

Ю. Р. ВАСИЛЬЕВ, В. В. ВЕЛИНСКИЙ, А. Н. ДМИТРИЕВ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧИЙ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ГИПЕРБАЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛОГИКО-ДИСКРЕТНОГО АНАЛИЗА

Проведенная ранее [2] статистическая обработка обширной выборки химических анализов гипербазитов различных формационных типов выявила качественное сходство и различие между выделенными группами пород (дунитами, перидотитами, меймечитами), относящимися к одной или разным формациям.

Несомненный интерес представляет количественная оценка существенности различий и сходств выделенных групп между собой, а также отдельный вариант (окислов) для гипербазитов в целом. Такую оценку можно провести по материалам работы [2] с помощью средств анализа, позволяющих изучать детали различий и сходств объектов в фиксированном пространстве признаков [1]. Мы же попытались провести этот анализ с помощью логико-дискретного подхода [3, 4], по которому в одной программе исследования можно проводить изучение логических и количественных переменных небольшого числа объектов ($m \geq 5$). Решение поставленной задачи подразделено на три этапа:

1. На первом этапе производилась оценка различий статистических критериев Стьюдента (t) и Фишера (F) с целью выяснения разрешающей способности алгоритмов (4) и установления их пригодности для изучения различий объектов на втором этапе.

2. На втором этапе производилась количественная оценка мер различий между выделенными группами пород, а также между отдельными окислами и их совокупностями.

3. На третьем — проведена интерпретация полученных результатов применительно к гипербазитам различных формаций.

Имеющиеся результаты статистической обработки по критериям t и F позволили задать материал исследования в табличном виде (табл. 1), где строкам соответствуют окислы, а столбцам — значения статистических критериев Стьюдента и Фишера, вычисленных для дунитов, перидотитов и меймечитов. Кодирование и ориентация кода проведены в соответствии с требованиями метода [3]. Значимые различия признаков в табл. 1 обозначены «1», незначимые — «0». Полученная таблица подвергалась обработке на ЭВМ для вычисления ее тестовых параметров P_i и $J(S)$. По значениям P_i (информационного различающего веса столбца) критерии t и F подразделяются следующим образом (табл. 2):

Как следует из табл. 2, суммарное значение различающих весов (F) $>$ (t) для всех выделенных групп пород. Отношение значений (t) и (F), обозначенное через K , показывает, что «различающая мощность

Значимость различий по критериям t и F между породообразующими окислами дунитов, перидотитов и меймечитов

	Дуниты (Д)						Перидотиты (П)						Меймечиты-дуниты (М-Д)						Меймечиты-перидотиты (М-П)						$I(S)$
	t_{I-II}	t_{I-III}	t_{II-III}	F_{I-II}	F_{I-III}	F_{II-III}	t_{I-II}	t_{I-III}	t_{II-III}	F_{I-II}	F_{I-III}	F_{II-III}	t_{I-II}	t_{I-III}	t_{II-III}	F_{I-II}	F_{I-III}	F_{II-III}	t_{I-II}	t_{I-III}	t_{II-III}	F_{I-II}	F_{I-III}	F_{II-III}	
SiO ₂	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	3,03
TiO ₂	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	4,48
Al ₂ O ₃	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	2,90
Fe ₂ O ₃	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1,66
FeO	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	2,38
MnO	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	3,96
MgO	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	3,88
CaO	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	4,60
Na ₂ O	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	4,00
K ₂ O	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	4,27
Cr ₂ O ₃	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	2,93
NiO	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2,07
FeO	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4,45
f	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	3,35
m	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,68
P_i	0,21	0,28	0,38	0,12	0,51	0,43	0,15	0,17	0,14	0,12	0,28	0,15	0,20	0,37	0,45	0,37	0,28	0,45	0,13	0,27	0,21	0,60	0,27	0,21	

Примечание. В таблицах и тексте приняты следующие обозначения. Формации: I — альпинотипных гипербазитов, II — габбро-пироксенит-дунитовая, III — ультраосновных и щелочных интрузий платформенных областей (Гулинский плутон, север Сибирской платформы). Породы формаций: Д — дуниты, П — перидотиты, М — меймечиты. X — средние химических составов пород, σ^2 — дисперсия, σ — стандартное отклонение, F — критерий Фишера, t — критерий Стьюдента.

