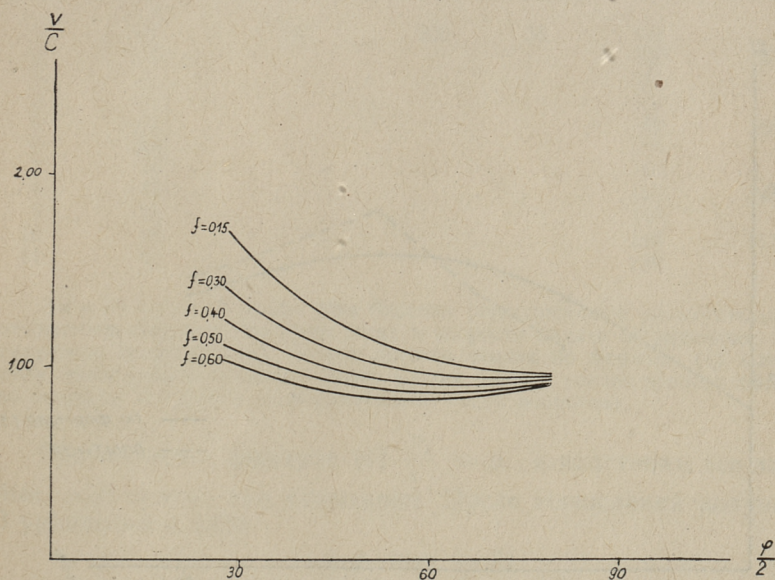
Можно предположить, что коэф. пропорциональности  $\kappa$  зависит от диаметра резца.

Скорость бурения при двухперьевом резце

$$v = 2hn = 2kn \frac{P}{p_y (D-d) (\sin \frac{\varphi}{2} + f \cos \frac{\varphi}{2})} \text{ мм/мин,} \quad (1)$$

где  $n$  — скорость вращения бурового инструмента, об/мин.

Исследуем, как зависит скорость бурения от коэф. трения  $f$  и от конечного угла. Для этого построим графики  $v = \Phi \frac{\varphi}{2}$  для различных значений коэф. трения  $f$  (фиг. 2).



Фиг. 2



$$v = C \frac{1}{\sin \frac{\varphi}{2} + f \cos \frac{\varphi}{2}},$$

где

$$C = \frac{2knP}{p_v (D-d)}.$$

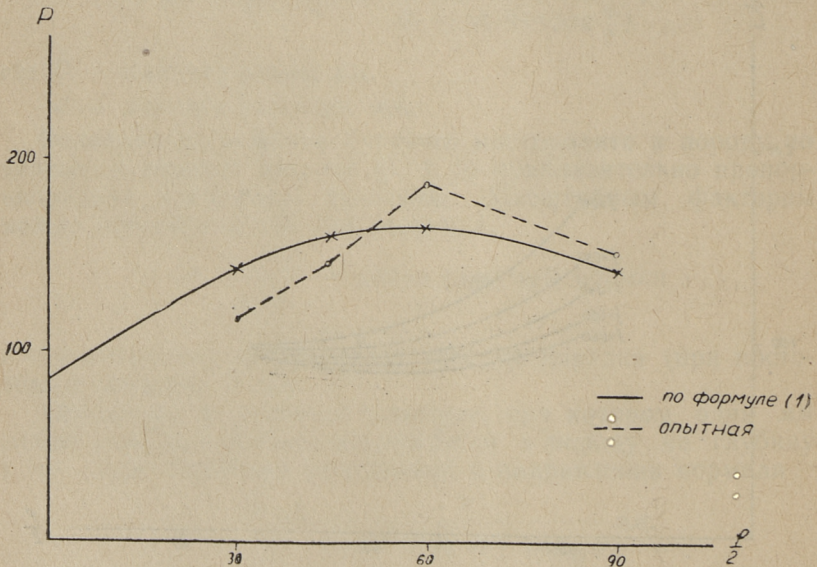
Определяем, при каком значении коэф. трения скорость бурения будет минимальной.

$$\frac{dv}{d\left(\frac{\varphi}{2}\right)} = C \frac{f \sin \frac{\varphi}{2} - \cos \frac{\varphi}{2}}{\left(\sin \frac{\varphi}{2} + f \cos \frac{\varphi}{2}\right)^2} = 0,$$

$$f \sin \frac{\varphi}{2} - \cos \frac{\varphi}{2} = 0,$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{f}. \quad (2)$$

При этом значении угла  $\frac{\varphi}{2}$  скорость бурения будет минимальной.



