

МИХАИЛ ИВАНОВИЧ ТОЛСТОЙ* — АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ ГОЖИК* — АНАТОЛИЙ
ВАСИЛЬЕВИЧ СУХОРАДА* — ТОМАШ ГРЕГОР**

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ

(2 Табл.)

Резюме: Новая петрофизическая классификация гранитоидных пород была разработана на основе большего количества оригинальных данных о физических свойствах гранитоидов Украинского щита и частично Западных Карпат и Брненского массива. В статье приводятся основные принципы интерпретации петрофизических данных использованных в петроплотностной и петромагнитной классификации. Поскольку физические свойства горных пород несут информацию — «следы» — о предыдущих физических процессах которым подвергались горные породы во времени их образования и следующих преобразований, петроплотностная классификация позволяет расчленять гранитоиды на первично или вторично «уплотненные» и «разуплотненные» показывая на динамику процесса. Петромагнитная классификация позволяет расчленять гранитоиды на основе их магнитных свойств на первично или вторично «магнитные» («немагнитные») отражая в главном изменения давления кислорода в течении их застывания и следующих преобразований. Приведенные классификации используют комплекс физических параметров (плотность, емкость, упругие, теплофизические, магнитные и другие свойства) вместе с геологическими и петрографическими данными с целью оценки геодинамических условий образования и последующих изменений гранитоидных пород. Практическое применение приведенной методики позволило по новому расчленить гранитоиды изучаемой области на гранитоиды образовавшиеся в процессе сжатия или растяжения, первично или вторично магнитные, предоставляя новые возможности для геологической, петрологической, металогенетической и тектонической интерпретации и интерпретации геофизических аномалий.

Abstract: A new petrophysical classification of granitoid rocks has been worked out on the basis of a great quantity of data on physical properties of granitoids from the Ukrainian Shield and partly from the Western Carpathians and Brno Massif. The paper presents the basic principles of interpretation of petrophysical data applied in the petrodensity and petromagnetic classification.

Since physical properties of rocks bear information — “traces” — on previous physical events affecting the rocks at their formation or their further existence, the petrodensity classification allows to distinguish granitoids into primary or secondary “close-packed” and “loose-packed” types, indicating at the same time the dynamics of the process.

Petromagnetic classifications allow to distinguish granitoids according to their magnetic properties into primary, or secondary “magnetic” (“not magnetic”) types, reflecting this especially the changes of oxygen pressure during their solidification or subsequent alterations.

These classifications use a group of physical parameters (density, porosity, velocity of longitudinal and transversal waves, thermal conductivity, magnetic susceptibility and others) together with geological and petrographical data for the evaluation of geodynamical conditions of formation and subsequent alterations of granitoids rocks. Practical application of

* Д-р М. И. Толстой, А. П. Гожик, А. В. Сухорада, канд. наук, Геологический факультет, Киевский государственный университет, Васильковская 90, Киев.

** Т. Грегор, канд. наук, Геологический институт Центра геонаук САН, Дубравска цеста 9, 814 73 Братислава.

the presented method led to a new classification of granitoids of the studied regions into granitoids formed in compression or tension environment, primarily or secondarily magnetic, providing new possibilities for geological, petrological, metallogenetical and tectonical interpretations as well as interpretations of geophysical anomalies.

Введение

К важнейшим количественным признакам пород и минералов относятся их физические свойства, что уже давно использовалось в качестве основных диагностических показателей (плотность, радиоактивность, намагниченность, электропроводность), а также при создании различных классификации пород и минералов.

Во многих геологических трудах, например Евзиковой и Ицкисона (1966, 1969, 1972), Старостина (1972), Кудрявцевой и Дьячковой (1982), Звягинцева (1977, 1979, 1983), Толстого (1974, 1987) и др., предпринимаются попытки использования петрофизических данных для оценки условий формирования плутонических пород. Большинство работ в этой области основано на концепции приобретения и сохранения породой физических и вещественных характеристик, соответствующих термодинамической и физико-химической обстановке ее формирования. Или, образно говоря, на признании структурно-физической «памяти» геодинамических условий формирования пород.

