Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 2, 1963 г.

УСКОРЕННЫЕ МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ИЗУЧЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

В. В. Хохлов

Выявление региональных геохимических закономерностей по характеру распределения химических элементов в толщах осадочных пород может быть достигнуто ускоренными методами спектрального анализа. Однако при этом необходима достаточная точность определения содержания химических элементов в горных породах и сохранение основных достоинств спектрального анализа: скорости, высокой чувствительности и простоты.

На основании учета особенностей проб горных пород и простых приемов анализа целесообразно применение метода появления линий в комплексе с трехступенчатым ослабителем (на отдельные элементы) [16] и метода ступенчатого ослабления линий на три порядка по М. М. Клеру [7]. Методом М. М. Клера, в отличие от других ускоренных приемов анализа, одновременно определяются многие элементы по одному спектру, кроме того, оценка содержания проста в большом диапазоне определяемых концентраций. Это делает метод перспективным для массового анализа образцов горных пород при региональных исследованиях.

Эффективность метода ступенчатого ослабления линий в изучении геохимических закономерностей магматических пород и рудных месторождений (в том числе и по нашим аналитическим данным) показана на практических примерах: разделении отдельных магматических комплексов [1], изучении околорудных изменений во вмещающих породах, установлении зависимости между количеством примесей и характерными особенностями минералов, выявлении генетической связи оруденения с коренными породами и др. [8, 9, 10, 13].

Во всех этих случаях аналитические методы определяют либо качественное различие в составе проб, либо устанавливают в них заметную разницу в концентрации анализируемых элементов, которая обычно значительно превышает погрешность метода, т. е. исследуемые пробы могут заметно отличаться по содержанию тех или иных рассеянных химических элементов.

В осадочных же однотипных образованиях чаще наблюдается плавное изменение физико-химических свойств как по разрезу, так и в пространстве. Характер распределения малых элементов в однородных толщах также может не иметь заметно выраженных градаций. Вместе с тем, изменение палеогеографических условий в процессе образования

[1] См. статью настоящего Сборника: Е. М. Квятковский, В. А. Блинов «Краткая геохимическая характеристика гранитоидов Хапчарангинского рудного района».

осадочных пород и их взаимодействие с окружающей средой может найти отражение в изменении тех или иных закономерностей в распределении малых и рассеянных элементов.

Ориентировочно можно ожидать, что средние величины содержаний определяемых элементов будут близки значению кларка. Относительное же изменение содержания малых элементов в горных породах может: отличаться на порядок, изменяться на несколько процентов и быть не замечено. Поэтому применимость метода для изучения конкретных осадочных пород в определенном районе необходимо установить экспериментально. Если содержание исследуемых элементов в разных

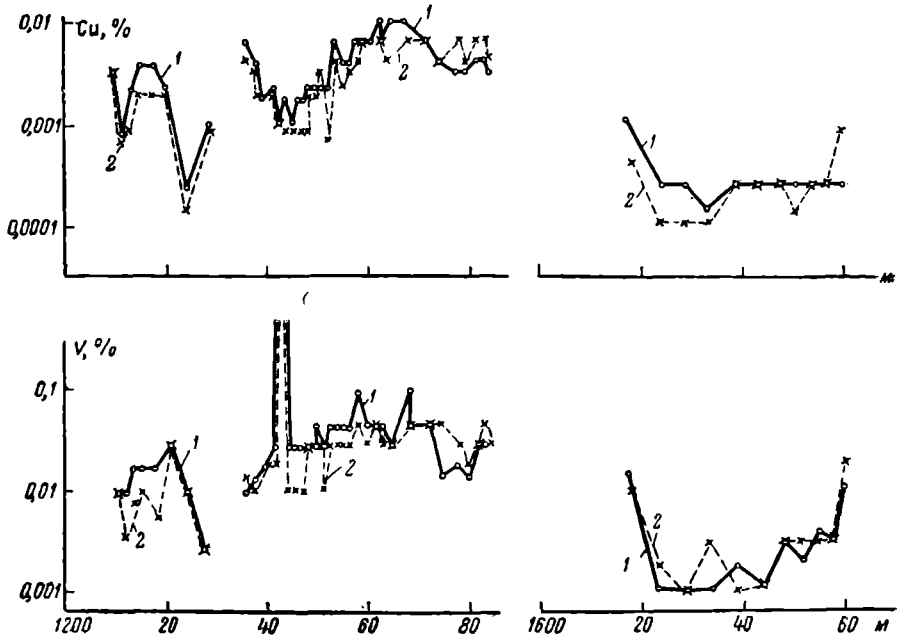


Рис. 1. Повторные определения содержания Cu и V в последовательно отобранных пробах на разных глубинах. Скважина Морсово:
1 и *2* — соответственно первое и повторное определения

пробах отличается на величину, меньшую предела погрешности, то разделять эти пробы указанным методом по количественной характеристике химических элементов невозможно.

Для выяснения этого вопроса первоначально проведены эксперименты на хорошо изученных разрезах (скважины Морсово, Мосолово, Каверино, Ряжск, Сердобск). Полученные данные подтверждены на других разрезах Русской платформы. Было изучено распределение различных химических элементов в древнейших осадочных образованиях Русской платформы. В процессе работы возникла необходимость особо рассмотреть приемы обработки и обобщения большого числа аналитических данных, графическое изображение результатов и другие вопросы, связанные с рациональным использованием результатов ускоренных методов спектрального анализа [1].

