

УДК 550.42

М. Толстой, д-р. геол.-минералог. наук., проф., глав. науч. сотр.

А. Шабатура, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: sand@univ.kiev.ua;

Н. Костенко, канд. геол. наук, науч. сотр.

E-mail: knv@univ.kiev.ua

Ю. Гасанов, инженер I кат.

E-mail: gul@univ.kiev.ua

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ВУЛКАНИЗМА РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЗОН АЛЬПИЙСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії доктором геол. наук, стар. науч. сотруд. М.І. Орлюком)

По результатам многопараметрического сопоставления по серии физических характеристик вулканитов различных зон Альпийского складчатого пояса Восточной Европы установлено, что наибольшее подобие между собой имеют объекты, относящиеся к одной вулканической провинции, что определяет территориальный признак как ведущий при петрофизическом сопоставлении. Основную факторную нагрузку родственной связи несут вещественно-чувствительные параметры: минеральная плотность, теплопроводность и др. Их роль, с мерой присоединения связей высшего порядка, постепенно снижается. С уменьшением влияния территориальной общности возрастает факторная нагрузка "структурно-чувствительных" петрофизических параметров: общей и эффективной пористости, упругих и скоростных параметров. Плотность и пористость являются определяющими при сильном "родстве" геологических объектов, а роль индуктивных магнитных параметров и упругих скоростей, соответственно, при слабом.

Также сильно меняется характер связи состава и фаз вулканитов с их физическими характеристиками. Для образований андезибазальт-андезитового и дацит-риолитового ряда установлено что постоянство состава и физических характеристик определяется, в первую очередь, геологическими условиями их становления, независимо от возраста и территориальной принадлежности. Отличия в структурно-тектоническом положении, режиме кристаллизации, фиксируемые в структурно-чувствительных физических характеристиках несут номинально более высокие и более вариативные значения и поэтому более информативны для целей формационного и территориального расчленения разреза. В частности, структурно-чувствительные петрофизические характеристики наиболее приемлемы при оценке глубинности магматического очага. При возрастании уровней глубинности отмечается постепенное снижение величин модулей упругости, всестороннего давления и вырисовывается немонотонный нисходящий тренд коэффициента Пуассона, скоростей продольных и поперечных волн, их отношения V_p/V_s , модуля сдвига.

Анализ структурно-чувствительных характеристик показывает большую схожесть базальтов и андезибазальтов Венгрии, Армении, Западных Карпат и Кавказа. Андезибазальты, андезиты и дациты Центрально-Закарпатской области, Казбека и Эльбруса близки по величине V_p/V_s .

Выделен ряд петрофизических трендов вулканитов, характерных для различных зон Альпийского складчатого пояса: латеральная петрофизическая зональность для Карпатского сегмента; сильная дифференцированность магнитных характеристик Кавказа и Армении; стойкая обратная зависимость изменения упругих и тепловых свойств от величины общей пористости для всех объектов.

Ключевые слова: физические свойства, вулканиты, петрофизический анализ.

Вступление. Фактический геологический материал однозначно свидетельствует о зависимости состава и степени дифференцированности магматических серий от строения, мощности земной коры и геодинамических условий их формирования, что особенно отчетливо проявляется для пород кислого и среднего состава и в свою очередь имеет отчетливое проявление в физических свойствах.

Физические свойства вулканитов Карпатского региона. В ходе геологического развития Карпатского региона менялась интенсивность вулканизма, состав продуктов вулканизма, ареалы его распространения, что наложило определенный отпечаток на физические свойства пород.

Характерной чертой региона является латеральная зональность распределения показателей состава и физических свойств. В направлении с запада на восток области отмечается возрастание основности и глиноземистости, железистости и щелочности, появление оливинсодержащих разностей пород, увеличение роли низкоокисленного железа. Для физических свойств в этом же направлении отмечено уменьшение пористости (для андезибазальтов приблизительно на 5%), увеличение объемной плотности (диапазон изменений σ_0 средних вулканитов Центрально-Карпатской области – 2,76-2,90 г/см³ и 2,5-2,62 г/см³ в андезибазальтах Западных Карпат и Паннонского массива) и ряда индуктивных магнитных параметров (ИМП) (для андезибазальтов соответственно $\approx 0,22-0,95$ до $0,6-1,05 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС).

Подобная смена интегральных величин общей и эффективной пористости в Паннонской и Западно-

Закарпатской областях (соответственно $m_{эф}$ имеет значения от 0,72-1,1% и 2,36-4,86%) отображает один из элементов общей этапности развития вулканизма с максимумом активности в раннеорогенную стадию во внутренней части Карпат, и последовавшую миграцию центров вулканизма с запада на восток отображается в сильной латеральной изменчивости магнитных и плотностных свойств (средние величины в риолитах г. Токай $\approx 0,006 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, σ_0 2,44 г/см³ и $2,47 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, σ_0 – 2,59 г/см³ в базальтах г. Бадачонь). Испытав вертикальное перемещение, расплав проникал вдоль Закарпатского глубинного разлома, а на заключительных этапах, по каналам приуроченным к Виноградовскому и Припаннонскому глубинным разломам [5, 15]. Сопровождающаяся смена геолого-структурной позиции и тектонического режима обусловила изменения глубинности, РТ-условий, уровня насыщения расплава флюидами и т.д., что наиболее четко проявилось в их магнитной характеристике.