Выходя из выше изложенного, в нами приведенной петрофизической классификации широко использовались геолого-петрографические данные о гранитоидах Украинского щита, Западных Карпат и Брненского массива. Это нам позволило анализировать оригинальные петрографические данные в связи с геодинамической обстановкой и на этой основе построить принципиально новую петрофизическую классификацию.

Методика исследований

Основным объектом исследований являлся петротип- геологически однородное образование, сформированное в определенных (с достаточно узким интервалом) физико-химических и термодинамических условиях и характеризующееся сопоставимым составом, структурно-текстурными особенностями и физическими параметрами. Применительно к гранитоидным образованиям петротип может соответствовать ведущей фациальной разновидности, иногда — массиву.

При статистических оценках распределения петрофизических параметров в исследуемых образованиях (петротипах) необходимое количество проб обуславливалось их изменчивостью и точностью определения оценок. При нормальном и логнормальном распределении для определения среднего значения с вероятностью 0,95 было отобрано 20—30 проб по петротипу, асимметрии и эксцесса — до 50. С увеличением асимметрии количество проб возрастало.

Для определения среднего квадратического отклонения с заданной точностью 30 % было отобранных от 30 до 40 проб по петротипу, что обеспечивало в гранитоидах оценку среднего и среднего квадратического от-

клонения радиоактивности, плотности, минеральной плотности, теплофизических характеристик, упругих параметров, пористости. Исключением являлись оценки магнитной восприимчивости в магнитном классе гранитоидов. Коэффициент в них составлял более 70 %. В связи с этим для достижения заданной точности 20 % было отобранных 60 и более проб по петротипу. В целом было изученно несколько тысяч проб гранитоидов Украинского щита (Т о л с т о й и др., 1987) и несколько сотен проб гранитоидов Западных Карпат (Г р е г о р, 1987) и Брненского массива (Т о л с т о й — Ш т е л ц л и др., в печати).

Петрофизическое изучение горных пород выполнялось по единой методике в проблемной научно-исследовательской лаборатории Киевского госуниверситета (ПНИЛ), что обеспечивает сопоставимость результатов. Объемная плотность (σ) определялась в штучных пробах методом гидростатического взвешивания на специально оборудованных весах ВЛТК — 500. Минеральная плотность (δ) определялась пикнометрическим способом по общепринятой методике. Для взвешивания использовались аналитические весы ВЛА — 200М. Общая пористость (m_0) рассчитывалась по формуле

$$m_0 = (\delta - \sigma) \cdot \delta^{-1} \cdot 100 \%$$

Массовые определения теплопроводности выполнялись на оригинальной установке конструкции Ю. А. П о п о в а (П о п о в и др., 1983). Для каждого исследуемого образца вычислялись следующие параметры: λ — эквивалентные значения теплопроводности; $\beta = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/\lambda$ — коэффициент тепловой неоднородности, где $\lambda_{\max}$, $\lambda_{\min}$ — максимальное и минимальное значение теплопроводности. Полная ошибка измерений в диапазоне 0,5—4,5 Вт/(м.К) не превышала 5 %.

Скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн изучались ультразвуковым импульсно-фазовым методом, основанным на сравнении времени прохождения ультразвуковой волны в исследуемой и эталонной средах (П р о д а й в о д а — Л и т в и н е н к о, 1982).

Массовые измерения магнитной восприимчивости (χ), естественной остаточной намагниченности (J_n) и фактора Кениксбергера (Q) выполнялись по общепринятой методике на аstaticеском магнометре МА—21.

Математическая обработка измерений проводилась на ЭВМ СМ—3.

Петроплотностная классификация

Конкретные физические характеристики по преимущественному влиянию на них тех или иных факторов можно условно объединить в две группы: вещественно-чувствительную и структурно-чувствительную. К первой относятся радиоактивность, минеральная плотность, намагниченность насыщения, температура Кюри, теплопроводность — параметры, зависящие в основном от состава пород; ко второй — пористость, скорости упругих волн, в меньшей мере объемная плотность — характеристики, главным образом зависящие от структурно-текстурных особенностей пород и геодинамических условий их образования.