Как следует из экспериментальных материалов, содержание ряда определяемых элементов в конкретных пробах и группах проб может

Керновый материал для этой работы любезно был предоставлен нам сотрудниками отдела геологии Запада ВСЕГЕИ — Е. П. Брунс, А. Н. Гейслером, Н. С. Иголкиной и М. М. Толстихиной. При обобщении аналитического материала принята стратиграфическая разбивка, сделанная ими на основании литолого-петрографической изученности пород [2].

изменяться по разрезу в несколько раз и, видимо, чаще больше ошибки метода. Это подтверждается прежде всего повторными анализами проб, взятых по разрезу в последовательности отбора. Так, все кривые графика повторного анализа (рис. 1) показывают такое же изменение содержания меди и ванадия по разрезу. Кривые *I* рис. 2 характеризуют результаты количественного определения ванадия (дуга постоянного тока, определение интенсивности линий — почернения микрофотометром) [1]. Кривые *II* характеризуют количественное изменение ванадия, определение которого произведено методом ступенчатого ослабления спектральных линий (дуга переменного тока, визуальное определение интенсивности — почернения). Аналогичные кривые получены и при определении содержания никеля в тех же пробах. Сравнение кри-

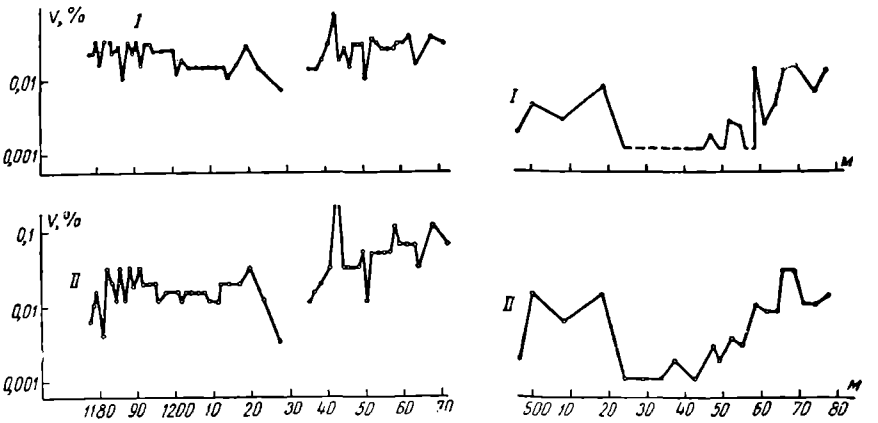


Рис. 2. Сравнение данных, полученных с применением фотометрирования (ВНИГРИ) I и методом ступенчатого ослабления линий, (Ленинградский горный институт) *II*. Скважина Морсово

вых показывает, что изменение концентрации элементов с глубиной отмечают оба метода.

Закономерность изменения содержания химических элементов по разрезу в разных породах отдельных горизонтов и пачек подтверждается и разными приемами введения пробы в дуговой разряд при определении содержания по ступенчатому ослаблению интенсивности линий. На рис. 3 сравнивается содержание меди и галлия в мелкообломочных породах в разрезе скважины Мосолово, установленное при испарении пробы из канала угольного электрода и при более стабильном режиме испарения пробы в горизонтальной дуге с подачей навески из форсунки — распылителя автоматической установки В. Г. Теплякова. Как видно, и здесь данные разных приемов анализа вполне согласованно определяют относительное изменение содержания различных по физико-химической характеристике элементов в разных пробах.

Наконец, на рис. 4 показано сравнение результатов определения содержания меди в разных породах ляминаритового горизонта скважины Мосолово, которые получены при различных условиях возбуждения спектра и разных приемах оценки интенсивности аналитических линий. При полном испарении навески в канале угольного электрода (ток до 20 *а*) и при частичном испарении ее за 1 *мин* из канала (при токе 10 *а* для легколетучих элементов) с применением трехступенчатого ослабителя [2] полученные данные вполне согласованно определяют изменение содержания меди по разрезу.

---

[1] Анализ выполнен нами в спектральной лаборатории ВНИГРИ.

[2] Полный анализ выполнен Т. Д. Нечаевой, упрощенный анализ на медь с применением трехступенчатого ослабителя — Н. Я. Ривлиной.

Сравнительная оценка содержания рассмотренных элементов в последовательно отобранных пробах показывает, что величина изменения концентрации ряда определяемых элементов в разных пробах толщи осадочных пород по разрезу может быть больше погрешности метода.

Установленные ранее возможности количественного определения содержания малых примесей в кристаллических горных породах [7, 14,

