

© **К.Е. Есипчук**, Н.М. Коновал, Л.В. Семка, 2010

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. М.П. Семеновко НАН Украины, г. Киев*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ ГРАНИТОВ**

Рассмотрены разные типы ошибок, возможных во время выполнения химического анализа горных пород. Предложена новая методика пересчета химического состава гранитоидов на их приблизительный модалый минеральный состав. Приведен химический состав 12 образцов гранитоидов житомирского и кировоградского комплексов и выполнен его пересчет на минеральный состав по этой методике с целью оценки качества анализов.

**Ключевые слова:** химические анализы, определение, качество, граниты, ошибка, новая методика, оценка.

В опубликованной геологической литературе и фондовых материалах (геологических отчетах) накопились десятки тысяч химических анализов разных типов горных пород, в частности гранитоидов, использование которых для петрохимических построений затруднено из-за разной степени их достоверности, обусловленной погрешностями, имеющими разную природу. Наибольшие погрешности связаны с неверным опробованием, а также грубым нарушением методики анализа. Следующую группу погрешностей составляют случайные погрешности или отклонения, связанные с такими неконтролируемыми факторами как влияние температуры на качество анализа, погрешности при взвешивании продуктов химических реакций, качество реагентов и контролируемые факторами – добросовестностью аналитиков, качеством приборов и т.п. К наименее значимым относятся так называемые систематические погрешности, влияния которых на качество анализов бежать практически невозможно; они предопределяются структурной и текстурной неоднородностью пород, влиянием на результаты анализа присутствия других элементов, неверной калибровкой прибора и некоторыми другими факторами.

Погрешностей двух первых типов можно избежать путем добросовестного отбора проб, качественной их подготовки к анализу и добросовестной работой аналитической лаборатории, хотя очень часто они наблюдаются среди результатов анализов в геологических отчетах. Допустимые погрешности при химическом анализе гранитоидов определя-

ются относительным среднеквадратическим отклонением для разных породообразующих окислов, %:  $\text{SiO}_2$  – 0,7–0,8;  $\text{TiO}_2$  – 9–15;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 10–15;  $\text{FeO}$  – 6–9;  $\text{MnO}$  – 8–20;  $\text{MgO}$  – 10–20;  $\text{CaO}$  – 9–15;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 8;  $\text{K}_2\text{O}$  – 5–8;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 9–24;  $\text{SO}_3$  – 15–25;  $\text{H}_2\text{O}^-$  – 9–15;  $\text{H}_2\text{O}^+$  – 6–20 [2]. Конечно, при наличии отклонений двух первых типов, общие погрешности определения содержания этих окислов могут увеличиваться в 2–3, а то и больше раз, что мы нередко встречаем в результатах химических анализов гранитоидов, особенно в геологических отчетах.

С целью отбраковки некачественных химических анализов давно предложено пересчитывать результаты химических анализов горных пород на их реальный (модальный) минеральный состав (и наоборот). Методика такого пересчета изложена в “Универсальных таблицах для пересчета состава горных пород” Я.С. Висневского [1]. Посредством этого пересчета, зная реальный минеральный состав породы (гранита), определенный по подсчету минералов в шлифах, и зная хотя бы приблизительный состав породообразующих минералов (номер плагиоклаза, железистость биотита и других темноцветных минералов) легко проверить качество полученного в лаборатории анализа, либо группы анализов, которые мы заимствуем для петрохимических пересчетов из опубликованной литературы либо геологических отчетов. Эти пересчеты можно выполнять на компьютере по соответствующей программе (ниже приведена схема расчета для биотитовых гранитов).

