Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVII, вып. 2, 1960 г.

СПОСОБ КОРРЕЛЯЦИИ НЕМЫХ ТОЛЩ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА ПРИМЕРЕ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО АЛТАЯ [1]

В. Е. Попов

При геологическом картировании складчатых областей геологу-съемщику постоянно приходится сталкиваться с вопросом расчленения и корреляции осадочных отложений, содержащих остатки ископаемых организмов плохой сохранности или не охарактеризованных ими вовсе. При мелкомасштабной геологической съемке для этого используются общеизвестные признаки: сходство и различие литологии; степень метаморфизма; характер складчатости; взаимоотношение с интрузиями определенного комплекса; какие-либо характерные особенности выделяемого комплекса отложений, если эти особенности сингенетичны с данными отложениями и поэтому относятся только к ним (косая слоистость, наличие конкреций разного рода и т. д.).

Крупномасштабная съемка в условиях Южного Алтая, имеющая дело, как правило, с комплексом отложений одной свиты, образовавшихся в течение небольшого промежутка времени и поэтому характеризующихся одинаковым типом складчатости, одинаковой степенью метаморфизма, может основываться только на литологических признаках или каких-либо специфических особенностях отложений.

Сопоставление отложений еще более затруднено, если состав толщ пестрый, литологически разнородный и фациально изменчив. Ясно, что в условиях геосинклинального накопления осадков, при большой подвижности дна и береговой линии, при действии течений в условиях мелководья в одно и то же время на сравнительно небольших расстояниях друг от друга будут непременно образовываться слои, литологический состав которых в разных местах различен. Конгломераты и песчаники прибрежных частей бассейна будут соответствовать известнякам и глинистым породам относительно более глубоководных участков. При этом часто резко изменяется не только фациальный состав отложений, но и мощность, особенно при переходе от известняков к песчано-глинистым

[1] При изучении девонских рудовмещающих толщ Южного Алтая автором в течение 1955—1958 гг. проводились опытно-методические исследования по сопоставлению отдельных детальных разрезов пестрого литологического состава по геохимическим данным в связи с предстоящей в ближайшие годы геологической съемкой изученных территорий в масштабе 1 : 50 000. Часть результатов этих исследований изложена в настоящей статье.

отложениям. Таким образом, простое литологическое сопоставление отдельных горизонтов будет заведомо неправильно и приведет к неправильной интерпретации структурных особенностей картируемого района.

Из специальных методов корреляции отложений и расчленения их в условиях сравнительно небольших фациальных изменений пород издавна применяется минералогический анализ. Не умаляя большого значения минералогического анализа для палеогеографических построений, блестяще доказанного В. П. Батуриным, нельзя не отметить, что для корреляции толщ, образовавшихся в условиях быстрой фациальной изменчивости, он не всегда возможен. Акцессорные минералы, приносимые водными потоками, могут иметь локальное распространение по дну бассейна, причем участки распространения этих минералов могут изменяться во времени в соответствии с перемещением потоков и изменением источников сноса.

Заметим, что приготовление искусственных шлихов из песчаников и последующее изучение их весьма трудоемки. В связи с этим С. М. Катченков предложил использовать при исследовании терригенных толщ данные более дешевого спектрального анализа [3]. После приготовления эталонов он определял почернение спектральных линий S для соответствующих элементов и устанавливал изменение их содержания по разрезу или изменение отношения между ними. Для корреляции песчаников он рекомендует использовать в первую очередь такие элементы, как титан, хром, цирконий, германий, железо, натрий; для глин — титан, хром, ванадий, марганец, никель, кобальт, медь, стронций, барий, литий, бериллий, цирконий, молибден, магний, кальций, натрий, калий, галлий, германий и др.; для карбонатных пород—стронций, барий, марганец, медь, никель, натрий, алюминий, железо, кремний. При сопоставлении (особенно расчленении) монотонных терригенных толщ этот простой и сравнительно дешевый метод уже дал положительные результаты. Наши попытки применения этого метода были безуспешны, так как сопоставлять можно глинистые породы по содержанию хрома, титана и другим элементам, но нельзя по содержанию отдельных элементов сопоставлять аргиллиты с известняками, известняки с песчаниками и т. п. ввиду очевидной зависимости абсолютного содержания элементов в осадочной породе от количества терригенной фракции. Кроме того, спектральный анализ не дает большой точности [4].