Существующие различия в минеральной плотности выражаются в изменчивости составов вулканических продуктов, их территориального распределения. Для всех эффузивных средних образований Центрально-Закарпатской области отмечается четкое следование минеральной плотности за лейкократовостью, а для низкопористых образований – объемной плотности за изменением составов основной массы и минералов-вкрапленников [3]. Для пород массивных текстур практически всегда отслеживается закономерная связь между

минеральной и объемной плотностями и основностью. Продукты вулканизма Центрально-Закарпатской области представлены образованиями ряда андезибазальт-плагиориолит, формируют промежуточный по плотности класс пород (σ_0 изменяется в пределах от 2,16 до 2,36 г/см³; минеральная плотность δ 2,5-2,59 г/см³).

Стоит отметить, что на петроплотностную характеристику имеет место влияние тип продуктов извержения. Как правило, плотностные (в меньшей мере, все физико-механические характеристики) свойства выше у лавовых представителей пород (наиболее четко проявлено в андезитах и андезибазальтах, где σ_0 – 2,425 и δ – 2,753 г/см³), чем у их экструзивных аналогов (2,645 и 2,760 г/см³).

Для всех вулканических образований исследованных областей Карпатского региона, за исключением риолитов, можно выделить ряд общих закономерностей физических свойств:

1) Тесная связь упругих свойств с эффективной пористостью (коэффициенты вариации $r(m_e, V_p) = -0,71$; $r(m_e, V_s) = -0,75$).

2) В обстановке растяжения и повышенного теплового потока, на фоне снижения глубинности, происходило раскисления состава пород, общее разуплотнение и заметное снижение физико-механических свойств; в этом же направлении уменьшается значение отношения V_p/V_s [3].

4) Бимодальное распределение магнитных свойств вулканитов во всех областях региона. Первая группа пород относится к "магнитному" классу ($\bar{x} = 5425 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ) и представлена лавами, экструзиями различного состава с широким диапазоном изменения ИМП (\bar{x} от 0,04 до $61266 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ; остаточная намагниченность J_n от 0,4 до $238 \cdot 10^{-3}$ А/м); вторая – образованиями "немагнитного" класса ($\bar{x} = 2411 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ) и сформирована риолитами и риолитовыми.

6) Чувствительным показателем изменения условий образования вулканитов выступило различие в величине и направлении остаточной намагниченности вулканитов. На западе Выгорлат-Гутинской гряды наблюдаются типично обратно-намагниченные разности пород, а для района хр. Великий Шоллес и Оаш характерна лишь прямая намагниченность, что в свою очередь позволяет проводить корреляцию с рядом объектов Эльбрусской области.

Физические свойства магматитов Эльбруса. Вулканические ассоциации региона (включая интрузивные образования), несмотря на территориальную разобщенность массивов, обладают общими чертами химизма и физических свойств.

1. Гипабиссальные гранитоиды. Гранитоиды по магнитным свойствам достаточно дифференцированы в территориальных группах (если рассматривать только \bar{x} : 0,44 $\cdot 10^{-3}$ ед. СГС – Минераловодский; 0,32 – Нижнечегемский; 0,535 – Сурх-Крандужский; 0,54 – Верхнечегемский; 1,09 – Кыртык-Тызыльский; 0,39 – Эльбрусский районы). Объединяет их общая черта – низкие величины коэрцитивной силы; естественной остаточной намагниченности (от 0,85 до $3,6 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС); актор $Q \leq 1$ и значительный разброс направлений вектора I_n .

2. Субвулканические гранитоиды. Повышенные значения общей пористости (1,2%) на фоне согласованного снижения упругих и плотностных параметров (V_p до 4,85-5,04 км/с; σ_0 – 2,64-2,67 г/см³), позволяет предположить, что малые гранитоидные интрузии сформировались в обстановке растяжения. Принимая во внимание дробленность и оплавленность вкрапленников в породах неков и ранних порфировых выделений гранит- и гранодиорит-порфировых интрузий (Кыртыкский лакколит и Джунгусу), можно предположить, что

они имеют глубинную природу. К тому же, гранитоиды разных глубин имеют различную намагниченность (вариация J_n составляет от 0,009 до $3,94 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС).

3. Лавы среднего состава. Отличительной особенностью андезибазальтов Сурх-Крандужского участка является наибольшая в регионе теплопроводность ($3,44 \cdot 10^3$ кал/см сек град). Соединение факторов высоких плотностных и упругих свойств ($\delta = 2,63$ г/см³; $V_p = 4,46$ км/с), с одной стороны, и упорядоченная структура пород, с другой, обеспечили стабильное возрастание теплофизических свойств. Обратная сторона этой тенденции проявилась через общее уплотнение этих пород и низкую пористость (6,26%). Совершенно другой петрофизический облик имеют андезибазальты Кыртык-Тызыльского участка. Близкие по составу с вулканитами Сурх-Крандужского участка, они характеризуются значительно повышенными значениями общей и эффективной пористости ($m_0 = 6,78\%$; $m_e = 5,27\%$), и, как следствие, низкими упругими и теплофизическими свойствами ($V_p = 3,88$ км/с; $V_s = 2,30$ км/с; $\lambda = 2,9810^3$ кал/см сек град).

Андезибазальты Сурх-Крандужского и Кызыл-Тызыльского участков являются магнитными образованиями с высокими значениями фактора Q (~3). Локальные отличия в магнитности средних пород вызваны как особенностями вещественного состава, так и условиями их формирования.