#### **А. Условные обозначения:**

- $(\text{P}_2\text{O}_5)_{\text{Ап}}$  – содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в апатите (отвечает общему содержанию  $\text{P}_2\text{O}_5$  в породе).
- $(\text{CaO})_{\text{Ап}}$  – содержание  $\text{CaO}$  в апатите.
- $(\text{Na}_2\text{O})_{\text{Аб}}$  – содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  в альбите (отвечает общему содержанию  $\text{Na}_2\text{O}$  в породе).
- $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Аб}}$  – содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в альбите.
- $(\text{SiO}_2)_{\text{Аб}}$  – содержание  $\text{SiO}_2$  в альбите.
- $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,5)_{\text{Мг}}$  – содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в магнетите (допускаем, что в состав магнетита входит половина его содержания в породе; остальное входит в состав аннита).
- $(\text{FeO})_{\text{Мг}}$  – содержание  $\text{FeO}$  в магнетите.
- $(\text{MgO})_{\text{Фл}}$  – содержание  $\text{MgO}$  в флогопите (отвечает общему содержанию  $\text{MgO}$  в породе).
- $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Фл}}$  – содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в флогопите.

$(K_2O)_{Фл}$	–	содержание $K_2O$ в флогопите.
$(SiO_2)_{Фл}$	–	содержание $SiO_2$ в флогопите.
$(TiO_2 \cdot 0,25)_{Фл}$	–	содержание $TiO_2$ в флогопите (достаточно условно допускаем, что $TiO_2$ распределяется равномерно между флогопитом, аннитом, сфеном и ильменитом).
$(H_2O)_{Фл}$	–	содержание $H_2O^+$ в флогопите (принимается, что “ппп” = $H_2O^+$ ).
$(FeO)_{Ан}$	–	содержание $FeO$ в анните.
$(Fe_2O_3)_{Ан}$	–	содержание $Fe_2O_3$ в анните.
$(K_2O)_{Ан}$	–	содержание $K_2O$ в анните.
$(Al_2O_3)_{Ан}$	–	содержание $Al_2O_3$ в анните.
$(SiO_2)_{Ан}$	–	содержание $SiO_2$ в анните.
$(H_2O)_{Ан}$	–	содержание $H_2O$ в анните.
$(K_2O)_{Микр}$	–	содержание $K_2O$ в микроклине (ортоклазе).
$(Al_2O_3)_{Микр}$	–	содержание $Al_2O_3$ в микроклине (ортоклазе).
$(SiO_2)_{Микр}$	–	содержание $SiO_2$ в микроклине (ортоклазе).
$(TiO_2)_{Сф}$	–	содержание $TiO_2$ в сфене.
$(CaO)_{Сф}$	–	содержание $CaO$ в сфене.
$(SiO_2)_{Сф}$	–	содержание $SiO_2$ в сфене.
$(CaO)_{Анор}$	–	содержание $CaO$ в анортите.
$(Al_2O_3)_{Анор}$	–	содержание $Al_2O_3$ в анортите.
$(SiO_2)_{Анор}$	–	содержание $SiO_2$ в анортите.
$(TiO_2)_{Ил}$	–	содержание $TiO_2$ в ильмените.
$(FeO)_{Ил}$	–	содержание $FeO$ в ильмените.
$(Al_2O_3)_{Му}$	–	содержание $Al_2O_3$ в мусковите.
$(K_2O)_{Му}$	–	содержание $K_2O$ в мусковите.
$(SiO_2)_{Му}$	–	содержание $SiO_2$ в мусковите.
$(H_2O)_{Му}$	–	содержание $H_2O$ в мусковите.
$(SiO_2)_{Кв}$	–	содержание $SiO_2$ в кварце.

**Б. Рассчитываем массовое содержание окислов в минералах,** учитывая их молекулярную часть от расчетного окисла в каждом из минералов. В общем случае берется средняя (формульная) молекулярная часть, а если имеются анализы конкретных минералов – можно брать более точную, конкретную молекулярную часть (коэффициент). В расчете подчеркнуты окислы, которые полностью входят только в один минерал.