По этому, изучение структурно-чувствительных параметров становилось основой петроплотностной классификации. Условная петроплотностная классификация разделяет изучаемые образования на: первично уплотненные и разуплотненные, вторично уплотненные и разуплотненные (табл. 1). Отметим, что под понятием «первично» подразумевается син-петрогенное образование или последнее преобразование породы, при котором она полностью изменила свой облик (кристаллизация из расплава, перекристаллизация и т. д.), под «вторично» — самый сильный из последующих процессов изменения породы (грейзенизация, натриевый и калиевый метасоматоз, хрупкие и пластические деформации и т. п.).

К классу первично уплотненных пород относятся гранитоиды, образование которых происходило в условиях сжатия (всестороннего или одностороннего), практически во всем диапазоне глубин (кроме гипабиссальных). Понятие первичного уплотнения не предусматривает каких-либо ограничений по составу пород. Условия сжатия обуславливают низкую величину межзерновой, а, следовательно, и эффективной пористости. Уплотнение образующихся в этих условиях минералов означает более плотную упаковку атомов в кристаллической решетке, что учитывая низкую эффективную пористость, приводит к пониженным значениям общей пористости. Значения объемной плотности и эквивалентной теплопроводности, зависящих от минерального состава пород, будут выше в уплотненных породах аналогического состава, что объясняется как более плотной упаковкой атомов в кристаллической решетке, так и большим числом контактов между зернами. Вследствие тех же причин значения скоростей распространения продольных волн резко повышены, также повышены и соотношения скорости и плотности. В случае всестороннего сжатия соотношение скорости распространения продольных волн должно быть близким к модальному значению для гранитоидов ($V_p/V_s = 1,71$). При одностороннем давлении возможно развитие пластических деформаций, что приводит к увеличению величины V_p/V_s .

Для неизменных первично уплотненных пород характерной является низкая изменчивость всех перечисленных параметров. Характерной чертой, в пределах геологически однородного объекта, является постепенное уменьшение объемной плотности, эквивалентной теплопроводности и скоростей распространения упругих волн по мере увеличения общей и эффективной пористости.

К классу первично разуплотненных пород относятся гранитоиды, образовавшиеся в условиях растяжения. Образование в условиях растяжения предусматривает увеличение межзерновой, и следовательно, эффективной пористости, величина которой не должна опускаться ниже 2%. Объемная плотность, эквивалентная теплопроводность и скорости распространения упругих волн ниже, чем в гранитоидных образованиях аналогичного минерального состава, относимых к классу первично уплотненных пород. Это объясняется более высокой межзерновой пористостью и структурным «разрыхлением» кристаллов, а также — в соотношении тепловых и упругих характеристик — уменьшением количества контактов между зернами. Соотношение скоростей продольных и поперечных волн близко к модальному значению для гранитоидов. Отношение скоростей продольных волн к плотности не должно быть ниже 2. 1.

Т а б л и ц а 1
Принципы петроплотностной классификации горных пород

Тип	Класс	Тип деформации	Коэфф. вариации $V_P, V_P/V_S, \lambda, \beta, \sigma, m_0, m_{\phi}$	m_0	m_{ϕ}	σ_P, σ_H	V_P/V_S	V_P 10^3 м/с	β
ПУ	ПУ		низкий	<2,5	<0,2	$\sigma_P \leq \sigma_H$	$\sqrt{3} \approx 1,73$	5,5—6,3	низкий 0,2
ПР	ПР			>2,5	0,1—0,3	$\sigma_P \geq \sigma_H$	(1,7—1,8)		
	ПУ	ПЛ	высокий	<2,0	<0,15	$\sigma_P < \sigma_H$	$> \sqrt{3}$	5,5—6,0	высокий 0,2—0,8
	ВУ	ХР						5,0—5,6	
ВУ	ПР	ПЛ		1,5—3,0	>0,2	$\sigma_P \geq \sigma_H$	$> \sqrt{3}$	5,5—5,8	
	ВР	ХР						5,0—5,5	
	ПУ	ПЛ		2,0—3,0	0,2—0,3	$\sigma_P \leq \sigma_H$	$> \sqrt{3}$	5,4—6,0	
	ВУ	ХР						4,8—5,5	
ВР	ПР	ПЛ		>3,0	0,2—0,5	$\sigma_P > \sigma_H$	$> \sqrt{3}$	5,2—5,6	
	ВР	ХР						4,6—5,3 ($< 1,65$)	

Примечание: ПУ — первично уплотненные; ПР — первично разуплотненные; ВУ — вторично уплотненные; ВР — вторично разуплотненные; ПЛ — пластический; ХР — хрупкий; σ_P — расчетная плотность; σ_H — измеренная плотность.