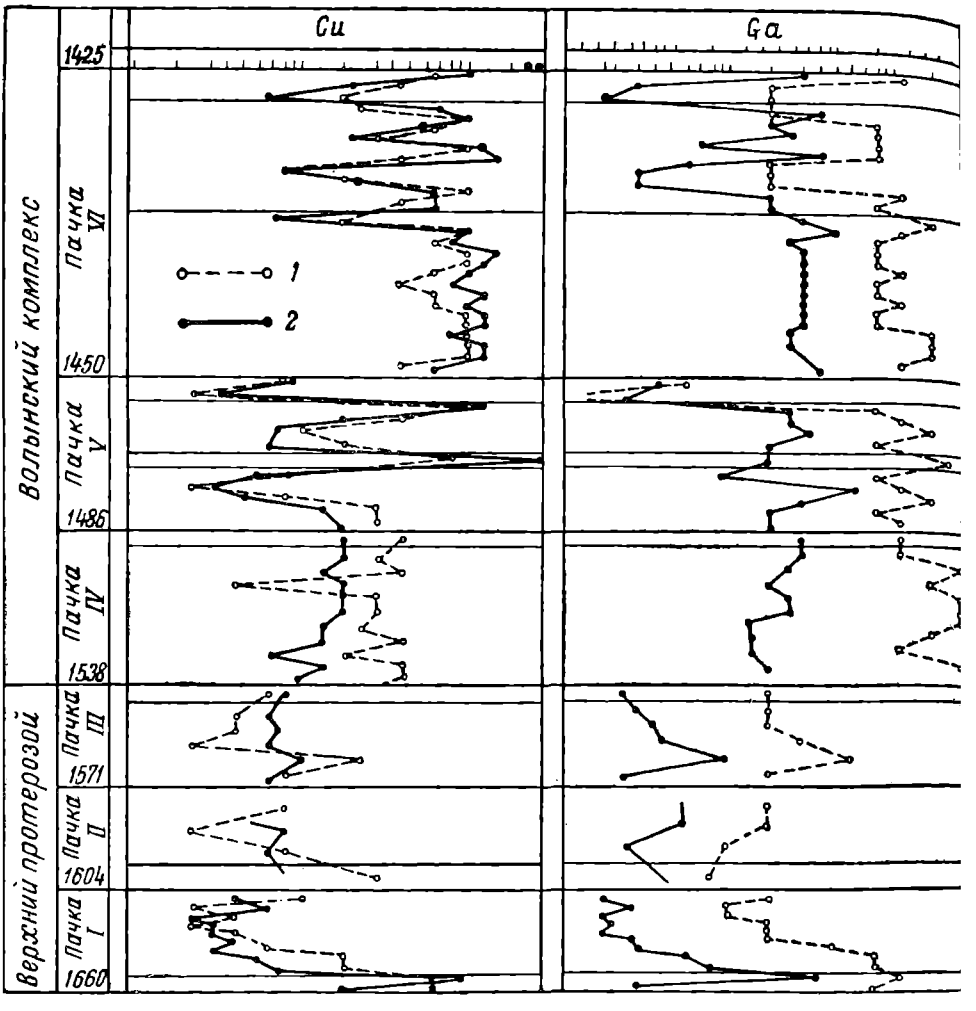


Рис. 3. Сравнение результатов анализа мелкообломочных пород разного типа волынского комплекса нижнего кембрия и верхнего протерозоя в разрезе Мосолово при испарении пробы из канала угольного электрода (*1*) и в горизонтальной дуге с подачей из распылителя автоматической установки В. Г. Теплякова (*2*)

15] вместе с рассмотренными здесь экспериментальными данными обосновывают применимость метода для изучения распределения редких и рассеянных элементов в осадочных породах. Это дало возможность изучить распределение конкретного комплекса химических элементов в ряде разрезов древних осадочных пород в разных районах Русской платформы [1].

По выявленному характеру распределения различных химических элементов в изученных разрезах устанавливаются определенные гео-

[1] В получении аналитического материала приняли участие Т. В. Колоскова, Т. Д. Нечаева, С. И. Фрайерман.