1. Апатит:  $(P_2O_5)_{Ап} = P_2O_5$ ;  $(CaO)_{Ап} = P_2O_5 \cdot 1,17$ .
2. Альбит:  $(Na_2O)_{Аб} = Na_2O$ ;  $(Al_2O_3)_{Аб} = Na_2O \cdot 1,65$ ;  
 $(SiO_2)_{Аб} = Na_2O \cdot 5,82$ ;
3. Магнетит:  $(Fe_2O_3)_{Мт} = (Fe_2O_3 \cdot 0,5)$ ;  $(FeO)_{Мт} = (Fe_2O_3)_{Мт} \cdot 0,45$ .
4. Сфен:  $(TiO_2)_{Сф} = TiO_2 \cdot 0,25$ ;  $(CaO)_{Сф} = (TiO_2)_{Сф} \cdot 0,71$ ;  
 $(SiO_2)_{Сф} = (TiO_2)_{Сф} \cdot 0,75$ .
5. Ильменит:  $(TiO_2)_{Ил} = TiO_2 \cdot 0,25$ ;  $(FeO)_{Ил} = (TiO_2)_{Ил} \cdot 0,9$ .
6. Флогопит:  $(MgO)_{Фл} = MgO$ ;  $(K_2O)_{Фл} = MgO \cdot 0,39$ ;  
 $(Al_2O_3)_{Фл} = MgO \cdot 0,43$ ;  $(SiO_2)_{Фл} = MgO \cdot 1,50$ ;  
 $(TiO_2)_{Фл} = MgO \cdot 0,07$ ;  $(H_2O)_{Фл} = MgO \cdot 0,15$ ;
7. Аннит:  $(FeO)_{Ан} = FeO - (FeO)_{Мт} - (FeO)_{Ил}$ ;  
 $(K_2O)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,22$ ;  $(Al_2O_3)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,24$ ;  
 $(SiO_2)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,83$ ;  $(TiO_2)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,07$ ;  
 $(Fe_2O_3)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,15$ ;  $(H_2O)_{Ан} = (FeO)_{Ан} \cdot 0,08$ ;
8. Микроклин:  $(K_2O)_{Микр} = K_2O - (K_2O)_{Ан} - (K_2O)_{Фл}$ ;  
 $(Al_2O_3)_{Микр} = (K_2O)_{Микр} \cdot 1,09$ ;  $(SiO_2)_{Микр} = (K_2O)_{Микр} \cdot 3,83$ .
9. Анортит:  $(CaO)_{Анор} = CaO - (CaO)_{Ап} - (CaO)_{Сф}$ ;  
 $(Al_2O_3)_{Анор} = (CaO)_{Анор} \cdot 1,81$ ;  $(SiO_2)_{Анор} = (CaO)_{Анор} \cdot 2,14$ .
10. Мусковит:  $(Al_2O_3)_{Му} = Al_2O_3 - (Al_2O_3)_{Аб} - (Al_2O_3)_{Фл} - (Al_2O_3)_{Ан} -$   
 $- (Al_2O_3)_{Микр} - (Al_2O_3)_{Анор}$ ;  $(K_2O)_{Му} = (Al_2O_3)_{Му} \cdot 0,31$ ;  
 $(SiO_2)_{Му} = (Al_2O_3)_{Му} \cdot 1,17$ ;  $(H_2O)_{Му} = (Al_2O_3)_{Му} \cdot 0,12$ .
11. Кварц:  $(SiO_2)_{Кв} = SiO_2 - (SiO_2)_{Аб} - (SiO_2)_{Фл} - (SiO_2)_{Ан} -$   
 $- (SiO_2)_{Микр} - (SiO_2)_{Сф} - (SiO_2)_{Анор} - (SiO_2)_{Му}$ .

**В. Расчет содержания минералов** (миналов, мас. %) в породе выполняется путем суммирования всех окислов, которые входят в состав каждого из них:

1. Апатит:  $Ап = P_2O_5 + (CaO)_{Ап}$ .
2. Альбит:  $Аб = Na_2O + (Al_2O_3)_{Аб} + (SiO_2)_{Аб}$ .
3. Магнетит:  $Мт = (Fe_2O_3)_{Мт} + (FeO)_{Мт}$ .
4. Флогопит:  $Фл = MgO + (K_2O)_{Фл} + (Al_2O_3)_{Фл} + (SiO_2)_{Фл} + (TiO_2)_{Фл} +$   
 $+ (H_2O)_{Фл}$ .
5. Аннит:  $Ан = (FeO)_{Ан} + (Fe_2O_3)_{Ан} + (K_2O)_{Ан} + (Al_2O_3)_{Ан} +$   
 $+ (SiO_2)_{Ан} + (TiO_2)_{Ан} + (H_2O)_{Ан}$ .