4. Игнимбритовая толща. Исследованные магнитные характеристики пород игнимбритовой толщи Нижне- и Верхнечегемского участков показывают, что они достаточно однородны по величинам ИМП и владеют характерным "жестким" типом намагниченности ($I_{rs} = 0,23 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС). Для них отмечается наличие высоких величин намагниченности насыщения на фоне пониженных величин \bar{x} и I_n ($\bar{x} = 0,32 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС; J_n составляет $1,89 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС). Также, данные термомангнитного анализа свидетельствуют о присутствии титаномагнетитов с высокими точками Кюри (~580°C). Развиты вторичные фазы магнетиков, образовавшиеся за счет диссоциации темноцветов.

Петроплотностная характеристика пород позволяет разделять разные участки районов, чего нельзя сказать об их упругих параметрах (нижнечегемские вулканиты $V_p = 3,96$ км/с; $V_s = 2,07$ км/с; верхнечегемские вулканиты $V_p = 3,78$ км/с; $V_s = 2,2$ км/с). Игнимбриты Нижнечегемского района обладают низкими значениями плотности ($\sigma_0 = 2,14$ г/см³); они более структурно разрыхлены, чем аналогичные породы Верхнечегемского участка. ($\sigma_0 = 2,41$ г/см³).

5. Лавы кислого состава. Образования дацитового состава ($\delta = 2,64$ г/см³; $\sigma_0 = 2,45$ г/см³) характеризуется более высокими плотностными параметрами, нежели риолиты. В обоих видах пород отслеживается тренд уменьшения плотности вверх по разрезу, что, по видимому, связано со строением плиоценового вулканического центра, а именно, с повышением основности туфолов и лав риодацитового и риолитового составов от основания к верхам разреза.

В целом, можно отметить некоторое общее структурное разрыхление дацитов от образований Верхнечегемского участка к Кыртык-Тызыльскому и значительное у пород Эльбрусского участка. Вследствие резкого уменьшения содержания вкрапленников, и особенно темноцветов, фиксируются низкие упругие и тепловые параметры этих пород ($V_p = 3,88$ км/с; $V_s = 2,30$ км/с; $\lambda = 2,96 \cdot 10^3$ кал/см сек град).

Относительно повышенное содержание железа, повышенная основность риолитов Кыртык-Тызыльского и Эльбрусского участков практически не отобразились на

их магнитности. Это большей частью "немагнитные" образования ($\bar{x} = 0,1015 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС).

Дациты Эльбруса представлены, главным образом, магнитными образованиями ($\bar{x} = 0,50 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС). При этом, среди них встречаются тела с максимальными для кислых вулканитов области значениями ИМП ($\bar{x} = 0,92 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС в Б. Азау). Главной отличительной особенностью описываемых образований являются их низкие точки Кюри (около 375°C) и однофазность терромагнитных кривых.

Физические свойства вулканитов Казбекской области. Однородность минерального состава предопределила довольно небольшой диапазон изменений плотности лав Казбекской области ($2,37\text{--}2,75 \text{ г/см}^3$). Вариативность в распределении плотностных свойств обусловлена изменениями газового режима при остывании эффузивов, что привело к незакономерному изменению пористости ($1,15\text{--}14,2\%$), а отсюда и остальных физико-механических свойств этих образований. Как правило, количество летучих увеличивалось к последним фазам вулканической активности, поэтому, наиболее молодые андезидациты (Горис-Цохе, Ткаршети) отличаются пониженными значениями минеральной плотности ($2,68$ и $2,70 \text{ г/см}^3$), объемной плотности ($2,40$ и $2,44 \text{ г/см}^3$), скорости продольных волн (V_p : $3,48$ и $2,81 \text{ км/с}$; V_s : $2,55$ и $2,29 \text{ км/с}$), теплоемкости и отношения V_p/V_s ($1,36$ и $1,23$). Магнитные свойства вулканитов проявляют существенные различия в разных районах области. Наибольшие величины ИМП характерны для вулканитов Казбекского района ($\bar{x} = 0,68$; от $0,15$ до $1,41 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС), в то время как для Кельского ($\bar{x} = 0,298$; от $0,1$ до $1,32 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС), а особенно Джавского районов ($\bar{x} = 0,17 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС), магнитные образования вообще не характерны.

Для "магнитного" класса пород главными ферромагнетиками являются минералы гемоильменитовой серии, которые в процессе эволюции претерпели различные изменения. По данным терромагнитного анализа, наибольший вклад в магнитность вносит малотитанистый титаномagnetит. Именно он формирует высокие величины ИМП.

Физические свойства вулканитов Армянского нагорья. Региональные отличия в составе, условиях образования четко проявлены в латеральной и вертикальной петрофизической зональности вулканитов Армянского нагорья. Андезибазальты Восточной зоны характеризуются однородным составом с высокой фемичностью, что фиксируется повышенными значениями физико-механических параметров и минеральной плотности, по сравнению с андезибазальтами Западной зоны, одинаковыми с ними по кремнекислотности и фемичности.

1. Лори-ахурянская толща. Отмечаются значительные различия в физических свойствах "нижних" и "верхних" долеритов лори-ахурянской толщи. [10, 11]. Анализ магнитных данных показывает, что для "верхних" долеритов характерны более спокойные условия кристаллизации. Их крупные идиоморфные зерна титаномagnetита подвергнуты интенсивному высокотемпературному окислению, тогда как, в долеритовых базальтах "нижней пачки" лори-ахурянской толщи окисление первичного титаномagnetита, по всей вероятности, вызвано очень быстрой кристаллизацией расплава на высокотемпературной стадии, о чем говорит дендритоподобная форма титаномagnetитов [13].