Таблица 2

Статистические критерии		Д	II	М-Д	М-II
Стьюдента	t_{I-II}	0,212	0,148	0,197	0,130
	t_{I-III}	0,282	0,166	0,366	0,273
	t_{II-III}	0,384	0,140	0,447	0,214
Фишера	F_{I-II}	0,124	0,124	0,373	0,596
	F_{I-III}	0,512	0,278	0,281	0,273
	F_{II-III}	0,429	0,151	0,450	0,214
$(t) = \sum_{i=1}^3 t(P_i)$		0,878	0,454	1,010	0,617
$(F) = \sum_{i=1}^3 F(P_i)$		1,065	0,553	1,104	1,083
$K = \frac{(t)}{(F)}$		0,824	0,963	0,914	0,570

критериев» Стьюдента и Фишера сравнима для перидотитов и меймечит-дунитов, в то время как для дунитов и меймечит-перидотитов выявляется различающее преимущество критерия F . Информационная «емкость» инвариантной строки табл. 1 составляет $I = \sum_{i=1}^{24} P_i = 6,764$. Распределение информации по t и F следующее: все столбцы, кодирующие сообщения по критерию Фишера, составляют 56,3% от общей информационной емкости, а по t — 43,7%. Укажем на условность формулировки «различающая мощность критериев», которая вызвана терминологической экономичностью, конечно, эта «мощность» не интерпретируема статистически.

Распределение информации по группам пород и по их определенным сочетаниям показано в табл. 3.

Таблица 3

	Раздельно по критериям t, F						I	Совместно по критериям t, F		
	t_{I-II}	t_{I-III}	t_{II-III}	F_{I-II}	F_{I-III}	F_{II-III}		t, F_{I-II}	t, F_{I-III}	t, F_{II-III}
$\sum P_i$	0,69	1,09	1,19	1,22	1,34	1,24	6,76	1,90	2,43	2,43
% от I	10,10	16,05	17,50	17,96	19,87	18,38	100,0	28,20	35,90	35,80

Из анализа таблицы следует, что по критериям t и F объекты групп I, II, III при наличии между собой значимых различий имеют разную степень «родства». Родство групп характеризуется насыщенностью тождествляющих свойств объектов внутри и между исследуемыми группами и определяется значением $\sum P_i$. При этом наибольшему значению $\sum P_i$ соответствует наименьшая степень родства. Как видно из

Таблица 4

Таблица решения для определения количественных оценок различий между гипербазитами разных магматических формаций по породообразующим окислам

	Д (\bar{X})			П (\bar{X})			М (\bar{X})	Д (σ^2)			П (σ^2)			М (σ^2)	Д (σ)			П (σ)			М (σ)	I(S)	
	I	II	III	I	II	III	III	I	II	III	I	II	III	III	I	II	III	I	II	III	III		
SiO ₂	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2,54
TiO ₂	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	3,03
Al ₂ O ₃	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	4,77
Fe ₂ O ₃	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	3,02
FeO	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3,88
MnO	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3,00
MgO	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	3,44
CaO	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	3,99
Na ₂ O	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2,99
K ₂ O	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1,99
Cr ₂ O ₃	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	3,05
NiO	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2,00
FeO	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3,88
<i>f</i>	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	5,00
<i>m</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1,84
<i>P_i</i>	0,21	1,00	0,27	0,11	0,48	0,13	0,69	0,11	0,13	0,13	0,12	1,00	0,28	0,17	0,11	0,35	0,34	0,12	0,52	0,84	0,17		

табл. 3, наибольшим родством между собой обладают группы I и II, а наибольшим относительным различием и наименьшим родством — группы II—III и I—III. Родство принимается в содержании логической сцепленности признаков в тупиковых тестах [3].