6. Микроклин:  $\text{Микр} = (\text{K}_2\text{O})_{\text{Микр}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Микр}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Микр}}$ .
7. Сфен:  $\text{Сф} = (\text{TiO}_2)_{\text{Сф}} + (\text{CaO})_{\text{Сф}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Сф}}$ .
8. Анортит:  $\text{Анор} = (\text{CaO})_{\text{Анор}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Анор}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Анор}}$ .
9. Ильменит:  $\text{Ил} = (\text{TiO}_2)_{\text{Ил}} + (\text{FeO})_{\text{Ил}}$ .
10. Мусковит:  $\text{Му} = (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Му}} + (\text{K}_2\text{O})_{\text{Му}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Му}} + (\text{H}_2\text{O})_{\text{Му}}$ .
11. Кварц:  $\text{Кв} = (\text{SiO}_2)_{\text{Кв}}$ .

### **Г. Завершение расчета:**

1. Суммарное количество биотита в породе:  $\text{Би} = \Phi\text{л} + \text{Ан}$

$$\text{Железистость биотита: } f_{\text{Би}} = \frac{\text{Ан}}{\text{Ан} + \Phi\text{л}} \cdot 100\% .$$

2. Суммарное содержание плагиоклаза в породе:  $\text{Пл} = \text{Аб} + \text{Анор}$ .

$$\text{Основность (№) плагиоклаза: } \text{№}_{\text{Пл}} = \frac{\text{Анор}}{\text{Анор} + \text{Аб}} \cdot 100\% .$$

3. Суммируем все окислы по их содержаниям в минералах:

$$\text{SiO}_2' = (\text{SiO}_2)_{\text{Кв}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Микр}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Аб}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Анор}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Ан}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Фл}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Му}} + (\text{SiO}_2)_{\text{Сф}}$$

$$\text{TiO}_2' = (\text{TiO}_2)_{\text{Фл}} + (\text{TiO}_2)_{\text{Ан}} + (\text{TiO}_2)_{\text{Сф}} + (\text{TiO}_2)_{\text{Ил}}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3' = (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Микр}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Аб}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Анор}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Фл}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Ан}} + (\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{Му}}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3' = (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{\text{Ан}} + (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{\text{Мт}}$$

$$\text{FeO}' = (\text{FeO})_{\text{Ан}} + (\text{FeO})_{\text{Мт}} + (\text{FeO})_{\text{Ил}}$$

$$\text{MgO}' = (\text{MgO})_{\text{Фл}}$$

$$\text{CaO}' = (\text{CaO})_{\text{Анор}} + (\text{CaO})_{\text{Сф}} + (\text{CaO})_{\text{Ап}}$$

$$\text{Na}_2\text{O}' = (\text{Na}_2\text{O})_{\text{Аб}}$$

$$\text{K}_2\text{O}' = (\text{K}_2\text{O})_{\text{Микр}} + (\text{K}_2\text{O})_{\text{Ан}} + (\text{K}_2\text{O})_{\text{Фл}} + (\text{K}_2\text{O})_{\text{Му}}$$

$$\text{H}_2\text{O}' (\text{ппп}) = (\text{H}_2\text{O})_{\text{Ан}} + (\text{H}_2\text{O})_{\text{Фл}} + (\text{H}_2\text{O})_{\text{Му}}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5' = (\text{P}_2\text{O}_5)_{\text{Ап}}$$

4. Полученные расчетные значения содержаний окислов в породе сравниваем с результатами анализа и определяем избыток или нехватку каждого из них, что уже служит показателем качества анализа. Но более важны расчетное содержание каждого из минералов, железистость биотита и основность плагиоклаза. Отклонение по этим показателям больше чем 10–20 % (для разных окислов)

от показателей, полученных при микроскопическом изучении шлифов, безусловно свидетельствует о некачественности химического анализа. Причина погрешностей должна определяться контрольным опробованием и анализом той же породы.