Для сопоставления фациально различных, но одновременно отложившихся осадков необходимы были признаки, характерные для всех или хотя бы большинства осадков, образовавшихся в данном бассейне. Этими признаками обладают минералы, седиментация которых зависит от химизма бассейна.

Осадочные горные породы, как известно, состоят из четырех основных комплексов минералов: комплекс реликтовых минералов — терригенный; комплекс минералов, трудно растворимых в воде, выделяющихся в основном в виде коллоидов в зависимости от pH и окислительно-восстановительного потенциала морской воды; труднорастворимые соли, выделяющиеся в кристаллическом виде; легкорастворимые соли.

Химизм бассейна находит свое отражение в трех последних комплексах. Кроме них, по мнению Н. С. Спиро и И. С. Грамберга, «...в осадке и породе присутствует особый комплекс поглощенных оснований. Состав последних зависит от свойств адсорбирующего комплекса и находится в подвижном равновесии с жидкой средой, но в результате процессов литификации и диагенеза может захороняться» [6, стр. 11].

На Южном Алтае, где проводились нами исследования, ввиду значительного регионального метаморфизма палеозойских отложений минералы второго комплекса, как правило, не сохранились и превратились в разного сорта слюды и окислы. Четвертый комплекс вообще отсутствует. Третий комплекс представлен карбонатами, которые в одних случаях являются цементом породы, в других — слагают ее почти целиком. Извлечение минералов этого комплекса совместно с комплексом поглощенных оснований, а также части окислов из представленных нами образцов и химический анализ их проводились в химической лаборатории ВНИГРИ (В. М. Семеновой и М. Ф. Сапоговой под руководством А. И. Зиновьева). В соответствии с разработанной методикой [7] измельченная проба осадочной породы обрабатывалась соляной кислотой 0,5-нормальной концентрации (примерно концентрация 1,83%). По сравнению с обработкой уксусной кислотой, рекомендуемой Г. В. Иллювиевой [2], этот метод значительно быстрее, дешевле и дает вполне удовлетворительные результаты. Окислы аутигенного происхождения в южноалтайских девонских породах присутствуют в незначительном количестве и тоже растворяются вместе с карбонатами. Как показал опыт А. И. Зиновьева, из 20 *мг* MnO при получасовой обработке ее в 50 *см*^{3} HCl растворилось 7 *мг*. Так как в породе содержится 0,01—0,1% MnO, предполагаем, что она практически полностью переходит в раствор.

Полученные кислотные вытяжки подвергались затем обычному карбонатному анализу с дополнительным определением двухвалентного марганца и закисного железа (можно также определять стронций, барий и другие элементы-спутники). Процентное содержание каждого элемента в кислотной вытяжке зависит от количества цемента в породе. Но отношение пар химических элементов, сходных по своим физико-химическим свойствам, величинам ионных радиусов, ионных потенциалов и т. д., в случае незначительного вторичного изменения пород для каждого определенного отрезка времени существования бассейна должно быть примерно одинаковым. Примерами таких пар могут служить натрий и калий, калий и литий, стронций и барий, ванадий и никель, кобальт и никель, титан и цирконий, марганец и железо и др. На важность изучения соотношения пар элементов для выяснения целого ряда геохимических процессов и корреляции указывал еще А. П. Виноградов [1].