2. Кечутская свита Западной вулканической зоны. Вариации физических свойств вулканитов кечутской свиты имеют сложную природу, поскольку наряду

с тенденцией изменения физических свойств от условий образования, значительную роль играет состав пород, влияющий на значения плотности, теплопроводности и упругих свойств. По минеральному составу породный ряд свиты варьируется от двупироксеновых андезибазальтов до гиалодацитов, формируя гомодромную серию. Отмечается уменьшение минеральной плотности вверх по разрезу [15], следуя за повышением кислотности пород. Тенденция разуплотнения толщи несколько нарушается при смене породной ассоциации – переходе к амфиболитовым андезидацитам.

Наиболее сложный характер изменения наблюдается при рассмотрении магнитных свойств. Изменения ИМП эффузивов кечутской свиты следуют за вариациями содержания в них железа, его окисленности и концентрации рудного минерала. Петромагнитный анализ позволяет установить ряд общих черт эффузивов кечутской свиты (достаточно высокое исходное содержание ферромагнитных минералов, где первичный титаномagnetит имеет температуру Кюри 300°C), а также разделить их на две группы по магнитности.

1) Двупироксеновые андезибазальты кечутской свиты характеризующиеся однофазными кривыми ТМА типа Q с температурой Кюри 500°C .

2) Амфиболовые андезиты, кварцсодержащие андезиты и амфиболовые андезидациты имеющие величину δ , несущественно отличающуюся от 1. Рудный минерал, главным образом, находится в составе основной массы и интенсивно опацифицированного амфибола (в основном базальтической роговой обманки). Это наиболее магнитные образования с высокой магнитной восприимчивостью ($11,45 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС), сильной корреляционной связью $Is-\bar{x}$, $Is, \bar{x}-C_{\text{фер}}$ [15].

Восточная вулканическая зона. Новейшие вулканогенные породы Гегамского нагорья являются результатом трех этапов внедрения. Вариативность физических свойств, обладая некоторыми общими чертами внутри каждого из этапов извержения, довольно высокая. Широкое представительство петрографических разновидностей пород делает возможным дифференцировать их по величине минеральной плотности ($2,75 \text{ г/см}^3$ в андезитах и $2,90 \text{ г/см}^3$ в базальтах). Более того, с учетом тесной связи минеральной плотности с составом пород появляется возможность выделения их вулканических фаз, поскольку они различаются по содержанию кремнекислоты. Это обстоятельство сближает их с вулканитами Центрально-Закарпатской области.

Тепло- и температуропроводность лав Гегамского нагорья колеблется в широких пределах (λ – от $2,88\text{--}3,52 \cdot 10^{-3} \text{ кал/см сек град}$; α – $5,96\text{--}6,48 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$).

По магнитным свойствам вулканиты Гегамы можно объединить в две группы: 1) первый и второй этап новейшего вулканизма представлен породами с повышенной магнитной восприимчивостью, пониженной естественной остаточной намагниченностью ($\bar{x} = 1,49\text{--}2,89 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС; $n = 6,51\text{--}33,39 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС); 2) эффузивы простых вулканических построек вершинной части Гегамского хребта, вулкана Армаган и первой фазы деятельности вулкана Джрбашян имеют незначительные различия в ИМП.

Вулканиты Айоцдзора. В целом состав пород вул. Айоцдзор является более кислым с повышенным содержанием щелочей и пониженным фемическим компонентом, чем состав одновозрастных с ними вулканитов Гегамского нагорья. Наблюдаемое изменение состава магм между продуктами центральных и периферических вулканических очагов в петроплотностном отношении практически не отслеживается. В то время, как увеличение эксплозивности от ранних этапов к поздним, едва намеченное на Гегаме, тут в Айоцдзоре

проявляется наиболее отчетливо, что позволяет использовать величины общей и эффективной пористости или их комбинации для сравнения вулканитов разных орогенических этапов. Сама пористость, как общая, так и эффективная вулканитов Айодзора монотонно увеличивается от продуктов начальных фаз вулканизма к более поздним (m_0 с 11,26 до 14,51%; m_e с 8,8 до 13,01%). Следуя за ростом минеральной плотности и обладая обратной зависимостью с общей и эффективной пористостью, наибольшие средние значения скоростей упругих волн ($V_p=4,84$ км/с; $V_s=2,72$ км/с), теплофизических параметров ($\lambda=3,44 \cdot 10^{-3}$ кал/см сек град; $a=6,38 \cdot 10^{-3}$ см²/сек) и упругих модулей ($E=4,3$; $G=1,705$) имеют андезибазальты Гюллидузского вулкана, Сарцалинского покрова, а наименьшие – их аналоги первой фазы вулкана Далик.

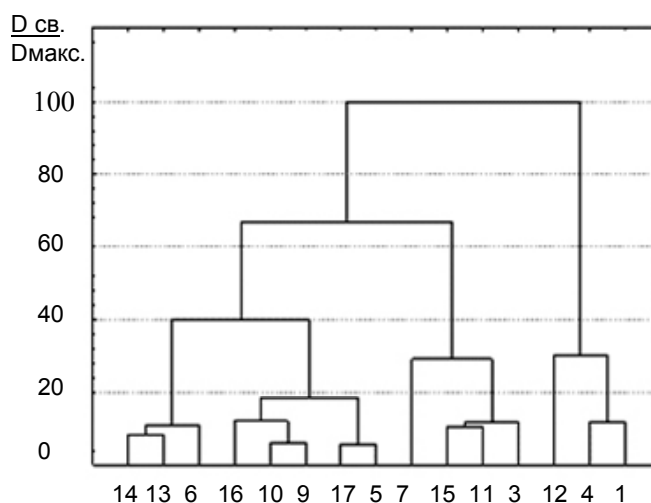
Разделение вулканитов Айодзора по комплексу плотностных, упругих и емкостных параметров находит продолжение в петромагнитной классификации. Высокоплотные, низкопористые образования Сарцалинского покрова и Гюллидузского вулкана содержат наибольшее среди вулканитов подзоны количество железа и характеризуются максимальными значениями ИМП ($3,29 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС), показателя α/Fe_s [15]. Пониженноплотностные ($\delta=2,72-2,79$ г/см³; $\sigma_0=2,10-2,369$ г/см³) и пористые (m_0 14,98-23,8; m_e 11,32-22,27%) эффузивы Далика выделяются контрастным распределением магнитных параметров ($\alpha=0,38-6,8 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС; $Is=0,42-3,2 \cdot 10^{-3}$ (Гс·см³)/г).