Особо следует рассмотреть случай формирования первично разуплотненных пород в гипабиссальных условиях. Гранитоиды, образовавшиеся в таких условиях, характеризуются аномально высокими значениями эффективной пористости (порядка 20%), высокой общей пористостью и, как следствие, низкими величинами скоростей распространения продольных волн (менее $5,0 \cdot 10^3$ м/с) и их отношения к скорости поперечных волн, а также понижением эквивалентной теплопроводности. Кроме того, на малых глубинах практически все деформации приводят к развитию хрупких нарушений, что сказывается на величине упругих параметров.

Класс вторично уплотненных пород неоднороден по физико-механическим свойствам. Это вызвано, во-первых, тем, что процессы вторичного уплотнения могли затрагивать как уплотненные, так и разуплотненные разности, и, во-вторых, различием глубин, на которых происходило уплотнение. Так, если для больших глубин более характерными являются пластические деформации, то с уменьшением глубинности преобладают процессы вторичного уплотнения при хрупких деформациях.

Вторичное уплотнение с пластическими деформациями характерно для пород, подвергшихся одностороннему давлению при высоких РТ условиях. При этом в породе развиваются текстуры течения, происходит уменьшение порового пространства и уплотнение минеральных зерен, что приводит к уменьшению эффективной и общей пористости, и, следовательно, увеличению объемной плотности. В шлифах, вторично уплотненных при пластических деформациях пород отмечаются признаки катаклаза, изогнутость зерен биотита и волнистое угасание кварца и плагиоклаза. Для таких деформаций, как показал З в я г и н ц е в (1977), характерно некоторое понижение скоростей распространения продольных волн (не ниже $5,5\text{—}5,6 \cdot 10^3$ м/с), но соотношение V_P/V_S увеличивается и достигает максимально возможных значений (порядка 1,9). Вследствие уплотнения структуры породы эквивалентная теплопроводность возрастает по сравнению с гранитоидами того же минерального состава.

Вторичное уплотнение при развитии хрупких нарушений возникает при одностороннем давлении на относительно небольших (мезабиссальных) глубинах. Одностороннее давление в этих условиях приводит к уменьшению межзерновой пористости, некоторому уплотнению зерен и интенсивному развитию микротрещиноватости. При этом уменьшается общая пористость, и, следовательно, увеличивается объемная плотность, в то же время эффективная пористость растет. Вследствие развития микротрещиноватости понижается эквивалентная теплопроводность и возрастает коэффициент тепловой неоднородности. Те же причины обуславливают резкое понижение всех упругих характеристик, растет анизотропия упругих параметров.

Процесс вторичного разуплотнения может развиваться как по первично разуплотненным, так и по первично уплотненным гранитоидам, попавшим в зону растяжения при тектоно-магматической активизации. При этом происходит увеличение межзернового пространства и развитие микротрещиноватости, вновь образующиеся минералы характеризуются пониженной кристаллохимической плотностью. Все это обуславливает увеличение эффективной и общей пористости, понижение объемной плот-

ности и эквивалентной теплопроводности. Вследствие неравномерного распределения вновь образованных минералов достигает максимальных значений коэффициент тепловой неоднородности. Вторичное разуплотнение происходит, как правило, при развитии хрупких нарушений и часто сопровождается калиевым, натриевым и кремнекислотным метасоматозом, а также процессами серитизации, эпидотизации, хлоритизации и т. д. Развитие хрупких нарушений обуславливает аномально низкие значения всех хрупких характеристик.