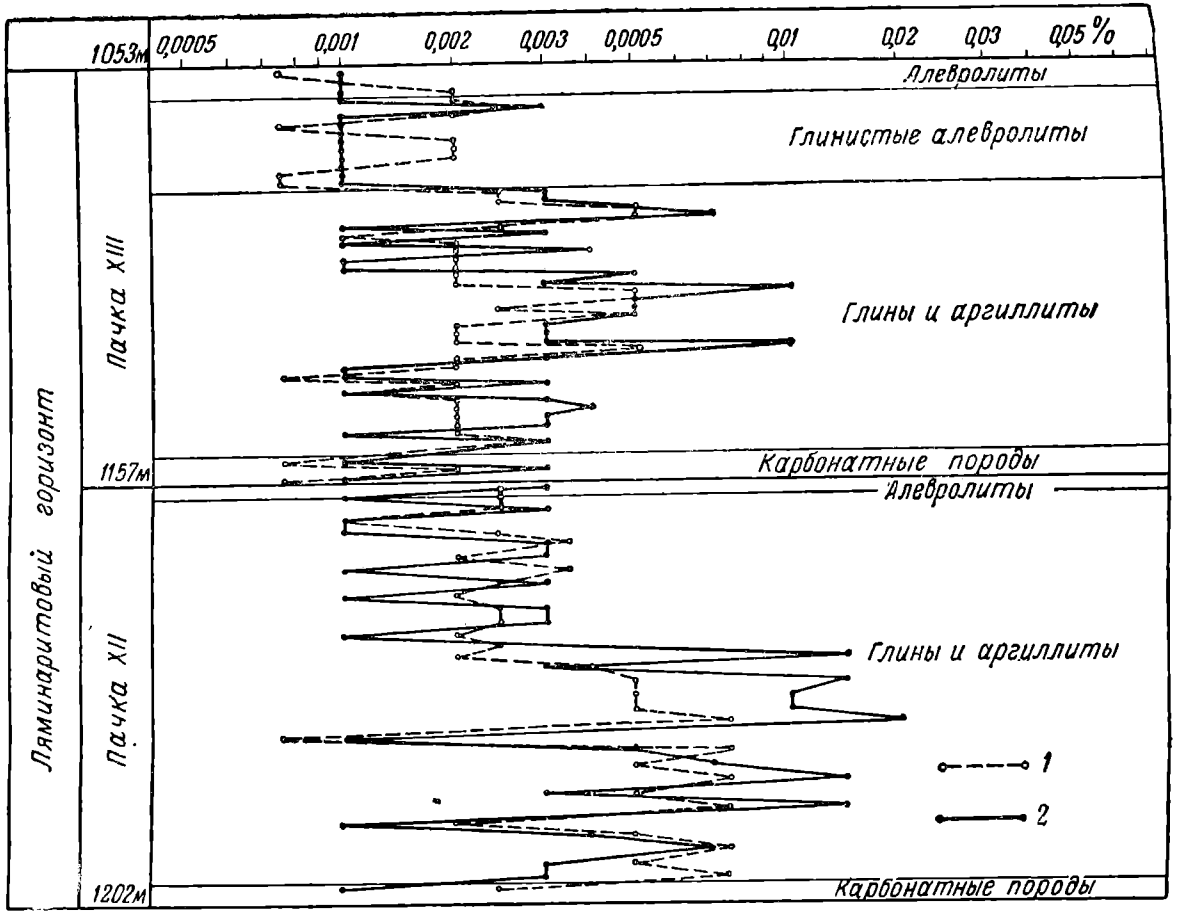


Рис. 4. Определение содержания Cu при различных условиях возбуждения спектра и разных приемах оценки интенсивности аналитических линий в пробах ляминаритового горизонта скважины Мосолово с применением: *1* — логарифмич. ски-градуированного сектора (максимальное ослабление 1000 раз); *2* — трехступенчатого ослабителя (максимальное ослабление 10 раз)

химические закономерности в процессе формирования древних осадочных пород. Кроме учета литолого-петрографических особенностей пород выявлению этих закономерностей предшествует рациональная методика обработки проб, выбор комплекса исследуемых элементов, способ обобщения аналитических данных, который делает доступным сопоставление отдельных горизонтов, пачек и целых разрезов по характеру распределения в осадочных породах различных химических элементов. Необходимо, чтобы способы подготовки проб и приемы обобщения аналитических данных были бы просты, надежны и соответствовали по производительности ускоренным методам спектрального анализа, так как региональные геохимические закономерности могут быть выявлены только на основе большого числа исследованных проб.

Образцы горных пород из керна глубоких скважин, поступающие на анализ в отдельных пронумерованных пакетиках, представляют один или несколько кусочков породы общим весом чаще не более 3—5 *г*. Затем порода растирается в агатовой ступке и анализируется в условиях рядовых анализов [7, 14] для всех исследуемых и эталонных проб. Так как образцы осадочных мелкообломочных пород, как правило, однородны, достаточным весом пробы будут 3—5 *г*. Рассеянные элементы в них распределяются равномерно, что подтверждается равномерным распределением ряда рудных элементов в современных наносах [6].

Выбор химических элементов обусловлен геохимическими особенностями их распределения и генетической связью с определенными горными породами.

Как следует из геохимической характеристики отдельных элементов [3, 5], одни элементы связаны с основными и ультраосновными породами, другие — с породами кислого ряда или иными определенными комплексами горных пород. В той или иной степени они характеризуют геохимическую сторону и осадочных образований. При этом учитываются и возможности метода анализа. Нами в основном рассмотрены: барий, бериллий, ванадий, галлий, иттрий, медь, никель, титан, цирконий, а также марганец при повышенных концентрациях. Кроме того, в отдельных образцах и на отдельных участках разрезов появлялись в количествах, достаточных для обнаружения, молибден, олово, фосфор, цинк. Такие элементы, как кобальт, свинец, хром, хотя и определяются в этих породах, но в большинстве проб на пределе чувствительности и рассматриваются по мере возможности.

Для количественной характеристики содержание всех элементов изучаемых разрезов сопоставляется с кларками для главных типов пород [3, 5]. Учитывается, что при определении содержания некоторых элементов в процессе анализа может иметь место систематическая погрешность. Так, например, различие в составе эталонных проб галлия (на кварце) и исследуемых проб кварц-полевошпатового состава обусловливает завышенное определение содержания галлия. Однако относительное сопоставление отдельных проб, слоев, пачек и даже разрезов возможно и без учета систематической ошибки. Это видно на примере изменения содержания того же галлия в ряде изученных нами разрезов. Выявление систематической ошибки возможно [14, 15], частичный ее учет выполним и в процессе анализа.

При изменении условий анализа (новая партия фотоматериала, разные типы спектрографов и т. д.) для составления градуировочных графиков дополнительно фотографируются спектры эталонных проб. На это расходуются эталонные пробы, восполнить которые строго идентично невозможно. Все это может на отдельных этапах работы дать систематическую погрешность.

Для приведения всего фактического материала к одним эталонам получены усредненные градуировочные графики по составленным эта-

лонным пробам и имеющимся данным химического анализа проб с разным содержанием некоторых исследуемых элементов. Для ряда элементов включены также эталонные пробы спектральной лаборатории ВСЕГЕИ. Состав эталонных проб в общем кварцево-полевошпатовый, близкий к составу анализируемых пород. Путем повторных определений серий проб из разных разрезов и горизонтов с применением осредненных градуировочных графиков нетрудно получить коэффициенты приведения к этим эталонам. При окончательной обработке аналитического материала при необходимости результаты анализа приводятся к общим осредненным эталонам.

Общее число проанализированных образцов керна составляет тысячи анализов, что соответствует десяткам тысяч отдельных спектроаналитических определений, если учесть, что в каждой пробе в среднем определяется 16—18 элементов. Только определенная статистическая обработка полученных данных выявит характерные закономерности распределения тех или иных элементов в осадочных толщах. При этом желательно использовать наиболее простые приемы подсчета осреднения и получения графика. Тогда результаты обобщения будут соответствовать производительности анализа.