Петромагнитный анализ позволяет разграничивать циклы эффузивной деятельности [15].

Риолитовые куполовидные вулканы распространены по всей складчатой зоне Армении. Их возникновение связывается с позднеплиоценовой вспышкой тектонической активности позднеорогенной стадии развития. Наибольшими средними значениями минеральной плотности и скоростей упругих волн обладают риолиты и обсидианы вул. Ени-ел ($\delta=2,413-2,545$ г/см³; $V_p=4,22-5,76$ км/с; $V_s=2,43-3,56$ км/с) и вул. Сатанакар ($\delta=2,360-2,477$ г/см³; $V_p=3,70-5,74$ км/с; $V_s=2,19-3,56$ км/с). Значительная латеральная неоднородность распределения минеральной плотности связана с высокой дифференцированностью расплавов вне зависимости от приуроченности к различным тектоническим структурам, хотя в целом вулканиты обладают близким вещественным составом.

Отслеживается обратная зависимость изменения упругих и тепловых свойств с величиной общей пористости. Отклонения от этой зависимости обусловлены характером и формой пористости и, отчасти, структурными особенностями.

Лавы вулканов Артени по магнитным свойствам (соответственно $\alpha=0,092$ (липарит), $0,047$ ("верхние" липариты), $0,003$ (перлиты) $\times 10^{-3}$ ед. СГС) отличаются вариабельностью (коэффициент вариации 58%, 36%, 45%). Связь фактора Кенигсбергера с индуктивными параметрами и характеристиками магнитной жесткости имеет сложный характер [15].



D св.	Группа вулканитов										Принцип общности									
2,31	5	17																		Территориальный
2,47	9	10																		Территориальный
3,30	13	14																		рТ-условия
4,26	11	15																		Территориальный
4,33	6	13	14																	рТ-условия, тектонический и газовый режим
4,78	1	4																		Территориальный
4,80	3	11	15																	рТ-условия, породный ряд, тип извержений
4,83	9	10	16																	Территориальный
7,41	5	17	9	10	16															Возраст, орогеническая фаза, тип извержений, уровни глубинности
11,77	3	11	15	7																Эруптивный режим
12,16	1	4	12																	Возраст, кластический тип продуктов, мезо- и абиссальные уровни глубинности
16,13	5	17	9	10	16	6	13	14												Средний химизм, центральный тип извержений, абиссальные глубины
26,91	3	11	15	7	5	17	9	10	16	6	13	14								Структурно-тектонический контроль вулканических продуктов
40,24	1	4	12	3	11	15	7	5	17	9	10	16	6	13	14					Тектонический режим воздымания и растяжения

Рис. 1. Кластерная диаграмма сопоставления неовулканитов

Альпийской зоны Восточной Европы по комплексу петрофизических параметров

Местоположение: 1 – вулканиты Айодзора; 2 – Береговое холмогорье; 3 – Выгорлат-Шоллеский район; 4 – Гегамское нагорье;

5 – Джавский район; 6 – Западная вулканическая зона Армянского нагорья; 7 – Паннонская область; 8 – Землин-Береговой район; 9 – Кельский район, группа вулканов Крестового перевала Непискале; 10 – Минераловодский район; 11 – Нижнегемский район; 12 – Оаш-Гутейский район; 13 – Армянское нагорье; 14 – Эльбрус-Кюгенский район;

15 – Центрально-Грузинская глыба. D св. оценивался алгоритмом Уорда по методу Манхэттенского расстояния

Выводы. Наблюдаемое различие петрографических типов вулканитов, их геохимических и физических особенностей обуславливается различными условиями зарождения и перемещения магматических расплавов из первичных очагов. Состав вулканитов определяется при этом, с одной стороны, составом субстрата в области магнеообразования, а с другой, тектонической эволюцией, механизмом теплообмена с геологической средой, в которой происходит одновременная транспортировка и эволюция расплавов.

Количественное выражение меры различий (или меры родства) между различными вулканическими образованиями по результатам петрофизического моделирования показывает, что наибольшую тесноту связи (наименьшие значения $D_{св}$) имеют объекты, относящиеся к одной вулканической провинции, что определяет территориальный признак (приуроченность геологических объектов к одному региону, области или району) как ведущий при петрофизическом сопоставлении. Факторная нагрузка родственной связи между близкотерриториальными образованиями вне зависимости от принадлежности к конкретной орогенической провинции фиксируется, главным образом, в вещественно-чувствительных параметрах: минеральной плотности, теплопроводности. Их роль, с мерой присоединения связей высшего порядка, постепенно снижается. Одновременно в факторной нагрузке увеличивается роль "структурно-чувствительных" петрофизических параметров: общей и эффективной пористости, упругих и скоростных параметров. Плотность и пористость являются определяющими на малых величинах $D_{св}$, а роль индуктивных магнитных параметров и упругих скоростей доминирует в связях высокого порядка с высокими $D_{св}$.