На этапе выявления количественных мер различий выделенных групп была построена табл. 4. Расширение пространства признаков позволило при обработке табл. 4 использовать не только прямые сообщения о средних химических составах пород, но и соответствующие им дисперсионные и стандартные отклонения. Для оценки значения признака каждой строки вычислялись средние арифметические химических составов, дисперсий и стандартных отклонений одноименных пород. Если исходная величина признака больше полученного среднего, то в соответствующую клетку таблицы ставилось значение «1», если меньше — «0». Для меймечитов, занимающих по своим петрохимическим признакам промежуточное положение между дунитами и перидотитами Гулинского плутона, кодировка производилась по тому же принципу, но путем сравнения исходных данных для меймечитов со средними значениями, полученными для дунитов и перидотитов этого плутона. Данные табл. 4, как и табл. 1, обрабатывались на ЭВМ для вычисления P_i и $I(S)^*$.

Таблица 5

R	\bar{X}		σ^2		σ		Σ	\bar{R}	$P_i = 1 - \bar{R}$	$I_i = \frac{1}{P_i}$
	D(\bar{X})	II(\bar{X})	D(σ^2)	II(σ^2)	D(σ)	II(σ)				
$R = \frac{P_i^I}{P_i^{II}}$	0,21	0,24	0,87	0,12	0,30	0,23	1,97	0,33	0,67	0,15
$R = \frac{P_i^{III}}{P_i^{II}}$	0,27	0,27	1,00	0,28	0,98	1,62	4,41	0,96	0,31	0,32
$R = \frac{P_i^I}{P_i^{III}}$	0,77	0,87	0,87	0,44	0,34	0,15	3,43	0,57	0,43	0,23
Σ	1,25	1,38	2,74	0,84	1,61	2,00	по μ_i (I—II) < (I—III) < (II—III)			
Σ по \bar{X} , σ^2, σ	2,63		3,56		3,61		$\bar{X} < \sigma^2 < \sigma$			

На основании значений P_i и $I(S)$ табл. 4 выявляются сходства и различия пород (столбцы) по их окислам (строки). Исследуем родство объектов групп путем вычисления отношений различающих весов P столбцов таблицы. Результаты анализа приведены в табл. 5.

По данным табл. 5 видно, что наибольшее родство (по μ_i) обнаруживается также между объектами групп I и II и наименьшее — между группами II и III. Кроме того выявляется, что максимальная различающая способность для одноименных пород (объектов) в группах устанавливается по информационным весам, вычисленным для стандартных отклонений $P_i(\sigma)$. Наиболее отчетливо различие проявляется при сравнении химических составов перидотитов (рис. 1).

Таким образом, несмотря на различное заполнение таблиц решения 1 и 4 (по статистическим данным и по значениям пороодообразующих окислов в породах), получен однозначный устойчивый результат по родству исследуемых объектов в группах. Эта устойчивость результатов

* Между $I(S)$ табл. 1 и 4 существует обратная корреляция с $ra = 0,495$.

указывает на характер природы объектов исследуемых групп и не является случайной, поскольку получены сходные данные по таблицам различного заполнения, решенных в разных системах кодирования. Одновременно, рядом формальных операций, подобных вышеизложенным, было установлено, что меймечиты имеют большее сходство с перидотитами Гулинского плутона, чем с дунитами, но в то же время существенно отличаются от перидотитов и дунитов других магматических формаций.

Помимо вышеизложенного, анализ табл. 4 позволяет наметить, какие из петрохимических данных обладают при сравнении химизма пород наибольшей информемостью. Исследование $I(S)$ строк таблицы показало, что наибольшей информемостью обладают коэффициент f

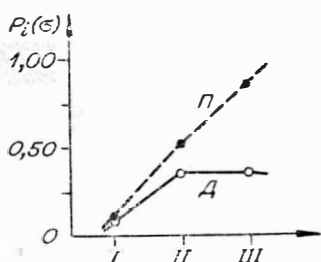


Рис. 1. Изменение величин информационных весов $P_i (\sigma)$ для одноименных пород разных формаций.