Фиг. 3



Для проверки полученных формул провели опытное бурение на лабораторном стенде для определения режимов вращательного бурения.

При испытании бурили блок известняка с коэф. крепости по Протодьяконову  $\sim 7$ . Предварительно в блок бурили шпуры диаметром 42 мм, которые расширили резцами внешним диаметром 80 мм (фиг. 3). Концевые углы резцов при испытании 180°, 120°, 90°, 60°. Во время испытаний скорость вращения резца 300 об/мин и скорость подачи резца 300 мм/мин. Скорость вращения резца и скорости подачи во время испытаний регистрировали осциллографом Н-700. Подача на стенде осуществляется гидроцилиндром. Осевое усилие во время испытаний регистрировали универсальным измерительным прибором системы доктора Гейгера с датчиком давления. Испытания дали следующие результаты.

Таблица 1

№ опыта	Концевой угол резца	Скорость вращения резца, об/мин	Скорость подачи, мм/мин	$D-d$ , мм	Приведенное значение осевого усилия, кг	среднее, кг
1	180	300	300	38	141	151
2	180				150	
3	180				161	
4	120				181	188
5	120				180	
6	120				204	
7	90				180	148
8	90				116	
9	90				149	
10	60				105	117
11	60				129	

Замечание. Так как при бурении регистрировали незначительные отклонения скорости вращения резца и скорости подачи от заданных, для получения сравнительных данных осевого усилия по формуле (1) вычисляли приведенные значения осевого усилия (осевое усилие пропорционально скорости и обратно пропорционально числу оборотов).

Обозначаем в формуле (1)  $\frac{P_y}{\kappa} = p$  и подставим все данные, полученные при испытании. После вычислений получим 3 уравнения в виде

$$a_n p + c_n = 0 \quad (3)$$

и 8 уравнений в виде

$$a_n p + b_n p f + c_n = 0, \quad (4)$$



где  $p$  и  $f$  неизвестные, а  $a_n, b_n, c_n$  — числа, изменяющиеся от уравнения к уравнению.

Из этой системы уравнений по принципу Лежандра [6] определяем самые вероятные значения  $p$  и  $f$ .

Для этого из первых трех уравнений (3) определяем среднее приближительное значение  $p$  (обозначим  $p_0$ ) и подставляя  $p_0$  в уравнения (4), определяем среднее приближительное значение  $f$  (обозначим  $f_0$ ).

Предположим теперь, что

$$p = p_0 + p' \quad \text{и} \quad f = f_0 + f'$$

Составим систему линейных условных уравнений в виде

$$\begin{cases} a_1 (p_0 + p') + b_1 (p_0 + p') (f_0 + f') + c_1 = 0, \\ \dots \\ a_{11} (p_0 + p') + b_{11} (p_0 + p') (f_0 + f') + c_{11} = 0. \end{cases}$$

По принципу Лежандра эти условные уравнения приводятся к нормальным уравнениям

$$\begin{cases} p' \Sigma a_k^2 + f_1 \Sigma' a_k b_k + \Sigma a_k c_k = 0, \\ p' \Sigma a_k b_k + f' \Sigma b_k^2 + \Sigma b_k c_k = 0. \end{cases}$$

При решении данной системы определяем  $p'$  и  $f'$  (поправки первоначальным приближительным значениям  $p_0$  и  $f_0$ ).

После проведенных вычислений получим

$$\begin{aligned} p &= 7,42, \\ f &= 0,59. \end{aligned}$$

По формуле (1) вычисляем  $P$  при полученных значениях  $p$  и  $f$  для различных значений  $\frac{\Phi}{2}$ .

Таблица 2

$\frac{\Phi}{2}$	90°	60°	45°	30°	0°
Вычисленное . . . . .	141	164	159	142	83
Опытное . . . . .	151	188	148	117	—

По этим данным построим график  $P = \Phi \frac{\Phi}{2}$ .