Наибольшую тесноту связи (наименьшие значения $D_{св}$) имеют объекты, относящиеся к одной вулканической провинции, что определяет территориальный признак (приуроченность геологических объектов к одному региону, области или району) как ведущий при сопоставлении (рис. 1).

Для образований андезибазальт-андезитового и дацит-риолитового типа, проведенные исследования в пределах Альпийской складчатой зоны Восточной Европы показали, что постоянство состава и физических характеристик определяется, в первую очередь, геологическими условиями их становления независимо от возраста и территориальной принадлежности.

Отличия в структурно-тектоническом положении, режиме кристаллизации, фиксируемые в структурно-чувствительных физических характеристиках (v , V_p/V_s и т.д.), несут номинально более высокие значения и поэтому более информативны. В частности, структурно-чувствительные петрофизические характеристики наиболее приемлемы при оценке глубинности магматического очага. При возрастании уровней глубинности отмечается постепенное снижение величин E , K и вырисовывается немонотонный нисходящий тренд v , V_p/V_s , G , V_s .

Анализ структурно-чувствительных характеристик показывает большую схожесть базальтов и андезибазальтов Венгрии, Армении, Западных Карпат и Кавказской областей [7, 8, 13]. Андезибазальты, андезиты и дациты Центрально-Закарпатской области, Казбека и Эльбруса близки по величине V_p/V_s .

Перечень использованных источников:

1. Абрамович И.И., Высокоостровская Е.В., (1964). Титан-железное отношение в породах гетерогенных магм. Геохимия, 7, 641–651.
Abramovich I.I., Vysokoostrovskaya Ye.V., (1964). Iron-titanium ratio in the rocks of heterogeneous magma [Titan-zheleznoye otnosheniye v porodakh geterogennykh magn]. Geokhimiya – Geochemistry, 7, 641–651 (In Russian).

2. Асланян А.Т., (1958). Региональная геология Армении. Ереван: Айпетрат, 430.
Aslanyan A.T., (1958). Regional geology of Armenia [Regional'naya geologiya Armenii]. Aypetrat Publishing, Yerevan, 430 (In Russian).
3. Толстой М.И., Гасанов Ю.Л., Молявко В.Г. и др., (1976). Геохимия, петрофизика и вопросы генезиса новейших вулканитов Советских Карпат. К.: Вища школа, 187.
Tolstoy M.I., Gasanov YU.L., Molyavko V.G. et al., (1976). Geochemistry, petrophysics and some questions of genesis latest volcanics Soviet Carpathians [Geokhimiya, petrofizika i voprosy genezisa noveyshikh vulkanitov Sovetskikh Karpat]. Vishcha shkola Publishing, Kiev, 187 (In Russian).
4. Греков И.И., Арбузкин В.Н., Литовко Г.В., Трофименко Е.А., (2005). Тектонодинамика Эльбрус-Кюгенского вулканического района (Центральный Кавказ). Сб. Современные методы геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории Кабардино-Балкарии. М.: Институт физики Земли РАН, Кабардино-балкарский Государственный университет, 83–93.
Grekov I.I., Arbuzkin V.N., Litovko G.V., Trofimenko Ye.A., (2005). Tektonodynamika Elbrus-Kyugenskogo vulkanicheskogo rayona (Tsentral'nyy Kavkaz). Collection of scientific articles. Modern methods of geological and geophysical monitoring of natural processes on the territory of Kabardino-Balkaria. Institute of Earth Physics RAS Publishing, Kabardino-Balkar State University, Moscow, 83–93 (In Russian).
5. Лазаренко Э.А., Гнилко М.Н., Зайцева В.Н., (1968). Металлогения Закарпатья. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 172.
Lazarenko E.A., Gnilyko M.N., Zaytseva V.N., (1968). Metallogeny of Transcarpathian [Metallogeniya Zakarpat'ya]. Lviv University Publishing, Lviv, 172 (In Russian).
6. Молявко В.Г., Михайлов В.А., (1975). Сопоставление и корреляция пород андезитовой формации Выгорлат-Гутинской гряды. Материалы по геологии, геохимии, геофизике Украины, Молдавии. К.: Изд-во Киевского ун-та, 10.
Molyavko V.G., Mikhaylov V.A., (1975). Comparison and correlation of rock andesite formation of Vyhorlat-Huta volcanic ridge [Sopostavleniye i korrelyatsiya porod andezitovoy formatsii Vygorlat-Gutinskoy gryady]. Materials on the geology, geochemistry, geophysics, Ukraine, Moldova. University of Kiev Publishing, Kiev, 10 (In Russian).
7. Молявко В.Г., Остафийчук И.М., Найчук Н. В., Утробин Д. В., (1980). Геодинамический режим формирования и условия кристаллизации кислых расплавов в пределах Эльбрусской вулканической области. Известия ВУЗов, Сер. геология и разведка, 8, 21–36.
Molyavko V.G., Ostafiychuk I.M., Naychuk N.V., Utrobin D.V., (1980). Geodynamic mode of origin and crystallisation conditions of acid melts within the Elbrus volcanic area [Geodinamicheskiy rezhim formirovaniya i usloviya kristallizatsii kislykh rasplavov v predelakh El'brusskoy vulkanicheskoy oblasti]. Yzvestiya VUZov, Seriya heolohyya y razvedka – News of the universities, a series of geology and exploration, 8, 21–36 (In Russian).
8. Молявко В.Г., Остафийчук И.М., Толстой М.И., Сухорада А.В., Продайвода Г.Т., (1979). Эволюция неоген-четвертичного вулканизма Большого Кавказа и проблемы глубинного магнеообразования. В кн.: Глобальные палеовулканические реконструкции и тектоника. Хабаровск, 32–41.
Molyavko V.G., Ostafiychuk I.M., Tolstoy M.I., Sukhorada A.V., Prodayvoda G.T., (1979). Evolution of Neogene-Quaternary volcanism of the Greater Caucasus and problems of deep magma [Evolyutsiya neogen-chetvertichnogo vulkanizma Bol'shogo Kavkaza i problemy glubinnogo magmoobrazovaniya]. In the book: Global paleovolcanic reconstruction and tectonics. Khabarovsk, 32–41 (In Russian).
9. Печерский Д.М., Шаронова З.В., (1976). Термомагнитная характеристика четвертичных стратовулканов Арагац и Эльбруса. Сб. Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма, Москва, 2, 80.
Pecherskiy D.M., Sharonova Z.V., (1976). Thermomagnetic characteristics of Quaternary stratovolcanoes Aragats and Elbrus [Termomagnitnaya kharakteristika chetvertichnykh strativulkanov Aragats i El'brus]. Collection: Main geomagnetic field and the problems of paleomagnetism. Moscow, 2, 80 (In Russian).
10. Продайвода Г.Т., (1972). Влияние петрографических факторов на физические свойства вулканогенных пород. Геофизический сборник АН УССР, 46, 66–72.
Prodayvoda G.T., (1972). Influence of petrographic factors on the physical properties of volcanic rocks [Vliyaniye petrograficheskikh faktorov na fizicheskiye svoystva vulkanogennykh porod]. Geofizicheskiy sbornik AN USSR – Geophysical compilation of Ukrainian Academy of Sciences, 46, 66–72 (In Russian).
11. Продайвода Г.Т., Сухорада А.В., Карапетян К.И., (1978). Петрофизическая характеристика продуктов ареального вулканизма (на примере Гегамского нагорья Армении). Вopr. приклад. геохим. и петрофиз., 110–112.
Prodayvoda G.T., Sukhorada A.V., Karapetyan K.I., (1978). Petrophysical characteristics of products of areal volcanism (for example Geghama highlands of Armenia) [Petrofizicheskaya kharakteristika produktov areal'nogo vulkanizma (na primere Gegamskogo nagor'ya Armenii)]. Voprosy prikladnoy geokhimii i petrofizik – Questions of applied geochemistry and petrophysics, 110–112 (In Russian).
12. Собисевич А.Л., Нечаев Ю.Н., Собисевич Л.Е., Гурбанов А.Г. и др., (2003). Результаты геолого-геофизического мониторинга магматических структур вулкана Эльбрус. Сб. Современные методы геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории