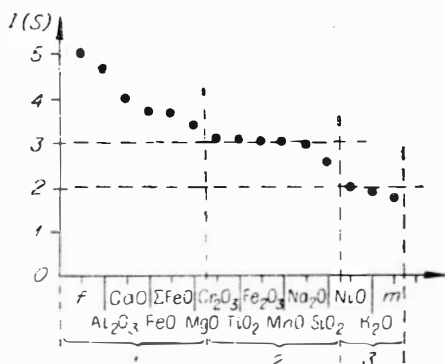


Рис. 2. Количественная оценка информационных весов $I(S)$ петрохимических окислов.

и количественные содержания Al_2O_3 , CaO , FeO , ΣFeO , MgO . Причем в ряду последовательности $I(S)$ этих признаков, изображенных на графике (рис. 2), можно выделить условно три группы, характеризующиеся различными величинами информемости:

- 1) наиболее информемостные ($I(S)=3,0-5,0$) — $f = \frac{\Sigma FeO \cdot 100}{\Sigma FeO + MgO}$ (вес. %), Al_2O_3 , CaO , FeO , ΣFeO , MgO ;
- 2) имеющие средние значения $I(S)=2,0-3,0$ — Cr_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , Na_2O ;
- 3) группа с минимальными значениями $I(S)=0,0-2,0$ — NiO , K_2O , $m = \frac{MgO}{\Sigma FeO}$ (мол. колич.)

Таким образом, проведенный логико-дискретный анализ количественной оценки качественных различий гипербазитов некоторых магматических формаций позволяет сделать следующие выводы:

1. При сравнительном анализе вещественного состава гипербазитов разных магматических формаций с применением методов математической статистики наибольшую разрешающую способность имеет критерий Фишера.

2. Максимальной информемостью при сравнении химических составов разнотипных гипербазитов обладают значения коэффициента железистости (f) и содержания в породах алюминия, кальция, закисного и суммарного железа и магния. Это подтверждает ранее высказанное Г. В. Пинусом [6] положение о том, что для выявления различий

между гипербазитами разных магматических формаций знания одного коэффициента Хесса явно недостаточно.

3. Различия между гипербазитами разных формаций наиболее ярко проявляются при сравнении химических составов перидотитов, хотя эти различия хорошо фиксируются и при сравнении химизма дунитов, но только для представителей альпинотипных гипербазитов и габбро-пироксенит-дунитовой формации.

4. Проведенные исследования количественно подтверждают наличие выявленных нами ранее [2] качественных различий как между одноименными породами гипербазитов складчатых областей и платформ, так и внутри складчатых областей (альпинотипные гипербазиты и породы габбро-пироксенит-дунитовой формации [2, 5]).

5. Важным фактором является установление между химическими составами пород альпинотипных гипербазитов и габбро-пироксенит-дунитовой формации (группы I, II) высокой степени родства. Это подчеркивает близость обстановки, в которой происходило образование пород той и другой формации (складчатая область) и, вероятно, может указывать и на общность их происхождения.

6. При наличии достаточного количества статистически обработанных химических анализов метод логико-дискретной обработки информации может быть успешно использован для выявления количественных различий в вещественном составе пород однотипных магматических формаций различных регионов.

В заключение отметим также, что методически полезно было бы провести сопоставление результатов решения на статистической и дискретной базах. Но такое сопоставление выходит за рамки данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон. Введение в многомерный статистический анализ. Физматгиз, 1963.
2. Велинский В. В., Пинус Г. В., Леснов Ф. П., Васильев Ю. Р. Особенности химизма гипербазитов различных магматических формаций и их петрогенетическое значение. ДАН СССР, 1970, т. 191, № 1.
3. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. Об одном принципе классификации и прогнозе геологических объектов и явлений. Геол. и геофиз., 1968, № 5.
4. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. О математических принципах классификации предметов и явлений. Сб. Дискретный анализ, № 7, 1966.
5. Кутолин В. А., Волохов И. М., Каратаева Г. Н. К оценке возможности определения формационной принадлежности гипербазитов по петрохимическим данным. Геол. и геоф., 1966, № 5.
6. Пинус Г. В. Об особенностях состава ультраосновных пород, слагающих гипербазитовые пояса складчатых областей. Изв. АН СССР, 1957, № 3.

*ИГиГ СО АН СССР,
Новосибирск*

*Статья поступила в редакцию
28 мая 1970 г.*