На прессе Бринелля определили  $p_y$ , вдавливая пластинку твердого сплава длиной 20 мм в тот же известняк, который применяли при бурении. При этом определили сжимающее усилие и углубление пластинки (угол заточки пластинки 70°



соответствовал углу заточки резцов в направлении нормали режущей кромки). Опыт повторяли 10 раз.

После вычислений  $p_y = 27,6 \text{ кг/мм/мм}$ .

Для данной серии опытов коэф.  $k = \frac{p_y}{p} = \frac{27,6}{7,42} = 3,72$ .

### Выводы

1. Скорость бурения при постоянном осевом усилии зависит от концевой угла резца  $\varphi$ .
2. Скорость бурения имеет минимальное значение, когда

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{f}.$$

3. При больших ( $f = 0,6 - 0,7$ ) значениях коэф. трения неправильно выбранный концевой угол может уменьшить скорость бурения  $\sim 20\%$  в сравнении с концевым углом  $180^\circ$ .
4. При коэф. трения  $f = 0,15$ , концевой угол  $60^\circ$  увеличивает скорость бурения  $\sim 60\%$  в сравнении с концевым углом  $180^\circ$ .
5. Целесообразно с точки зрения скорости бурения конструировать буровые резцы с концевым углом меньше  $60^\circ$ .
6. Используемая автором методика испытания дает возможность вычислить коэф. трения твердого сплава с породой при удельных давлениях, действующих под резцом при бурении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Михайлов. Сверление шпуров. Metallurgizdat, 1947.
2. Р. Шеферд. Физические свойства и буримость горных пород. Углетехиздат, 1956.
3. Л. А. Шрейнер. Физические основы механики горных пород. Госгеологиздат, 1950.
4. Б. И. Воздвиженский. Буровая механика. Гостехиздат, 1949.
5. В. С. Владиславлев. Разрушение пород при бурении скважин. Гостехиздат, 1958.
6. Б. М. ЩигOLEV. Математическая обработка наблюдений. Физматиздат, 1962.







А. Х. Рейер

## АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ГЛИНАХ ЛОНТОВАСКОЙ СВИТЫ

Данная работа представляет сводку о результатах исследований, проведенных автором на базе материала буровых кернов из района Таллина:

В комплексе минералов глин лонтоваской свиты наряду с явно терригенными (напр., кварц) и явно аутигенными (напр., глауконит, карбонаты) компонентами встречаются и образования, которых отнести к тому или другому типу не всегда просто. Это, в первую очередь, относится к комплексу т. н. «глинистых минералов», среди которых встречаются как терригенные (сформировавшиеся еще на суше), так и аутигенные (сформировавшиеся в процессе диагенеза) образования. Отличить одни от других практически невозможно, а это не всегда позволяет провести резкой границы между минералами терригенными и аутигенными.

Учитывая вышеуказанное, в группу аутигенных минералов относятся сульфиды железа (главным образом пирит), глауконит, карбонаты, а также часть глинистых минералов и окисей (гидроокисей) железа.

**Сульфиды железа** встречаются в трех разновидностях, отличающихся друг от друга не только по морфологическим признакам, но и по времени образования. По всему разрезу свиты довольно равномерно рассеяны мелкие (0,0015 — 0,003 мм) кубические кристаллики пирита. Электронно-микроскопические исследования позволяли аналогичных кристалликов установить и в фракциях <0,001 мм. К этому же морфологическому типу относятся и пиритовые тела несколько больших размеров, состоящие из 5—20-ти мелких одиночных кристаллов.

Так как рассматриваемые мелкие кристаллики пирита в виде включений встречаются в других аутигенных минералах — карбонатах и глауконите, то это свидетельствует о раннедиагенетическом происхождении рассеянных кристал-



ликов пирита. Образование их связано, по-видимому, с химическими реакциями между коллоидными растворами железа и сероводородом органического происхождения. Равномерное распределение пиритовых кристалликов можно считать и доказательством о равномерном распределении органического материала в свежем осадке.