Кабардино-Балкарии. Нальчик: Кабардино-балкарский Государственный университет, 158–178.

Sobisevich A.L., Nechayev YU.N., Sobisevich L.Ye., Gurbanov A.G. et al., (2003). Results of geological and geophysical monitoring magmatic structures Elbrus [Rezultaty geologo-geofizicheskogo monitoringa magmaticheskikh struktur vulkana Elbrus]. Collection: Modern methods of geological and geophysical monitoring of natural processes on the territory of Kabardino-Balkaria. Kabardino-Balkar State University, Nalchik, 158–178 (In Russian).

13. Толстой М.И., Ширинян К.Г., Остафийчук И.М., Адамян А.А. и др., (1980). Состав, физические свойства и вопросы петрогенезиса новейших вулканических образований Армении. Ереван: АН АрмССР, 322.

Tolstoy M.I., Shirinyan K.G., Ostafiychuk I.M., Adamyan A.A. et al., (1980). Composition, physical properties and some questions petrogenesis latest volcanic Armenia [Sostav, fizicheskiye svoystva i voprosy petrogeenezisa novyeshikh vulkanicheskikh obrazovaniy Armenii]. AN ArmSSR – Academy of Sciences of the Armenian SSR, Yerevan, 322 (In Russian).

M. Tolstoy, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

O. Shabatura, Cand. Sci. (Geol.) Sci. Assoc.

E-mail: sand@univ.kiev.ua

N. Kostenko, Cand. Sci. (Geol.), Sci. Assoc.

E-mail: knv@univ.kiev.ua

Yu. Hasanov, I Cat. Geological Engineer

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

E-mail: gul@univ.kiev.ua

14. Чекунов А.В., Ливанова Л.П., Гейко В.С., (1969). Глубинное строение земной коры и некоторые особенности тектоники Закарпатского прогиба. Советская геология, 10, 57–68.

Chekunov A.V., Livanova L.P., Geyko V.S., (1969). Deep crustal structure and tectonics of some features of the Transcarpathian Trough [Glubinnoye stroeniye zemnoy kory i nekotoryye osobennosti tektoniki Zakarpatskogo progiba] Sovetskaya geologiya – Soviet geology, 10, 57–68 (In Russian).

15. Ширинян К.Г., (1967). О возможных глубинных условиях ареального вулканизма Армении. Изв. АН АрмССР, Серия: Науки о Земле, 20, 5–6, 42–54.

Shirinyan K.G., (1967). On the possible underlying conditions areal volcanism Armenia [O vozmozhnykh glubinnym usloviyakh arealnogo vulkanizma Armenii]. Izv. AN Arm. SSR, Seriya: Nauki o Zemle – News of AS of the Armenian SSR, Series: Geosciences, 20, 5–6, 42–54 (In Russian).