В табл. 1 приведены результаты химического анализа биотитовых гранитов житомирского и кировоградского комплексов (по 6 анализов из каждого), заимствованные из опубликованной литературы и геологических отчетов, качество которых проверено по предложенной методике. В табл. 2 представлен рассчитанный минеральный состав этих проб гранитов.

По петрографическим данным граниты житомирского комплекса характеризуются следующим минеральным составом [3], %: Пл – 21–44 (среднее 34,7); Микр – 16–46 (28,6); Кв – 16–32 (25,1); Би – 3–20 (7,7); Му – 1–8 (3,2);  $N_{\text{Пл}}$  – 12–21 (15);  $f_{\text{Би}}$  – 57–68. Минеральный состав биоти-

**Таблица 1. Химические анализы биотитовых гранитов житомирского и кировоградского комплексов, мас. %**

Компоненты	Житомирский комплекс					Кировоградский комплекс						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	69,17	70,38	71,20	71,76	67,84	66,97	68,88	69,02	70,40	72,60	70,85	72,12
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,35	0,26	0,41	0,43	0,48	0,36	0,47	0,37	0,55	0,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,04	14,36	15,81	14,02	16,15	18,60	14,87	16,58	14,23	13,22	13,65	11,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58	1,46	1,18	0,64	0,66	0,64	0,47	0,70	1,26	0,34	2,13	2,18
FeO	2,50	2,00	1,40	2,80	2,06	2,64	2,59	2,75	1,94	2,59	0,65	1,62
MnO	0,00	0,00	0,10	0,04	0,05	0,00	0,02	0,08	0,06	0,03	0,01	0,04
MgO	0,70	0,78	0,39	0,33	1,09	1,83	0,49	0,50	1,00	0,40	0,28	1,56
CaO	0,91	1,05	1,37	0,69	2,25	2,20	1,53	1,44	1,54	1,51	0,84	3,81
Na <sub>2</sub> O	3,48	2,86	3,19	3,60	3,80	3,50	2,76	3,74	2,70	2,70	2,93	0,46
K <sub>2</sub> O	4,74	6,36	4,72	5,55	4,66	1,80	6,68	4,68	4,41	4,95	6,66	4,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,01	0,21	0,24	0,18	0,18	0,18	0,23	0,21	0,11	0,14
SO <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,04	Сл.	0,60	0,00	0,01	Н.в.	Сл.	Сл.	0,04	0,02
H <sub>2</sub> O	0,00	0,55	0,10	0,25	0,26	0,06	Н.в.	0,14	0,16	0,10	0,10	0,07
П.п.п.	1,15	Н.в.	0,50	0,43	0,84	0,00	1,01	0,58	0,81	0,66	0,83	1,51
Сумма	99,27	99,80	100,36	100,58	100,91	98,85	99,97	100,75	99,21	99,68	99,63	99,64

**Таблица 2. Минеральный состав биотитовых гранитов, рассчитанный по результатам химического анализа, мас. %**

Компоненты	Житомирский комплекс					Кировоградский комплекс						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ап	–	–	0,02	0,46	0,52	0,39	0,39	0,39	0,50	0,46	0,24	0,30
Аб	29,47	24,23	27,02	30,49	32,19	29,65	23,37	31,68	22,87	22,87	24,80	3,90
Мг	0,42	1,06	0,86	0,46	0,48	0,46	0,33	0,51	0,91	0,25	1,50	1,58
Сф	–	–	0,22	0,17	0,25	0,25	0,21	0,22	0,30	0,22	0,35	0,20
Ил	–	–	0,29	0,13	0,19	0,04	0,23	0,17	0,30	0,13	0,27	0,15
Фл	2,43	2,71	1,39	1,17	3,87	6,48	1,73	1,79	3,54	1,42	1,00	5,52
Ан	5,98	4,21	2,93	6,73	4,74	6,49	6,17	6,50	4,31	6,50	0,10	2,73
Микр	23,39	33,68	25,58	28,59	22,55	3,20	35,35	23,26	21,61	25,10	38,50	22,20
Анор	4,51	5,20	6,43	1,93	9,41	9,51	6,09	5,79	5,85	5,94	3,02	17,77
Му	9,03	2,09	7,57	3,46	3,53	19,13	2,09	8,29	7,33	3,11	0,91	–
Кв	24,76	26,20	28,13	27,16	31,25	26,90	23,58	23,07	31,91	33,93	26,09	44,12
Би	8,63	6,92	4,32	7,90	8,61	12,97	7,90	8,29	7,85	7,92	1,10	8,25
$f_{\text{Би}}$	71	61	68	85	55	50	78	78	55	82	9	33
Пл	33,98	29,43	33,45	32,42	41,60	39,16	29,46	37,47	28,72	28,81	27,83	21,67
$N_{\text{Пл}}$	13	18	19	6	23	24	21	15	20	21	11	82