Вторая морфологическая разновидность сульфида железа — конкреционные агрегаты, встречающиеся также по всему разрезу свиты. Несмотря на некоторую разнообразность внешней формы, строение пиритовых конкреций всегда одно и то же. Это агрегаты мелких пиритовых кристалликов, причем последние по величине тождественны с описанными выше одиночными кристалликами. Как показывает микроскопическое изучение шлифов, пиритовые конкреции по существу представляют собой сцементированные пиритом участки обломочной породы. Рост их несомненно происходил от центра к периферии. Так как наряду с терригенным материалом в конкрециях встречаются и глауконитовые зерна, то конкреционный пирит является по времени образования более поздним образованием, чем рассеянные кристаллики пирита. Возможно, что пиритовые конкреции являются результатом дальнейшего роста отдельных пиритовых зерен, который происходил под поверхностью осадка в еще не уплотненном материале в сильно восстановительной среде, созданной скоплением разложившихся органических остатков.

Третьим морфологическим типом сульфида железа можно считать пиритизированные остатки организмов. Несмотря на разнообразность внешних форм пиритизированных организмов, у них и много общего. Подавляющее большинство пиритизированных органических остатков представлено полосовидными пленками, состоящими из мелких пиритовых кристалликов, причем все они простираются только в горизонтальном направлении. По времени образования они очевидно синхронны с рассеянными пиритовыми кристалликами. По общепринятому мнению их считают пиритизированными следами ползания илоедов, но можно предполагать, что отдельные пиритизированные органические остатки (например, разветвляющиеся формы или исключительно тонкие пленки с резкими очертаниями) являются и следами каких-то растений.

Существенным фактом, имеющим важное значение для понимания хода диагенетических процессов, является то обстоятельство, что вокруг пиритизированных остатков в фиолетово-бурых глинах почти всегда заметен ореол голубовато-зеленовато-серого цвета, приобретающий в некотором удалении от скопления пирита постепенно фиолетово-бурый цвет



основной массы породы. Нет сомнений в том, что между возникновением указанных ореолов и пиритизацией органических остатков имеется непосредственная связь. Очевидно, что вокруг разлагающегося органического вещества создавалась среда, в которой не могли существовать окиси и гидроокиси железа, играющие роль пигмента в фиолетово-бурых глинах. Разлагавшееся органическое вещество превратилось очевидно в сорбирующий центр, куда мигрировали коллоиды окиси и гидроокиси железа из близкой окрестности, давая начало пиритовым агрегатам. Все это происходило в ранней стадии диагенеза, когда еще сохранили свою мобильность коллоидные соединения железа.

Параллельно с сульфидами железа целесообразно рассматривать окисей и гидроокисей железа, которые с генетической точки зрения подразделяются на первичные и вторичные.

Первичные окиси (гидроокиси) железа в большинстве случаев являются продуктами коагуляции поступивших с суши коллоидных растворов железа, продуктов выветривания железосодержащих минералов. Интересно отметить, что обильное накопление окисей (гидроокисей) железа происходило в сравнительно глубоководной части бассейна, так как обусловленным им фиолетово-бурым цветом обладают самые мелководные участки разреза. Совпадение области коагуляции окисей (гидроокисей) железа с областью максимального накопления глинистых минералов свидетельствует о коллоидной природе глинистых минералов. Наличие коллоидов гидросиликатов очевидно препятствовало ранней коагуляции коллоидов железа, которые в прибрежных участках могли выпадать только совместно с гидросиликатами, давая начало глаукониту. Для накопления окисей трехвалентного железа в прибрежной части бассейна условий не существовало.

Вторичные окиси (гидроокиси) железа распространены по всему разрезу, причем большая часть их связана с диагенетическим («гальмиролитическим») окислением сульфидов железа. Практически везде, где встречаются большие скопления сульфидов железа (пиритизированные органические остатки, конкреции), в шлифах можно заметить участки основной массы, окрашенные в буроватый цвет. Можно предполагать, что в определенной стадии диагенеза, после образования диагенетических сульфидов железа, изменился окислительно-восстановительный потенциал среды и произошло частичное окисление минералов, содержащих двухвалентное железо. Сильнее всего окислением были затронуты менее устойчивые сульфидные соединения. В меньшей степени окисление действовало на двухвалентное железо карбонатов, кри-



сталлы которых часто в периферийных частях окрашены в бурый цвет. Лишь изредка встречаются глаукониты с буроватым оттенком.