В исследованиях мы опирались на опыты Н. С. Спиро и И. С. Грамберга, показавших, что обработка образцов из скважин и естественных выходов с целью изучения состава карбонатов глинистых пород дает сходные результаты, т. е. при условии достаточной свежести образца, взятого из естественного обнажения, роль процессов выветривания можно не учитывать [5]. Состав поглощенных оснований и комплекса труднорастворимых минералов в известной степени отражает фациальные условия осадкообразования.

Для проверки этих теоретических предпосылок нами детально изучены три разреза девонских отложений в пределах распространения пугачевской свиты эйфельского возраста к югу от оз. Марка-Куль, в горах Дэрель-Биигы, в условиях очень хорошей обнаженности (рис. 1). Породы, слагающие разрезы, по Н. П. Иванову и Э. Г. Моисеевой (занимавшихся здесь геологической съемкой масштаба 1 : 200 000), имеют моноклинальное юго-западное падение и слагают крыло крупной антиклинальной структуры. Возраст пород определялся как эйфельский. Летом 1958 г. в известняках разрезов В. П. Пневым и автором была собрана фауна ругоз и табулят, представленная *Favosites* ex gr. *goldfussi* Orb., *F.* ex gr. *preplacenta* Dub., *Syringopora* ex gr. *crispa* Schlüt., *Heliolites rarus* Khalf., *Pachyfavosites* sp., *P.* ex gr. *polymorphius* Goldf,

Thamnopora sp., *Tyrganolites* sp., *Tryplasma* sp., *Stenophyllum* sp. nov., *Fasciphyllum* sp., *Tabulophyllum rotundum* Spassk., которая, по заключению Н. Я. Спасского, позволяет уточнить возраст вмещающих ее слоев и определить его как позднеэйфельский.

Первый разрез был составлен по правобережью р. Алкабек, севернее дороги, соединяющей села Николаевка и Александровка. Второй разрез — в районе урочища Дэрель, в 800—1000 *м* к северо-северо-западу от первого. Отдельные слои прослеживались по простиранию от одного разреза к другому, поэтому они абсолютно сопоставимы. Третий был составлен в 5,5—6 *км* к северо-северо-западу от второго, в районе

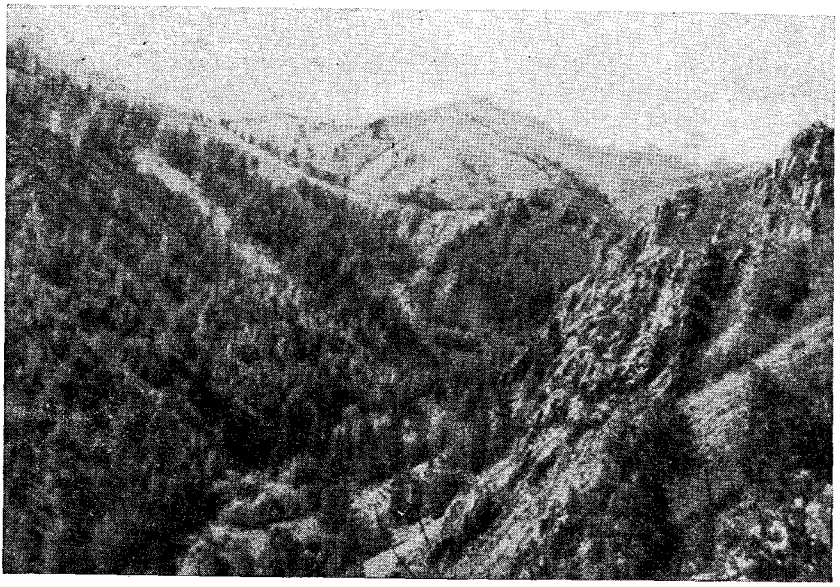


Рис. 1. Характер выходов девонских пород в горах Дэрель-Биигы (фото автора)

горы Мраморная и одноименного перевала. В качестве репера был использован контакт между толщей известняков и серовато-зеленых алевролитов. Сопоставимость третьего разреза с двумя до изучения геохимических особенностей слагающих его пород вызывала некоторые сомнения, так как он значительно удален от первых двух, фациально отличен и, возможно, структурно изменен.