товых гранитов кировоградского комплекса [4, 5], %: Пл – 13–35; Микр – 35–60; Кв – 25–35; Би – 3–7; №Пл – 10–18;  $f_{\text{Би}}$  – 50–65.

1. Анализ В.И. Лучицкого (№ 37); с. Полонное. В анализе “недоопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,58 – расщ. 0,65; 12 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (4,74 – расщ. 5,82; 18 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 35; №Пл – 13; Микр – 23; Кв – 25; Би – 8;  $f_{\text{Би}} = 71$ ; Му – 9. Анализ некачественный: завышена железистость биотита ( $\text{MgO}$  в анализе должно быть более 0,70 %) и завышено содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а соответственно и содержание мусковита (9 %), которого не может быть больше 7 %.
2. Анализ Н.И. Безбородько (№ 7); г. Житомир, карьер. В анализе “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,46 – расщ. 0,98; 34 %) и “недоопределен”  $\text{K}_2\text{O}$  (6,36 – расщ. 6,61; 4 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 29; №Пл – 18; Микр – 34; Кв – 26; Би – 7;  $f_{\text{Би}} = 61$ ; Му – 2. Анализ качественный.
3. Анализ Ю.Ир. Половинкиной (№ 1); г. Житомир, карьер. В анализе “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,18 – расщ. 0,76; 30 %), “недоопределен”  $\text{K}_2\text{O}$  (4,72 – расщ. 5,76; 20 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 33; №Пл – 19; Микр – 26; Кв – 28; Би – 4;  $f_{\text{Би}} = 68$ ; Му – 8. Анализ не очень высокого качества: сравнительно высокая железистость биотита и высокое содержание мусковита ( $\text{MgO}$  – 0,39 % несколько занижено, а  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – завышено).
4. Анализ И.Б. Щербакова (№ 4); г. Новоград-Волынский. В анализе несколько “недоопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,64 – расщ. 0,72; 11 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (5,55 – расщ. 5,96; 8 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 32; №Пл – 6; Микр – 29; Кв – 27; Би – 8;  $f_{\text{Би}} = 85$ ; Му – 3. Анализ не очень высокого качества: завышена железистость биотита (содержание  $\text{MgO}$  – 0,33 % несколько занижено, или в породе больше магнетита и ильменита), занижена основность плагиоклаза (“недоопределен”  $\text{CaO}$  – 0,69 %, или несколько “переопределен”  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,60 %).
5. Анализ В.М. Сидорова (№ 1322); г. Житомир, карьер Крошня. В анализе “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,66 – расщ. 0,50; 24 %), недоопределен  $\text{FeO}$  (2,06 – расщ. 2,15; 4 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (4,66 – расщ. 5,08; 9 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 42; №Пл – 23; Микр – 23; Кв – 31; Би – 9;  $f_{\text{Би}} = 55$ ; Му – 3,5. Анализ не очень высокого качества: несколько завышенный №Пл ( $\text{CaO}$  должно быть меньше 2,25 %) и рассчитанное содержание Би (9 %), как результат “переопределения” железа и магния).