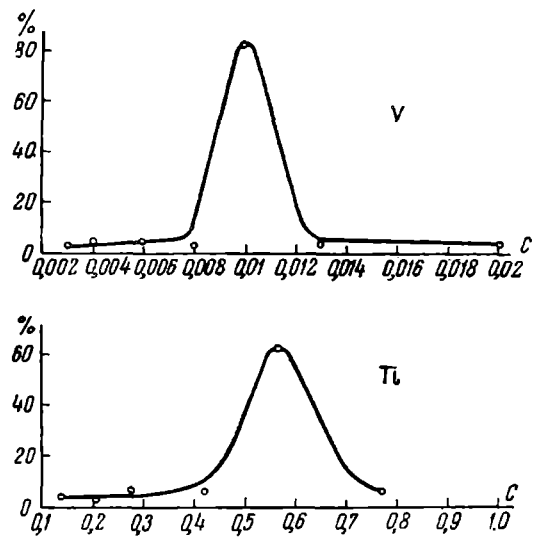


Рис. 5. Вариационные кривые содержания V и Ti в глинистых алевролитах скважины Серпухов в интервале глубин 1186—1248 *м* (для 48 случаев)

Наиболее простое представление аналитических результатов по разрезу может быть выражено графической зависимостью содержания химических элементов по глубине типа каротажных диаграмм. Однако большинство исследуемых осадочных образований имеет сложную перемежаемость мелкообломочных пород разного типа. Чередование же пород разного состава осложняет и в ряде случаев делает невозможным сравнение по разрезу однотипных образований, где в основном и можно наблюдать те или иные закономерности распределения рассеянных элементов. Получение таких графиков может быть полезно только для общих предварительных сведений.

Если можно разделить пробы по типам пород, то сопоставлять по разрезу содержание конкретных элементов проще. При отсутствии петрографической характеристики образцов ориентировочное разделение по составу проб можно делать достаточно просто по общему виду спектрограммы [14], а при необходимости основной состав проб более точно может быть определен фотометрированием ступенчато-ослабленных спектров.

В практической статистике иногда для сопоставления часто встречаемых величин одного ряда пользуются сравнением вариационных кривых [4]. На рис. 5 показаны вариационные кривые содержания ванадия и титана в глинистых алевролитах валдайского комплекса. Кривые характеризуют относительно равномерный характер распределения этих элементов в однотипных породах (для 48 случаев). Содержание ванадия для большинства проб в алевролитах 0,01% и титана 0,55%.

Эти данные, по-видимому, можно сопоставлять с аналогичными кривыми, характеризующими содержание в алевролитах в других интервалах скважины, или со средним содержанием другого разреза, структуры, комплекса и т. д. Однако вариационные кривые не отражают последовательности изменения содержания по глубине, затушевывают возможные резкие отклонения на детальных участках, скрывают характерные особенности отдельных проб. Кроме того, получение вариационных кривых трудоемко, а для сравнительной характеристики большого числа разрезов они громоздки.

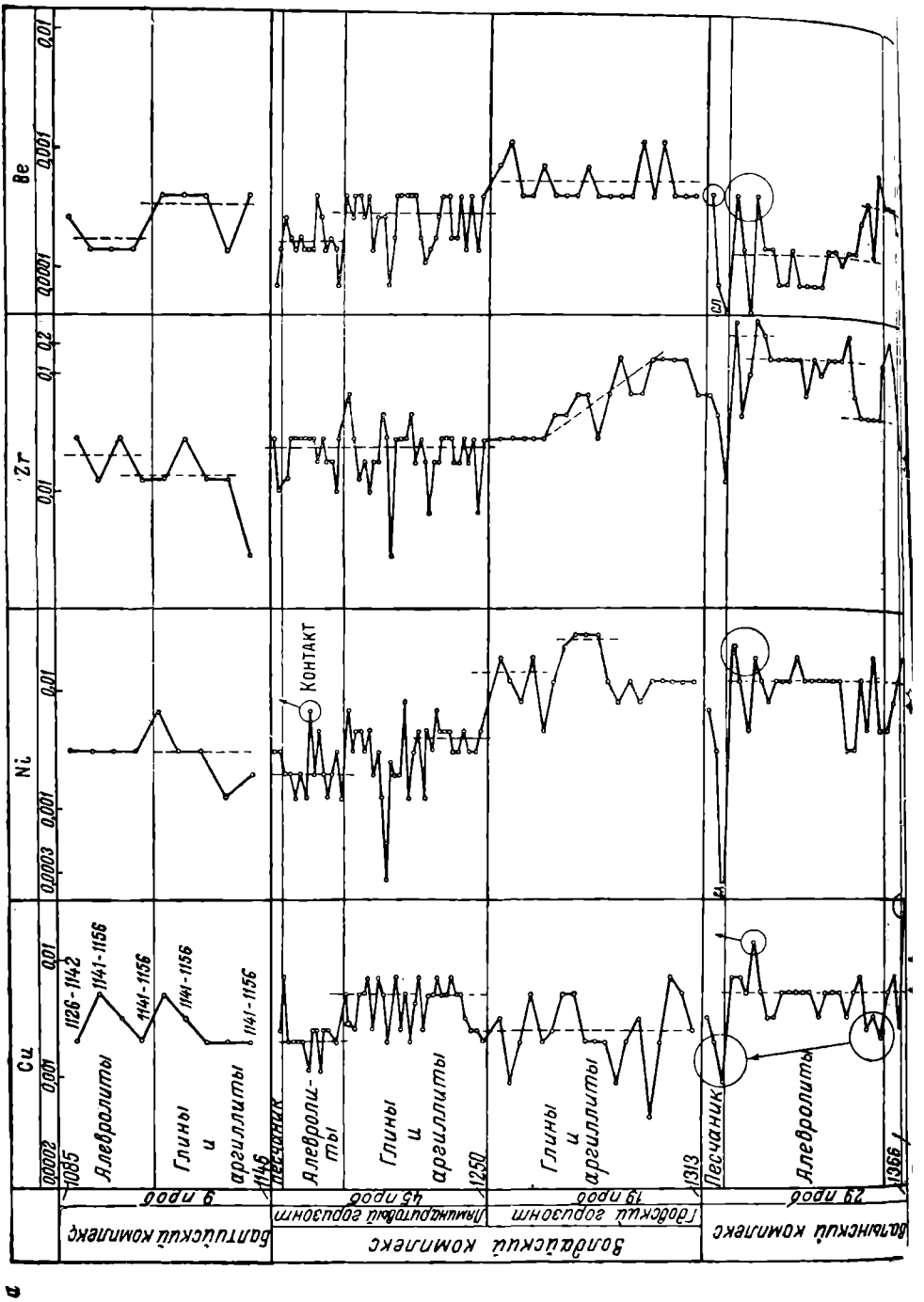
Часто для сравнительной характеристики используются средние величины ряда значений. В геологической практике такие величины сравниваются в широких масштабах. Для конкретного же участка разреза с детальным отбором проб (в нашем случае в среднем через 2—3 *м* в отдельных пачках и чаще) среднее значение не отражает направления и деталей изменения концентрации малых элементов по разрезу, а аналитические данные по каждому образцу могут выявить характерные особенности распределения конкретных элементов. Поэтому при обработке фактического материала учитывались литологическая характеристика и результаты анализа для каждой пробы.