Отбор проб на химический анализ производился в основном через 20—25 *м* (в переводе на истинную мощность) и из каждого литологически отличного слоя, если его мощность была меньше этой величины. Пробы брались только из невыветрелых и неизмененных разностей и анализ их производился после предварительного микроскопического изучения образцов. Всего для трех разрезов было сделано около 200 анализов (результаты приведены на рис. 7).

Разрез пугачевской свиты сложен в основном осадочными породами — известняками, сланцами, алевролитами, песчаниками и конгломератами.

Микроскопическое изучение образцов показало, что породы при процессах регионального метаморфизма претерпели значительное изменение, выразившееся в их рассланцевании и перекристаллизации цемента.

Известняки (рис. 2) темно-серого, серого и белого цвета часто обладают массивной текстурой, криптокристаллической, а также равномерно- и неравномернозернистой гранобластовой структурой. Иногда

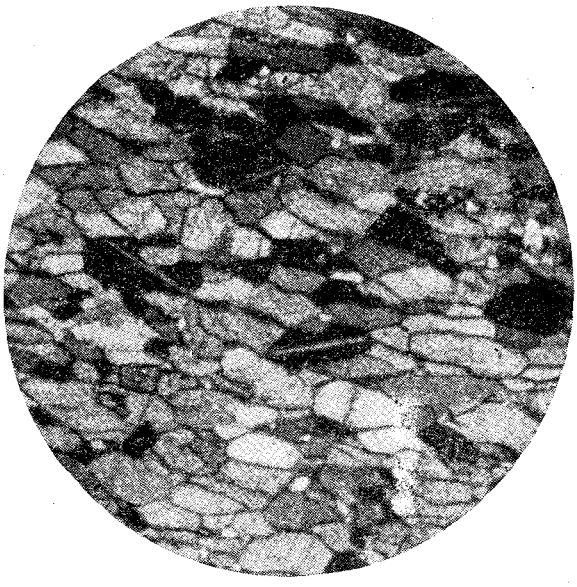


Рис. 2. Мраморизованный рассланцованный известняк, × 8, николи скрещены

в виде примеси присутствует небольшое количество алевролитовых и псаммитовых зерен кварца и кислого плагиоклаза.

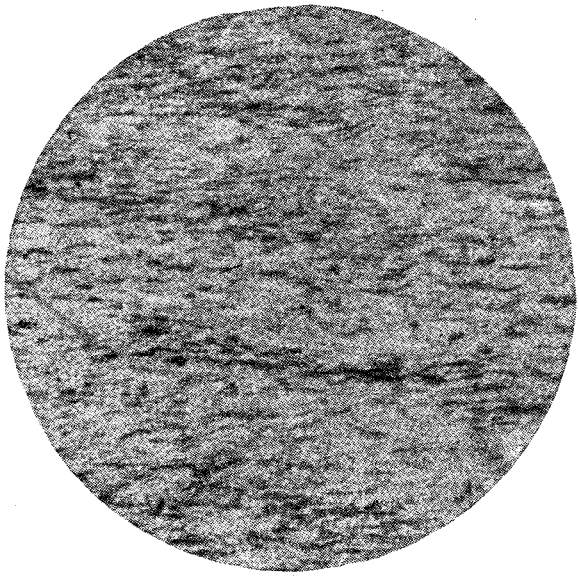


Рис. 3. Известково-серицитовый сланец по глинистому алевролиту, × 8, николи скрещены

Глинистые, глинисто-известковистые сланцы и алевролиты (рис. 3) **имеют светло-серый** и зеленовато-серый цвет, обладают **сланцеватой** текстурой, алевропелитовой и бластоалевропелитовой структурой. По-

рода состоит из зерен кварца, реже кислого плагиоклаза, сцементированных карбонатом и частью железистыми окислами. Цемент поровый, реже базальный. В нем часто присутствует значительное количество чешуек серицита, хлорита и мусковита, расположенных субпараллельно и обусловливающих сланцеватую текстуру породы.