В связи с диагенетическим окислением в окрестности пиритизированных органических остатков, а иногда и прямо на их поверхности появляются белые или желтоватые шарики мелкозернистого гипса. Образование их несомненно связано с воздействием освободившихся при выветривании сульфидов серной кислоты на карбонатные минералы. Обилие вокруг некоторых органических остатков гипсовых шариков, а также наблюдаемый иногда сплошной покров гипса над пиритизированными остатками заставляет думать, что некоторые организмы могли иметь карбонатную оболочку, которая при осаждении, как правило, разрушилась и растворилась, но обогатила осадок вокруг органического остатка карбонатами.

Глауконит является самым характерным минералом всего разреза, встречающийся во всех его участках, но в неодинаковом количестве. При этом заметна явная связь между относительным содержанием глауконита и гранулометрическим составом породы. В алевритовых суглинках верхней и нижней частей разреза глауконита значительно больше, чем в алевритовых глинах средней части разреза.

Формы появления глауконита в породе разнообразны. Самый универсальный тип глауконита, который встречается во всех участках разреза (но не всегда является господствующим), представляют зеленые изометрические зерна с мелкоагрегатным строением. Обычно они по размерам совпадают с обломочными зернами или превышают размеры последних в 2—3 раза. Своеобразные глауконитовые зерна обнаружены в самой песчанистой части разреза. Это большие сплюснутые глауконитовые зерна, диаметр которых более чем в 10 раз превосходит диаметр обломочных зерен. Интересно отметить, что во всех этих глауконитовых зернах рассеяно много мелких кристалликов пирита. Округлая форма и мелкоагрегатное строение глауконита описанного типа свидетельствует о конкреционном характере его.

Второй тип глауконитовых зерен отличается от первого угловатостью и большим разнообразием цвета. Наряду с типичными для глауконита зелеными зернами встречаются и почти безцветные, оливково-зеленые и буроватые зерна. В шлифах часто встречаются угловатые глауконитовые зерна, в которых при скрещенных николях только местами обнаруживается мелкоагрегатное строение. По приведенным выше признакам можно заключить, что глауконит второго типа метасоматического происхождения, т. е. является псевдоморфозой по терригенным минералам. Чаше всего глауко-



нитизацию подвергались слюды, но следы перехода в глауконит иногда наблюдаются и у других минералов, включая даже кварц. Довольно часто в метасоматических глауконитах наблюдаются скопления кристалликов пирита.

Третий тип глауконита — это ксеноморфные, расположенные в пустотах между терригенными зернами зеленые, иногда почти бесцветные зерна. По своей структуре рассматриваемые зерна не отличаются от описанных выше изометрических зерен. В более глинистой части разреза, в фиолетово-бурых глинах ксеноморфные зерна глауконита теряют резкие очертания, свойственные им в алевритовой части разреза, и переходят постепенно в окружающую основную массу.

Все указанные выше разновидности глауконита образовались вероятно в каких-то центрах глауконитизации, которые в прибрежных участках были представлены коллоидными взвешьями. В более удаленных от берега участках образование глауконита происходило, в основном, метасоматическим путем, в реакциях между коагулировавшимися в осадок гелями и терригенными зернами. Глауконит является одним из ранних аутигенных минералов в породе, причем самые благоприятные условия для его накопления существовали в прибрежных участках бассейна. Это подтверждается как более высоким содержанием глауконита в более мелководных голубовато-зеленоватосерых суглинках и алевролитах, так и крупными размерами глауконитовых агрегатов. Желваковидная форма и мелкоагрегатное строение глауконитовых зерен свидетельствуют о коллоидном происхождении первичного агрегата и его дальнейшем переходе в кристаллическую фазу. Коллоидную стадию прошли очевидно и глауконитовые зерна метасоматического происхождения.

Карбонаты встречаются в зависимости от типа породы в разрезе в двух видах. В верхней части разреза, голубовато-зеленоватосерых суглинках и алевролитах содержание карбонатов сравнительно высокое, достигая у нижней границы распространения указанных пород 6—8%. Карбонат в этой части разреза встречается в виде пойкилитового цемента, так как из-за крупных размеров кристаллов, превышающих размеры терригенных зерен 10 и более раз, в них много зерен других минералов. Так как среди таких включений встречаются и пиритовые и глауконитовые зерна, можно считать доказанным, что карбонат является одним из позднейших аутигенных минералов. В терригенных компонентах, включенных в карбонаты или соприкасающихся с карбонатами, часто заметны следы коррозионных процессов. Это у некоторых мелких зерен привело к их полному замещению карбонатом, т. е. образованию псевдоморфоз.