Каменный материал, как правило, сопровождается описью проб с указанием номера образца, названия породы, глубины отбора по скважине и по возможности его стратиграфического положения в разрезе. Согласно этим данным и результатам анализов, строятся детальные рабочие графики для каждого элемента по всему разрезу. График отражает последовательность и глубину отбора проб, разделение по типам пород и стратиграфическое расчленение разреза. Значение концентрации выражено в детальном логарифмическом масштабе. Такие графики удобно делать на миллиметровой бумаге. В качестве примера на рис. 6, *а* показаны рабочие графики кембрийской части разреза скважины Каверино в Рязано-Саратовском прогибе. Это самый полный разрез на этой площади. На рис. 6, *б* представлены рабочие графики по разрезу скважины Ряжска, вскрывающей здесь наименьшую мощность разреза древних осадочных пород. Слева на графиках указано стратиграфическое расчленение разреза и число проб. Каждый стратиграфический интервал разделен на части пропорционально числу образцов соответствующего типа пород. Правее стратиграфической шкалы, по вертикали (в произвольном масштабе) в последовательности отбора и по горизонтальной логарифмической шкале (масштабу содержания) нанесено значение концентрации элемента в пробе (по типам пород). При этом важно, чтобы выбранный вертикальный масштаб обеспечивал нанесение точек не ближе 1—2 *мм*. Горизонтальный масштаб должен быть постоянным для всего разреза и должен обеспечивать разделение всех фуксируемых концентраций элемента в пробах. Так получены графики содержания по разрезу для каждого исследуемого элемента. На графике слева для меди около точки значения концентрации каждой пробы указана глубина отбора или интервал [1], в который входит ряд последовательных проб (согласно первичной документации). Эти обозначения в дальнейшем удобно использовать для построения сводных графиков. Для удобства обработки на графиках делаются также пометки с указанием отдельных интервалов глубины, выделяются аномальные пробы, контакты пород разного типа, соединяются (условными знаками) отдельные характерные по содержанию группы проб разного типа, но близкие по глубине отбора и т. д. При разбросе точек график усредняется линией среднего значения измене-

[1] На рис. 6, *а* с целью сокращения глубина отбора проб указана только для верхней части разреза.

ния концентрации по глубине. Среднее значение графика приводится для отдельных участков разреза в зависимости от изменения содержания и типа пород в отдельности. Такие графики удобно сопоставлять по элементам, типам пород, по выделенным стратиграфическим горизонтам и непосредственно по изменению содержания конкретных элементов по разрезу. Осредненные графики удобно также сравнивать с данными среднего содержания элемента в литосфере и в осадочных горных породах. По осредненным кривым и характеру графиков устанавливается тенденция изменения концентрации в отдельных типах пород и разрезе в целом. Наконец, по осредненным значениям графика наглядно видно изменение содержания того или иного элемента на отдельных участках разреза. Это отражает, как правило, различный характер распределения малых и рассеянных элементов в образованиях, относимых к отдельным комплексам, стратиграфическим горизонтам и пачкам пород. Так, среднее значение графика для глин и аргиллитов на рис. 6, *а* выделяет ляминаритовый горизонт валдайского комплекса нижнего кембрия более высокими содержаниями меди относительно подстилающих и покрывающих пород. Также выделяется по более высоким значениям содержание бериллия и никеля — гдовский горизонт, а по содержанию циркония и меди в алевролитах — волынский комплекс. Наблюдается явная тенденция последовательного увеличения концентрации никеля и циркония по разрезу сверху вниз. Характерные закономерности распределения в породах по глубине отмечаются и для других элементов. На рис. 6, *б* по увеличенному содержанию меди и ванадия, но более низким концентрациям бария, выделяется пачка алевролитов, а по различаемому значению концентрации меди, ванадия и титана пачка песчаников отчетливо делится на нижнюю и верхнюю половины.