Песчаники (рис. 4), в основном, коричневато-серого, светло-серого, иногда зеленовато-серого цвета, реже полимиктовые и кварцевые. Обладают неясносланцеватой, псаммитовой, алевропсаммитовой, иногда бластоалевропсаммитовой текстурой. Зерна различной степени окатанности, сцементированы поровым, реже базальным цементом карбонатного состава. В цементе также присутствуют железистые окислы, иногда слюда.

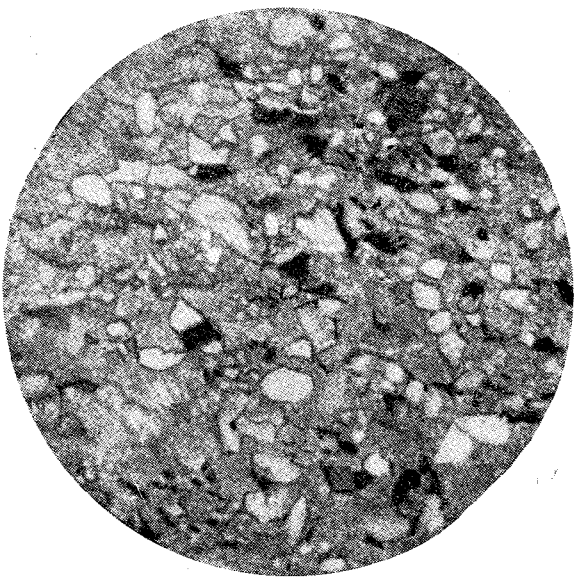


Рис. 4. Среднезернистый полимиктовый песчаник с карбонатным поровым цементом, ×3, николи параллельны

Конгломераты (рис. 5 и 6) сложены гальками кварцевых порфиров и известняков, реже гранитов и окварцованных алевролитов диаметром от 2—3 до 50 *см*. Они хорошо окатаны, сцементированы песчанистым, алевролитовым и известковистым материалом. В зависимости от крупности зерна цемент имеет алевропелитовую и псаммитовую структуру, часто несущую на себе следы бластеза.

Сопоставление разрезов проводилось по отношению элементов: магния к марганцу (по совету Н. С. Спиро), магния к двухвалентному железу, кальция к марганцу и др. Наиболее наглядную картину для исследованных отложений дало отношение магния к железу и железа к марганцу (рис. 7). Сопоставление показало хорошую сходимость данных для разрезов Алкабек и Дэрель и возможность сопоставления с ними разреза Мраморный.

Еще во время полевых наблюдений автором совместно с В. В. Сидоренко и Э. Г. Конниковым установлено, что породы, слагающие изученные разрезы, смяты в крутую синклинальную складку северо-западного простирания. Несмотря на некоторое несовпадение в фациях разных крыльев складки, наличие ее при внимательных замерах почти верти-