Весьма примечательно, что кристаллы карбонатов во всем комплексе голубовато-зекеноватосерых пород очень сходные по средним размерам. Средний диаметр их колеблется в пределах 0,2—0,3 мм и остается таким же даже тогда, когда карбонаты в породе образуют базальный цемент. В последнем случае при скрещенных николях в цементе мозаичной структуры хорошо заметны компоненты с приведенными выше размерами.

Вторая разновидность карбоната, которая является единственной в фиолетово-бурых алевритовых глинах, это мелкие (0,01—0,02 мм) идиоморфные (ромбоэдрические) зерна, которые довольно равномерно рассеяны по всей породе. Концентрация их сравнительно невысокая, а в низах разреза карбонаты исчезают вообще.

Минералогическое изучение карбонатов показало, что это представители доломитовой группы, содержащие всегда некоторую примесь карбоната железа. Примечательно, что количество железистой примеси находится в прямой зависимости от содержания железа в породе.

Как указано выше, среди глинистых минералов также значительную роль могут играть аутигенные образования. По наблюдениям над глинистой оновной массы в шлифах установлено, что среди глинистых минералов на долю аутигенных образований приходится от 10 до 30%. При этом в более мелководных осадках значение аутигенных глинистых минералов выше, чем в глубоководных. Как аллотигенные, так и аутигенные глинистые минералы относятся к группе диоктаэдрических гидрослюдов, что доказано оптическими, термическими и рентгеноструктурными исследованиями. Аутигенные гидрослюды образовались, по-видимому, главным образом в результате свертывания коллоидных растворов, но изучение шлифов показывает, что довольно распространен в породе и переход в гидрослюды некоторых терригенных компонентов. Это относится не только к слюдам, гидратация которых происходило особенно интенсивно в мелкоалевритовых и пелитовых фракциях, но и к полевым шпатам и кварцу. Вокруг обломочных зерен полевых шпатов и кварца часто хорошо заметны «оторочки» с яркими интерференционными цветами, обусловленными аутигенными гидрослюдами. В зернах полевых шпатов метасоматические гидрослюды появились и на стенках трещин спайности, что в мелких зернах иногда привело к полному замещению полевых шпатов гидрослюдами. Сохранность таких псевдоморфоз гидрослюдов по полевым шпатам доказывает, что они могли образоваться только в процессах диагенеза в неподвижной обстановке. При переносе они разрушались-бы.



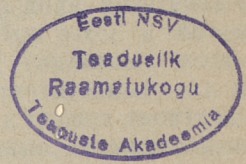
Кроме описанных выше аутигенных минералов в разрезе обнаружены еще зерна полевых шпатов, главным образом плагиоклазов кислого состава, свежесть и идиоморфность которых свидетельствуют об их аутигенном происхождении. Из всех плагиоклазов породы они составляют не более 10—20%.

Наконец возможно, что аутигенными являются и некоторые совершенные по кристаллографической форме зерна турмалина, но доказывать это пока не удалось.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. Х. Х. Арукюла, Л. Х. Кальман, Э. А. Люютре. Изучение возможности снижения стоимости буровзрывных работ в карьере Маардуского химического комбината . . . . .	3
2. Э. А. Люютре. Влияние концевго угла резца на скорость вращательного бурения . . . . .	11
3. А. Х. Рейер. Аутигенные минералы в глинах лонтоваской свиты	19









ТРУДЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ  
СБОРНИК СТАТЕЙ III

Таллинский политехнический институт

Редактор Х. Арукюла

Технический редактор Я. Мыттус

Сдано в набор 6 IX 1966. Подписано к печати 23 III 1967. Бумага  $60 \times 90^{1/16}$ .  
Печатных листов 1,75. Учетно-изд. листов 1,2. Тираж 500. МВ-03229.  
Заказ № 1647. Типография «Пунане Тяхт», Таллин, ул. Пикк, 54/58.

Цена 8 коп.







Цена 8 коп.

12