Петромагнитная классификация

При построении петромагнитной классификации гранитоидных объектов также использован генетический подход. Сущность его заключается в выявлении характера происхождения основного отличительного признака петромагнитного облика петротипа — «магнитности» или «немагнитности». Как и при других петрофизических классификациях, разработка петромагнитной классификации с помощью одних специфических (магнитных) средств не представляется возможной. Определение принадлежности объекта к одному из таксонов осуществлялось на основании привлечения всей имеющейся информации, как правило, породного уровня. Прежде всего анализировались результаты изучения образцов в проходящем и отраженном свете, учитывалась степень окисленности железа. Наиболее информативны для определения природы петромагнитного облика магнитными критериями параметры магнитной жесткости. Это прежде всего отношение остаточной намагниченности насыщения к намагниченности насыщения, а также остаточной намагниченности к индуктивной намагниченности в поле, в котором определялась магнитная восприимчивость. Основой для построения петромагнитной классификации является наиболее массовый параметр — магнитная восприимчивость. В отличие от других петрофизических характеристик распределение этого параметра обладает важной для построения объективной классификации особенностью — бимодальным распределением (Сухорада, 1972). Максимум подавляющего большинства гистограм, построенных для представительных совокупностей гранитоидов различного состава, возраста, условий образования, приходится на интервал с модой $1,0 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Это значение и принимается в качестве граничного для разделения гранитоидов на два основных типа: магнитных (М) и немагнитных (НМ).

Для оценки генетического смысла петромагнитной классификации выделяются четыре петромагнитных класса: первично и вторично магнитные а также первично и вторично немагнитные (табл. 2).

Информация, свидетельствующая о преобладании в балансе ферромагнитной фракции вторичного магнетита, служит основанием для отнесения анализируемого петротипа к классу вторично магнитных пород. Наоборот — свидетельства уничтожения первичного рудного, если $\chi < 1,0 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, позволяет отнести соответствующий объект ко вторично немагнитному классу.

Т а б л и ц а 2
Петромагнитная классификация горных пород

Петромагнитная градация			Критерии идентификации		Петромагнитная формула
Тип	Класс	Подкласс			
магнитный	первичный	не выделяется	$> 1 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ	Ферромагнитные минералы сингенетичны большей части минералов, слагающих горную породу.	ПМ
	вторичный	не выделяется		Ферромагнитные минералы, вторичные по отношению к большей части минералов, слагающих горную породу.	ВМ
немагнитные	первичный	не насыщенных железом насыщенных железом	ед. СИ $< 1 \cdot 10^{-3}$	Следы существования ферромагнитных минералов не устанавливаются. Горная порода, как правило, магнитомягкая.	ПНМДЖ $Fe_2O_3 < 0,6\%$ ПНМНЖ $Fe_2O_3 > 0,6\%$
	вторичный	не выделяется		Улавливаются следы существования ферромагнитных минералов и процессов, приведших к их уничтожению (мартизация и т. п). Окисленность железа часто высокая. Преобладают магнито жесткие образования.	ВНМ

Для более достоверной петрологической интерпретации гранитоидов целосообразно выделить в составе класса первично немагнитный образований разности, резко обедненные железом, в самостоятельный подкласс (таб. 2). Следует ожидать, что носителями петрогенетической информации этого подтипа являются вторично немагнитные образования и насыщенные железом первично немагнитные образования. Принадлежность к двум последним таксонам свидетельствует о формировании гранитоидов в полярных ситуациях. Гранитоиды, содержащие достаточное количество железа, формировались в условиях восстановительной среды. Доказательство вторичной немагнитности исследуемых разностей равнозначно свидетельствует о том, что на последних стадиях формирования изучаемого объекта наблюдалось прогрессивное увеличение летучести кислорода. Более информативным является принадлежность петротипа к классу вторично магнитных образований. Этот тип свидетельствует о прогрессивно нарастающей фугитивности кислорода к последним фазам становления гранитоидного массива.

Дискуссия

Петрофизические данные для решения проблем петрологического, геодинамического, структурного, фациального изучения горных пород использовались в работах Д. М. Печерского, Н. С. Афанасьева, Н. Б. Дортман, Л. И. Звягинцева, Т. С. Лебедева, Н. И. Михайловой и др. Нами приведенные классификации построены на более комплексном анализе большого числа физических параметров и их связи с петрографическим и петрохимическим составом и геолого-геофизическом положении. При этом петроплотностная и петромагнитная классификации не отрицают петрофизические классификации других авторов. Так, Кудрявцева и Дьячкова (1982) подтвердили существование прямой связи между скоростью упругих волн и кристаллохимического щита. Они установили два типа зависимости между минеральной и кристаллохимической плотностями которая отмечается для большинства пороодообразующих минералов и некоторых оксидов. Первый тип связи, характеризующий прямую зависимость между минеральной и кристаллохимической плотностями отмечается для большинства пороодообразующих минералов, а второй, с обратной зависимостью, проявляется для простых и сложных оксидов и рудных минералов.