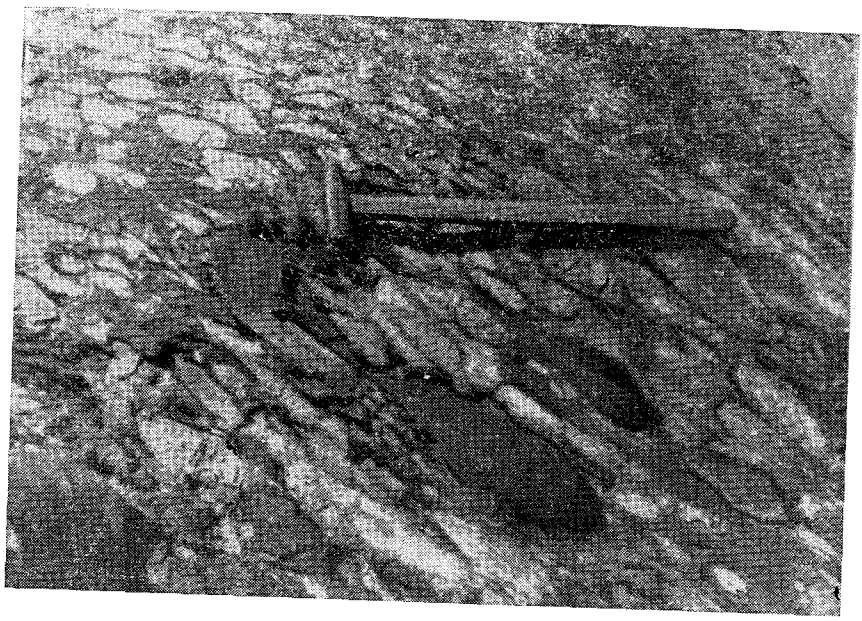


Рис. 5. Обнажение конгломератов пугачевской свиты (фото автора)

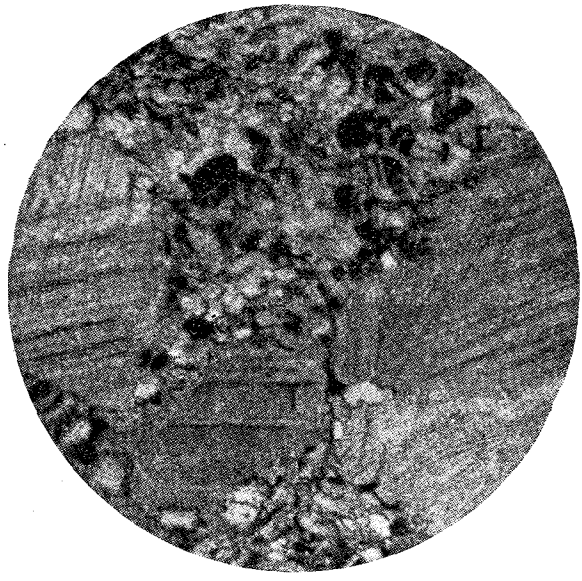


Рис. 6. Конгломерат. В поле зрения видны известняковые гальки, сцементированные известковисто-кремнистым цементом, × 8, николи скрещены

кально падающих слоев подтверждается тем, что известняки и алевролиты юго-западного крыла (на прилагаемой таблице — низы разреза) падают почти везде под углом 70—75° на северо-восток 60—70°, а известняки и конгломераты северо-восточного крыла (на рис. 7 — верхи разреза) имеют падение под таким же углом на юго-запад 330—340°. Кроме того, известняковая галька конгломератов в ядре складки вполне соответствует по облику белым сахаровидным известнякам крыльев складки и даже иногда содержит остатки членников криноидей, общий облик которых близок к содержащимся в известняках северо-восточного крыла складки (определение Р. С. Елтышевой).

Как видно из рис. 7, эпоха образования отложений, слагающих крылья складки, характеризовалась значительным непостоянством отношения между магнием и железом. В цементе пород оно колеблется от 0,3 до 19. Резкие колебания можно связывать с частыми изменениями окислительно-восстановительного потенциала бассейна в связи с колебаниями климатических условий, а также тектоническими движениями на близлежащей суше, вызывавшими изменение источников сноса. Заметим, что в условиях окислительной среды, как показывают расчетные и опытные данные, железо становится малоподвижным, подвижность же магния меньше