Таким образом, графическое представление и осреднение аналитических данных с учетом состава пород и других особенностей наглядно отражает характер изменения содержания элемента по разрезу скважин и типам пород. Рабочие графики отчетливо выделяют характер и особенности распределения редких, рассеянных и других элементов по разрезу конкретной скважины, однако сопоставить такие разрезы по площади или профилю из-за громоздкости самих графиков и большого их числа практически трудно. Для сравнительной характеристики стратиграфически сопоставляемых комплексов (структурные элементы, профили и отдельные разрезы) необходимо детальные данные рабочих графиков обобщить в сводные графики содержания более мелкого масштаба. Для этого в масштабе 1 : 2000 по разрезу скважины схематично строится стратиграфическая колонка с указанием глубин интервалов расчленения разреза. С правой стороны колонки, согласно средним значениям рабочего графика для соответствующего интервала и типа пород, в масштабе разреза и по шкале концентрации наносится значение содержания элемента. Так, вместе с колонкой последовательно получается график содержания конкретного элемента по разрезу и типам пород (рис. 7). Начало отсчета шкалы концентрации обозначается вертикально стрелкой около каждой колонки. Масштаб графиков содержания линейный, так как осредненные данные имеют меньший разброс. Это позволяет нагляднее представить характер изменения содержания изучаемых элементов по разрезу. Масштаб графиков содержания меди логарифмический, что обусловлено большим диапазоном изменения ее концентрации в разных частях разреза и породах. График содержания каждого элемента и масштабная шкала имеют соответствующее обозначение. В масштабе обозначено и среднее значение концентрации элемента в литосфере по А. П. Виноградову [3]. Резко отличные по содержанию пробы нанесены отдельно и соединены


Be
Zr
Ni
Cu
Контакт
Балтийский комплекс
Вольдайский комплекс
Валдайский комплекс
9 прод
45 прод
19 прод
29 прод
Ленточная глина
Песчаник
Алевролиты
Глины и аргиллиты
Алевролиты
Глины и аргиллиты
Глины и аргиллиты
Песчаник
Алевролиты

а

б

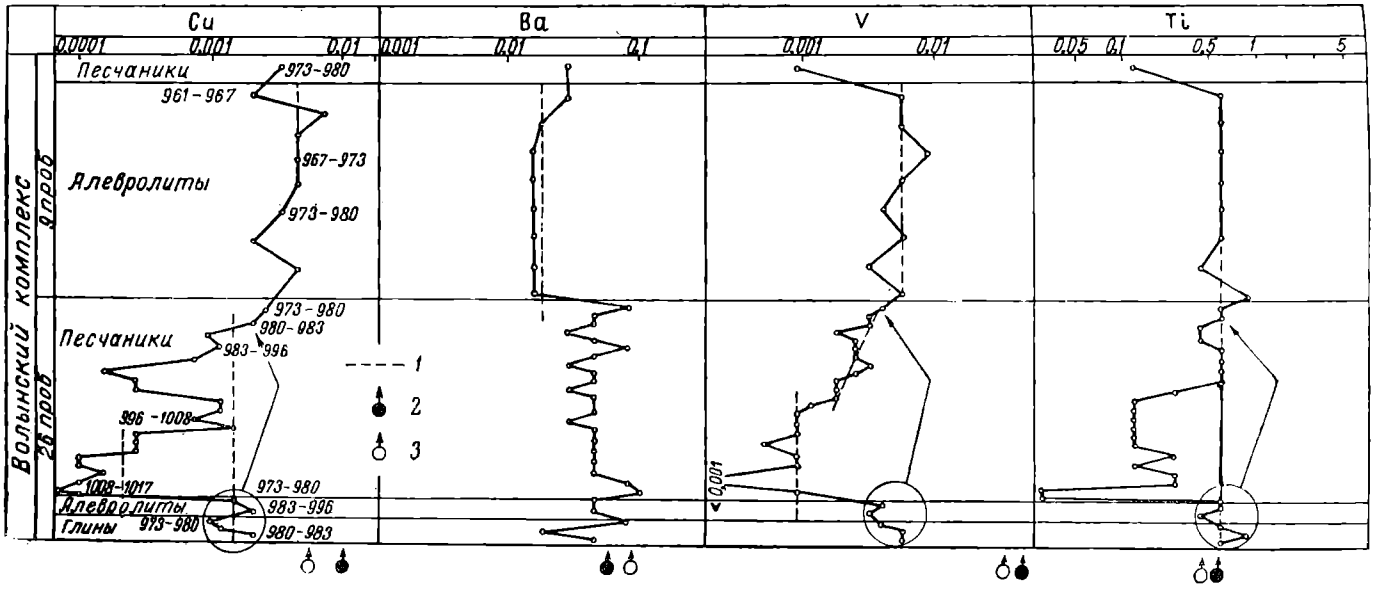


Рис. 6. Рабочие графики содержания химических элементов в мелкообломочных породах разного типа кембрийской части разреза скважины Каверино (*а*) и Ряжска (*б*)

графика для отдельных участков разреза и типа пород; *2* — среднее содержа
держание элемента в осадочных породах [3]