6. Анализ В.М. Сидорова (№ 1249); г. Житомир, карьер Крошня. В анализе “недоопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,64 – расщ. 0,70; 9 %) и сильно “недоопределен”  $\text{K}_2\text{O}$  (1,80 – расщ. 4,08; 127 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 39;  $\text{N}_{\text{Пл}}^0$  – 24; Микр – 3; Кв – 27; Би – 13;  $f_{\text{Би}}$  – 50; Му – 19. Анализ некачественный: завышенный  $\text{N}_{\text{Пл}}$ , содержание биотита и мусковита. Совсем неверно определено содержание  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и некоторых других элементов.
7. Анализ В.И. Орсы (№ И-869/1); Бобринецкий массив; г. Бобринец, карьер. В анализе несколько “переопределен”  $\text{TiO}_2$  (0,48 – расщ. 0,44; 8 %), “недоопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,47 – расщ. 0,59; 26 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (6,68 – расщ. 6,93; 4 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 29;  $\text{N}_{\text{Пл}}^0$  – 21; Микр – 35; Кв – 24; Би – 8;  $f_{\text{Би}}$  – 78; Му – 2. Анализ невысокого качества: завышена железистость биотита ( $\text{MgO}$  должно быть больше 0,49 %); возможно, в породе больше чем 0,33 % магнетита и больше 0,23 % ильменита), несколько завышена основность плагиоклаза (недоопределено содержание  $\text{Na}_2\text{O}$ ).
8. Анализ К.И. Свешникова (№ 1857/8). Кировоградский массив; г. Кировоград, карьер. В анализе несколько “недоопределено” содержание  $\text{TiO}_2$  (0,36 – расщ. 0,40; 11 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,70 – расщ. 0,73; 4 %), а особенно  $\text{K}_2\text{O}$  (4,68 – расщ. 5,67; 21 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 37;  $\text{N}_{\text{Пл}}^0$  – 15; Микр – 23; Кв – 23; Би – 8;  $f_{\text{Би}}$  – 78; Му – 8. Анализ невысокого качества: завышена железистость биотита ( $\text{MgO}$  в породе больше 0,50 %), сильно завышено содержание мусковита (“переопределено” содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).
9. Анализ Е.Н. Голубь (№ 234). Кировоградский массив, р. Сухоклея, с. Софиевка. В анализе “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,26 – расщ. 0,88; 30 %), “недоопределено” содержание  $\text{FeO}$  (1,94 – расщ. 2,08; 7 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (4,41 – расщ. 5,28; 20 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 29;  $\text{N}_{\text{Пл}}^0$  – 20; Микр – 22; Кв – 32; Би – 8;  $f_{\text{Би}}$  – 55; Му – 7. Анализ невысокого качества: завышено количество мусковита (переопределен  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), несколько завышено количество биотита и основность плагиоклаза.
10. Анализ Ю.Л. Гасанова (№ 11). Кировоградский массив, г. Кировоград, карьер. В анализе недоопределен  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,34 – расщ. 0,55; 21 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (4,95 – расщ. 5,32; 7 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 29;  $\text{N}_{\text{Пл}}^0$  – 21; Микр – 25; Кв – 34; Би – 8;  $f_{\text{Би}}$  – 82. Анализ качественный условно: очень завышена железистость биотита ( $\text{MgO}$  в породе больше 0,40 %); возможно, в породе немного



больше магнетита и ильменита. Несколько завышено количество биотита и основность плагиоклаза.

11. Анализ И.М. Панкратова (№ 90-1545/55). Боковьянский массив, 2 км к югу от с. Братолюбовка. В анализе сильно “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,13 – расщ. 1,08; 49 %), несколько “недоопределен”  $\text{K}_2\text{O}$  (6,66 – расщ. 6,87; 3 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 28;  $N_{\text{Пл}}^{\circ}$  – 11; Микр – 39; Кв – 26; Би – 1;  $f_{\text{Би}}$  – 9; Му – 1. Анализ некачественный: сильно занижена железистость биотита и низкое его содержание (“недоопределен” FeO).
12. Анализ И.М. Панкратова (№ 90-1556/52). Боковьянский массив, 1 км к северо-востоку от с. Братолюбовка. В анализе сильно “переопределен”  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,18 – расщ. 1,25; 43 %), “недоопределен”  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11,20 – расщ. 12,27; 10 %). Рассчитанный минеральный состав, %: Пл – 22;  $N_{\text{Пл}}^{\circ}$  – 82; Микр – 22; Кв – 44; Би – 8;  $f_{\text{Би}}$  – 33. Анализ некачественный: сильно завышена основность плагиоклаза (“переопределен” CaO, “недоопределен”  $\text{Na}_2\text{O}$ ), несколько завышено количество биотита и занижена его железистость (“недоопределен” FeO).