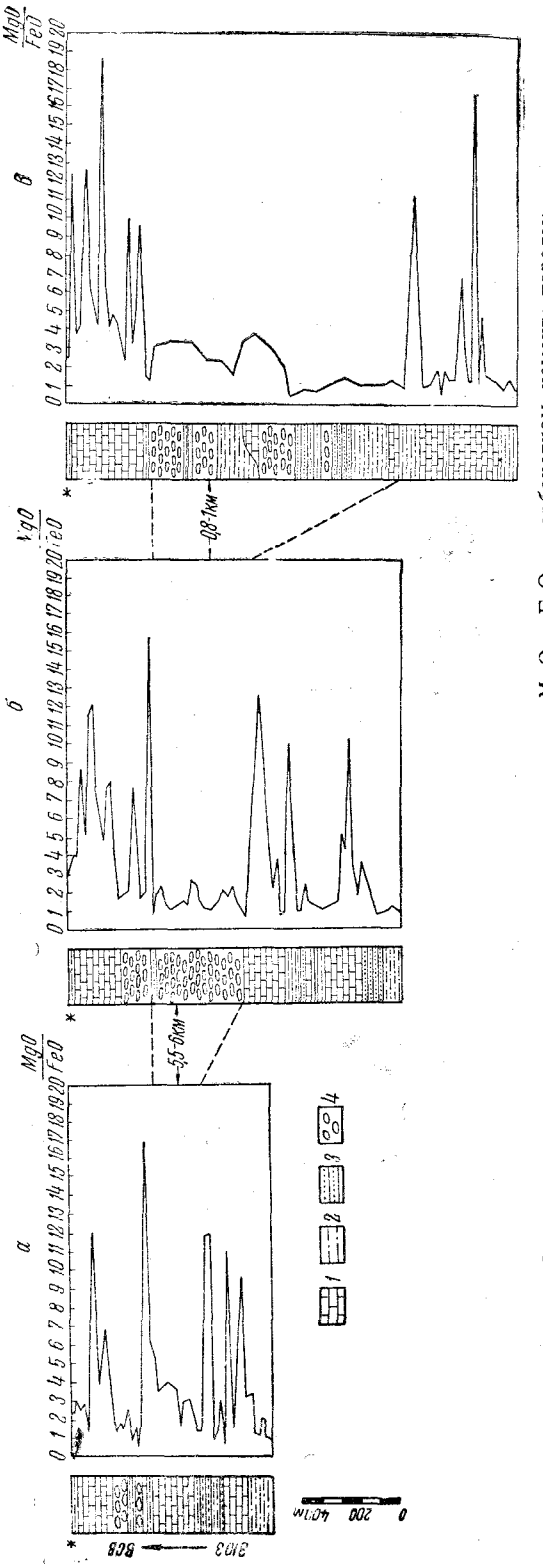


Рис. 7. Сопоставление разрезов по отношению содержания MgO к FeO в карбонатном цементе породы:
а — Мраморный; *б* — Дэрель; *в* — Алкабек; *1* — известняки; *2* — сланцы и алевролиты; *3* — песчаники; *4* — конгломераты. Звездочкой обозначен контакт между толщей известняков и серовато-зеленоватых алевролитов

зависит от εH. Таким образом, уменьшение величины отношения магния к железу в известной степени указывает на увеличение окислительных свойств среды в процессе седиментации и диагенеза осадка. Время отложения пород, слагающих ядро складки, характеризуется в этом смысле некоторой стабильностью. Отношение между магнием и железом колеблется от 0,5 до 4, характер кривой изменения отношения по разрезу более плавный.

Важно, что характер изменения кривой отношения парных элементов, а в некоторых случаях и величина отношения в общем не так уж сильно зависят от фациальной принадлежности породы. Так, например, один из максимумов отношения магния к железу в песчаниках юго-западного крыла складки в разрезе Мраморный, равный 11,8 (на таблице в нижней части разреза), примерно соответствует максимуму 12,5 в известняках юго-западного крыла разреза Дэрель и максимуму 11 в алевролитах разреза Алкабек. При этом абсолютные значения содержания MgO и FeO в кислотных вытяжках для этих трех анализов, естественно, не совпадают и соответственно равны — для песчаников разреза Мраморный 13,10 и 1,11 (проба 953), для известняков разреза Дэрель всего 1,12 и 0,09 (проба 1026), а для алевролитов разреза Алкабек 4,82 и 0,44 (проба 548). Аналогичные примеры можно продолжить при сравнении данных рис. 7.