Следовательно, гранитоидные образования должны характеризоваться прямой зависимостью между кристаллохимической плотностью пород и их минеральной плотностью. Наличие этих связей позволяет использовать общую пористость, вычисляемую по величинам δ и σ , для косвенной оценки структурной рыхлости полевошпатовых пород и, следовательно, несет опосредованную информацию об условиях их образования (растяжение — сжатие).

Генетический анализ эффективной пористости, проведенный Звягинцевым (1977), показал, что для недеформированных пород ее можно отождествлять с межзерновой пористостью, которая образуется в про-

цессе кристаллизации. Эффективная пористость в этом случае будет зависеть от литостатической нагрузки и может быть использована для оценки глубинности образования пород. При этом нужно учитывать, что для деформированных пород на межзерновую пористость будет накладываться деформационная (т. е. микротрещиноватость). Ее влияние в случае пластических деформаций невелико, но резко возрастает при хрупких нарушениях (З в я г и н ц е в, 1977; 1983).

Таким образом, по изменению эффективной пористости в пределах геологически однородного объекта можно выделить деформированные и недеформированные разности и указать наиболее вероятный характер деформации. Л. И. З в я г и н ц е в (1977) также обосновал использование параметра V_p/V_s для оценки характера деформаций: при пластических — наблюдается рост параметра, обусловленный более медленным убыванием скорости распространения продольных волн по сравнению с поперечными; при хрупких — в результате развития микротрещиноватости происходит опережающее уменьшение V_p по сравнению с V_s , что приводит к резкому уменьшению их соотношения.

Установленная Н. З. Е в з и к о в о й (1972) прямая зависимость между скоростью распространения продольных волн и кристаллохимической плотностью пород, а следовательно, и между V_p и σ , позволила ввести в рассмотрение параметр V_p/σ , представляющий собой скорость упругих волн, нормализованную к значению плотности. Этот параметр служит дополнительным источником информации о типе деформации и условиях образования пород. При одинаковом минеральном составе и близкой пористости пород, а следовательно, и близости объемной плотности параметр V_p/σ будет незначительно понижаться при пластической и резко уменьшаться при хрупкой деформации.

Эквивалентная теплопроводность в первую очередь зависит от минерального состава породы в связи с существенными различиями λ в породообразующих минералах, так как влияние пористости (для кристаллических образований), вследствие ее малости, незначительно. Для гранитоидных образований наблюдается увеличение теплопроводности при переходе от более меланократовых к более лейкократовым разностям. На эквивалентную теплопроводность оказывает влияние (в сторону понижения) наличие систем хрупких нарушений, которые уменьшают количество контактов между зернами. В этом случае, а также при метасоматической переработке пород (калиевом, натриевом метасоматозе, грейзенизации и т. д.), проявляющейся неравномерно, резко возрастает коэффициент тепловой неоднородности (β), отражающий изменчивость теплопроводности в пределах образца. Последний может повышаться и в случае неравномернoзернистых и порфиоровидных структур.

Из магнитных параметров, наиболее массивный параметр — магнитная восприимчивость используется многими авторами при разчленении гранитоидных образований. Так, Р о з е н т а л ь — Д у б и н ч и к (1982) разделяют интрузивные гранитоиды на магнитные и немагнитные классы, причем пределом служит величина $\chi \approx 10^{-3}$ ед. СИ. И ш и г а р а (Ishihara, 1979) на основе содержания в гранитоидных породах магнетита и илменита разчленил гранитоидные породы Японии на магнети-

товую и илменитовую серию. Пределом является $\kappa = 10^{-4}$ ед./г ($\kappa \approx 3,6 \times 10^{-3}$ ед. СИ).

Таким образом из выше изложенного видно правомерность примененных физических параметров, как в петроплотностной, так и петромагнитной классификации.

Заключение

Петроплотностная классификация гранитоидов отражает тектонические условия формирования и существования гранитоидов. Исследуемые гранитоиды можно по данной методике разделить на уплотненные (первично и вторично) и разуплотненные (первично и вторично), с учетом деформационных воздействий (пластические, хрупкие).