Надійшла до редколегії 01.07.14

STRUCTURAL AREAS IN EAST EUROPEAN ALPINE FOLDED BELT: CONTRASTING PHYSICAL PROPERTIES OF VOLCANIC PRODUCTS

Multiparameter contrasting of volcanites physical properties in the various zones of the Alpine orogen showed the greatest similarity between the objects related to a common volcanic province. This defines a territorial principle to be leading for petrophysical analysis. Substance-sensitive parameters, such as mineral density, thermal conductivity, and others become decisive for objects homogeneity. However, their significance gradually decreases as new high-order links appear. While the affect of the territorial proximity decreases, the importance of structural petrophysical parameters, such as overall and effective porosity, elasticity, velocity etc. increases. Density and porosity are crucial for strong homogeneity between geological objects, while inductive magnetic parameters and elastic velocity determine weak territorial proximity.

The correlation between vulcanite phases, chemistry, and their physical properties varies widely in different geological objects. For andesite-basalts and dacite-rhyolite series, chemical constancy and physical properties were established to be primarily determined by the geological environment of their origin, regardless of the age or territorial proximity.

Differences in structural-tectonic position, mode of crystallization recorded by structural-sensitive physical properties have nominally higher and divergent values, and, therefore, are more informative for geological and territorial section fragmentation. For instance, structure-sensitive petrophysical properties are most appropriate to assess a depth of magma chambers.

As the depth increases, elasticity and uniform stress moduli gradually decrease. At the same time there is traced an intermittent decrease in Poisson's ratio, longitudinal and transverse wave velocity, as well as V_p/V_s shear ratio is recorded.

Research into structural-sensitive properties reveals similarity between basalts and andesite-basalts located in Hungary, Armenia, Western Carpathians, and the Caucasian regions. Andesite-basalts, basalts, and dacites of the central trans-Carpathians, Kazbek and Elbrus are similar in V_p/V_s values.

There were singled out a number of petrophysical regularities for volcanites in different zones of the Alpine orogen. The mentioned above are as following: lateral petrophysical zonality (Carpathian segment); a strong differentiation of magnetic characteristics of the Caucasus and Armenia; a stable inverse dependence of elastic and thermal properties on the value of total porosity (all objects under research).

Key words: physical properties, volcanites, petrophysical analysis.

М. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук., проф., голов. наук. співроб.

О. Шабатура, канд. геол. наук., ст. наук. співроб.

E-mail: sand@univ.kiev.ua

Н. Костенко, канд. геол. наук., наук. співроб.

E-mail: knv@univ.kiev.ua

Ю. Гасанов, інженер I кат.

E-mail: gul@univ.kiev.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СПІВСТАВЛЕННЯ ПРОДУКТІВ ВУЛКАНИЗМУ РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ ЗОН АЛЬПІЙСЬКОГО СКЛАДЧАСТОГО ПОЯСУ СХІДНОЇ ЄВРОПИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

За результатами багатопараметричного зіставлення за серією фізичних характеристик вулканітів різних зон Альпійського складчастого поясу Східної Європи встановлено, що найбільша подібність між об'єктами спостерігається тоді, коли вони відносяться до однієї вулканічної провінції, що визначає територіальну ознаку як провідну при петрофізичному зіставленні. Основне факторне навантаження родинного зв'язку між геологічними об'єктами несуть речовинно-чутливі параметри: мінеральна густина, теплопровідність та ін. Їхня роль, з мірою присудження зв'язків вищого порядку, поступово знижується. Із зменшенням впливу територіальної спільності зростає факторне навантаження "структурно-чутливих" петрофізичних параметрів: загальної та ефективно пористості, пружних і швидкісних параметрів. Густина і пористість є визначальними при зв'язках сильної "спорідненості" геологічних об'єктів, а роль індуктивних магнітних параметрів і пружних швидкостей, відповідно, при слабких.

У різних геологічних об'єктах також сильно змінюється характер зв'язку складу і фаз вулканітів з їхніми фізичними характеристиками. Для утворень андезібазальт-андезитового і дацит-ріолітового рядів встановлено, що сталість складу й фізичних характеристик визначається, в першу чергу, геологічними умовами їх становлення, незалежно від віку й територіальної приналежності. Відмінності в структурно-тектонічному положенні, режимі кристалізації, що фіксуються в структурно-чутливих фізичних характеристиках, несуть номінально вищі та більш варіативні значення, і тому є більш інформативними для цілей формаційного й територіального розчленування розрізу. Зокрема, структурно-чутливі петрофізичні характеристики найбільш прийнятні при оцінці глибини магматичного вогнища. При зростанні рівнів глибини відзначається поступове зниження величин модуль пружності, есебічного стиску і вимальовується немонотонний спадний тренд коефіцієнту Пуассона, швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль, їх відношення V_p/V_s , модуля зсуву.

Аналіз структурно-чутливих характеристик показує велику схожість базальтів і андезібазальтів Угорщини, Вірменії, Західних Карпат і Кавказу. Андезібазальти, андезити і дацити Центрально-Закарпатської області, Казбеку і Ельбрусу близькі за величиною V_p/V_s .

Виділено ряд характерних петрофізичних трендів вулканітів різних зон Альпійського складчастого поясу: латеральна петрофізична зональність для Карпатського сегменту; сильна диференційованість магнітних характеристик вулканітів Кавказу та Вірменії; стійка обернена залежність зміни пружних і теплових властивостей від величини загальної пористості для всіх геологічних об'єктів регіону.

Ключові слова: фізичні властивості, вулканічні породи, петрофізичний аналіз.