Вычисленные величины отношения между парными элементами для сопоставляемых слоев могут точно не совпадать и даже не должны в общем случае совпадать ввиду некоторых локальных особенностей химизма отдельных фаций, вторичных изменений пород и других явлений, которые не всегда легко учесть при обработке данных. Однако характер кривой сохраняется, причем наглядность сопоставления зависит от подбора пар элементов и выбора наиболее удачного горизонтального масштаба для показа характера изменения кривой. Вертикальный масштаб графиков обычно выбирается в соответствии с детальностью составленных разрезов.

Мощность слоев, слагающих крылья складки и характеризующихся резкими изменениями отношения магния к железу, сохраняется в общем для всех разрезов довольно постоянной и колеблется в пределах 450—600 *м*, несколько уменьшаясь в разрезе Мраморный (см. рис. 7). Мощность же отложений, слагающих ядро складки, закономерно уменьшается по направлению к разрезу Мраморный, что можно объяснить как выпадением ряда горизонтов и уменьшением мощности слоев, так и подъемом шарнира синклинальной складки. Так, наличие складки, несмотря на отличия в фациальном составе отложений на крыльях, можно отметить по характеру кривой содержания Mg/Fe. Таким образом, настоящий метод можно в известных пределах применять не только для сопоставления и расчленения отложений, но и для расшифровки структур.

Характеризуя изложенный метод в целом, отметим, что сопоставление при наличии элементов-спутников среди комплекса труднорастворимых солей и поглощенных оснований (стронций, барий и др.) более надежно. Удовлетворительные результаты можно получить и для более распространенных элементов, что хорошо видно на нашем примере. Немаловажное значение имеет и то, что для сопоставления нами взято отношение между элементами, один из которых обладает постоянной валентностью (магний), а другой (железо) может изменять валентность в процессах седиментации и диагенеза, что не могло не повлиять на его содержание в породе при колебаниях pH и εH бассейна и осадка. При этом, конечно, необходимо в каждом отдельном случае изучать петро-

графический состав пород, степень их гидротермальной измененности и выветрелости. Выбор пар элементов также требует индивидуального подхода: парное отношение одних элементов может дать возможность выделения мощных пачек, отношение других — возможность расчленения этих пачек на дробные единицы. Принцип расчленения и сопоставления разрезов по составленным графикам в целом совпадает с минералогическими и другими геохимическими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Изд. АН СССР, 1952.
2. Иллювиева Г. В. Метод определения содержания окисных и карбонатных минералов в осадочных горных породах. Тр. НИИГА, т. 86, 1956.
3. Катченков С. М. Новый метод корреляции осадочных толщ по данным спектрального анализа. Сб. «Новости нефтяной техники (нефтепромысловое дело)», 1955, вып. 3.
4. Русанов А. К. Спектральный анализ. Госгеолтехиздат, 1948.
5. Спиро Н. С., Грамберг И. С., Вовк Ц. Л. Состав поглощенных оснований глинистых пород и его связь с фациальными условиями осадкообразования. Докл. АН СССР, 1955, т. 105, № 4.
6. Спиро Н. С., Грамберг И. С., Вовк Ц. Л. Методика сравнительного изучения состава терригенных осадочных пород. Тр. НИИГА, 1956, т. 86.
7. Юрганов Н. Н., Зиновьев А. И. Метод анализа кислотнорастворимой части осадочной породы из одной навески. Тр. ВНИГРИ, 1958, вып. 123.