В петромагнитной классификации изученные образования можно разделить на магнитные (первично, вторично) и немагнитные (первично, вторично), что отражает условия формирования пород, а также содержание железа в первичном субстрате, подвергнутом гранитизации.

Сравнение приведенных классификации как между собой, так и с геологическими и геофизическими данными, открывает новые возможности как в научном, так и в прикладном плане.

Перевод Я. Грегорова

ЛИТЕРАТУРА

- ГРЕГОР, Т., 1987: Петрофизические особенности гранитоидов Западных Карпат с целью их использования при геофизических исследованиях Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук, Киев, 24 с.
- ЕВЗИНKOBA, Н. З., 1966: О структурных плотностях минералов. *Минерал. сб.* (Москва), 20, 3, с. 352—358.
- ЕВЗИКОВА, Н. З., 1972: Эмпирическая зависимость скорости упругих волн от атомного строения минералов. *Геология и геофизика* (Новосибирск), 8, с. 94—99.
- ЕВЗИКОВА, Н. З. — ИЦИКСОН, Г. В., 1969: Структурная плотность решетки как показатель условий минералообразования. *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва.* (Москва), 98, 2, с. 129—149.
- ЗВЯГИНЦЕВ, Л. И., 1977: Физические свойства кислых пород различных фаций глубинности. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* (Москва), 4, с. 37—46.
- ЗВЯГИНЦЕВ, Л. И., 1983: Петрофизические свойства гранитоидных пород и их влияние на постмагматическое рудообразование. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук, Москва, 50 с.
- ЗВЯГИНЦЕВ, Л. И. — ПОДОЛЬСКИЙ, А. М., 1979: Петрофизические признаки условий формирования оловяноносных гранитов Охотско-Чукотского вулканического пояса. *Изв. АН СССР Сер. геол.* (Москва), 9, с. 78—93.
- КУДРЯВЦЕВА, М. Н. — ДЬЯЧКОВА, А. Я., 1982: Петрофизические типы пород и закономерности их размещения в структуре Украинского щита. *Научная думка*, Киев, 160 с.
- ПОПОВ, Ю. А. — СЕМЕНОВ, В. Г. — КОРОСТЕЛЕВ, В. М., и др., 1983: Бесконтактное определение теплопроводности горных пород с помощью подвижного источника тепла. *Изв. АН СССР, Сер. Физ. Земли* (Москва), 7, с. 86—93.
- ПРОДАЙВОДА, Г. Т. — ЛИТВИНЕНКО, П. Е., 1982: Теория и методика исследования анизотропии теплового расширения горных пород. *Вестн. КГУ Прикладная геохимия, петрофизика*, (Киев) 9, с. 65—73.
- РОЗЕНТАЛЬ, И. В. — ДУБИНЧИК, Э. Я., 1980: Петромагнитные исследования при изучении гранитоидных комплексов. *Недра*, Ленинград, 104 с.

- СТАРОСТИН, В. И., 1979. Структурно-петрофизический анализ эндогенных рудных полей. *Недра*, Москва, 240 с.
- СУХОРАДА, А. В., 1972: Магнитные свойства гранитоидов и некоторые аспекты геологической интерпретации. Автореф дис. ... канд геол.-мин. наук, Киев, 26 с.
- СУХОРАДА, А. В. — ГУЗИЙ, Н. И. — ЛОБАНОВА, Н. Ю., 1985: Петромагнитные особенности и рудны минералы гранитоидов Приазовья. *Вести. КГУ. Прикладная геохимия, петрофизика* (Киев), 12, с. 37—45.
- ТОЛСТОЙ, М. И., 1974. О петрофизических особенностях гранитоидов различных условий формирования. *Геол. сб. АН СССР* (Москва), 61, с. 29—41.
- ТОЛСТОЙ, М. И. — ЧЕКУНОВ, А. В. — ЩЕРБАКОВ, И. В. и др., 1987: Петрофизика гранитоидов украинского щита. *Наукова думка*, Киев, 240 с.
- ISHIHARA, S., 1979: Lateral variation of magnetic susceptibility of the Japanese granitoids. *J. Geol. Soc. Japan*. (Tokyo). 85, pp. 509—523.

Рукопись получена 11 апреля 1988 г.