Некоторые выводы относительно качества анализов:

1. Из шести анализов биотитовых (биотит-мусковитовых) гранитов житомирского комплекса высококачественный лишь один (Н.И. Безбородько); три анализа качественные условно, два совсем некачественные (В.И. Лучицкий, В.М. Сидоров).
2. Из шести анализов биотитовых гранитов кировоградского комплекса качественные условно четыре, два некачественные (И.М. Панкратов).

Среди окислов, содержание которых определялось, наибольшие погрешности установлены в определении  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , содержание которого почти постоянно завышается, хотя в одном (некачественном) анализе он сильно “недоопределен”. Велика погрешность в определении содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , достигающая 30–49 % (с разным знаком), хотя из-за его малого содержания это на качество анализов практически не влияет. Значительные погрешности зафиксированы в определении  $\text{K}_2\text{O}$  (до 21 %), который почти постоянно “недоопределен”. Как правило, “недоопределен” MgO, иногда FeO и  $\text{Na}_2\text{O}$ , “переопределен” CaO.

Проведенные нами пересчеты анализов гранитов кировоградского комплекса из геологических отчетов показали, что лишь не больше трети из них можно признать качественными.

Несколько сложнее вести пересчет анализов гранитоидов, в составе которых присутствуют несколько темноцветных минералов: кроме наиболее распространенного биотита – роговая обманка, ромбический и моноклинный пироксены, гранат. В этих случаях желательно иметь реальные данные о минеральном составе породы и железистости породообразующих минералов по конкретным шлифам и протолочкам, или хотя бы средние значения этих показателей для комплекса или массива и вводить в расчеты соответствующие коэффициенты. Даже такой ориентировочный пересчет поможет отбраковать безусловно некачественные анализы.

1. *Висневский Я.С.* Универсальные таблицы для пересчета состава горных пород. – Ташкент: Наука. – 198 с.
2. *Методические основы исследования химического состава горных пород, руд и минералов* // Под ред. Г.В. Остроумова. – М.: Недра, 1979. – 400 с.
3. *Щербак Н.П.* Петрология и геохронология докембрия западной части Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1975. – 269 с.
4. *Щербаков И.Б.* Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
5. *Щербаков И.Б., Есипчук К.Е., Орса В.И. и др.* Гранитоидные формации Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1984. – 192 с.

**Визначення якості хімічних аналізів гранітів** [К.Ю. Єсипчук], Н.М. Коновал, Л.В. Сьомка

**РЕЗЮМЕ:** Розглянуто різні типи похибок, можливих під час виконання хімічного аналізу гірських порід. Запропоновано нову методику перерахунку хімічного складу гранітоїдів на їх наближений модальний мінеральний склад. Наведено хімічний склад 12 зразків біотитових гранітів житомирського і кіровоградського комплексів та виконано його перерахунок на мінеральний склад за цією методикою з метою виявлення якості аналізів.

**Ключові слова:** хімічні аналізи, визначення, якість, граніти, помилка, новий метод, виявлення.

**The determination of the quality chemical analysis of the granites** [K.E. Esipchuk], N.M. Konoval, L.V. Somka

**SUMMARY.** There are considered different types of the mistakes during chemical analysis of the rocks. Proposed the new method of the evaluation granitoids chemical composition to their modal mineral composition. There are evaluated 12 analysis of the granites zitomyr and kirovograd complexes to their mineral composition and estimated the quality of the analysis.

**Keywords:** chemical analysis, determination, quality, granites, error, new method, estimating.