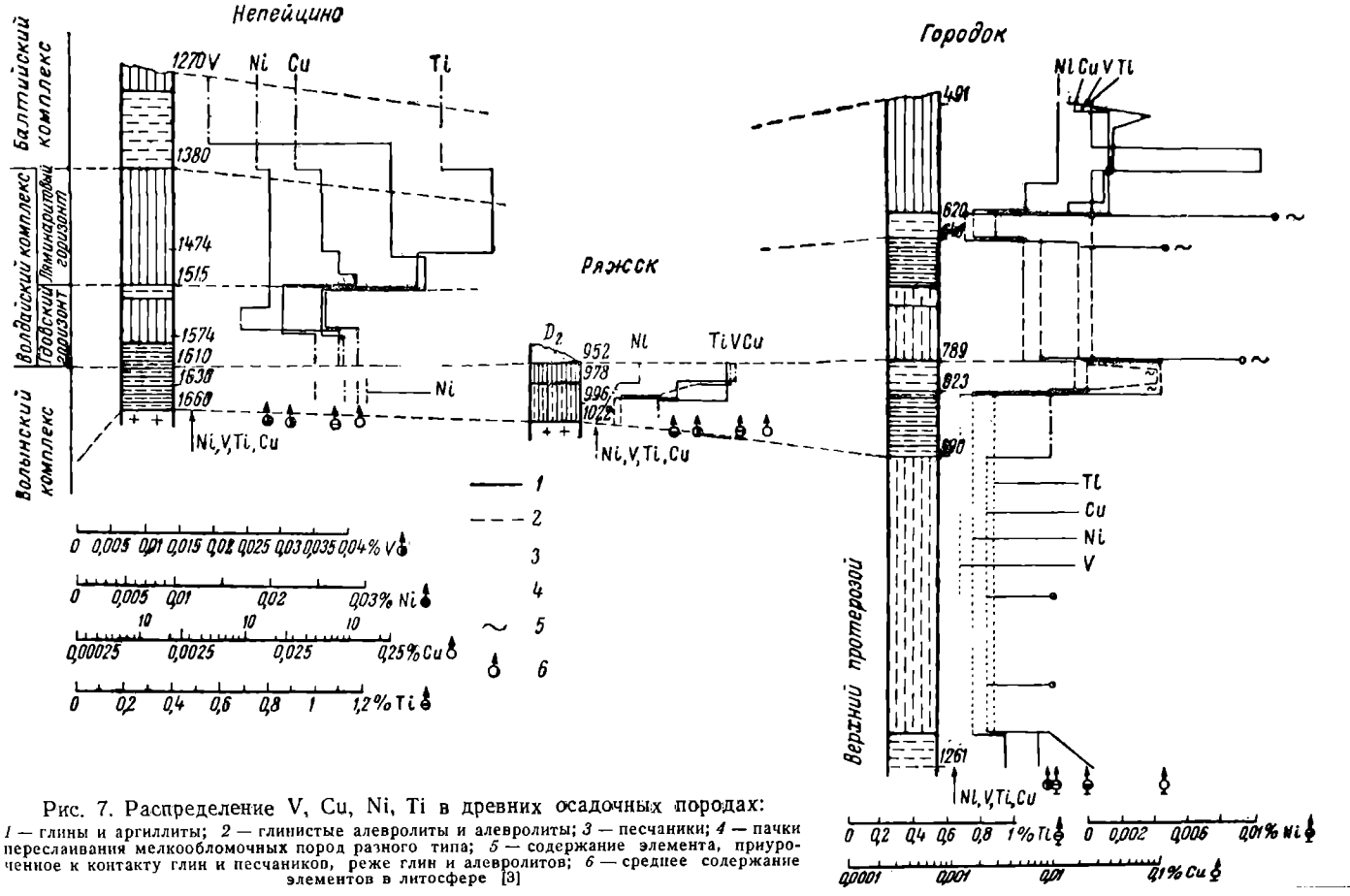


Рис. 7. Распределение V, Cu, Ni, Ti в древних осадочных породах:

1 — глины и аргиллиты; *2* — глинистые алевролиты и алевролиты; *3* — песчаники; *4* — пачки переслаивания мелкообломочных пород разного типа; *5* — содержание элемента, приуроченное к контакту глин и песчаников, реже глин и алевролитов; *6* — среднее содержание элементов в литосфере [3]

с графиком горизонтальным штрихом, соответствующим в масштабе разности концентрации «среднего» графика и данной пробы. Если таких аномальных проб несколько, то они обозначены двумя точками. Знак ~ означает приуроченность концентрации элемента к контакту глин и песчаников, реже глин и алевролитов. Подобно распределению химических элементов, приведенному в качестве примера на рис. 7, получены геохимические колонки и для ряда других разрезов в разных районах Русской платформы [1]

Для обобщения фактического материала отдельные разрезы сгруппированы по геологическому признаку (профиль через структуру). Сгруппированные скважины по профилю схематически увязаны по литолого-стратиграфическому расчленению древних осадочных толщ.

Характер распределения химических элементов с учетом литолого-фациальных особенностей пород дает возможность сопоставлять разрезы в целом и отдельные их части от разделения по комплексам до пачек, что видно из приведенного примера (рис. 7). Так, в основании разреза Непейцино залегающая на породах архейского кристаллического фундамента пачка мелкообломочных преимущественно тонкозернистых пород отчетливо выделяется самым высоким в разрезе содержанием никеля. По характерным литолого-фациальным признакам М. М. Толстихина сопоставляет эту часть разреза с породами волынского комплекса нижнего кембрия в разрезе скважин Рязано-Саратовского прогиба [11], что подтверждается и особенностью распределения малых элементов в этих породах. В интервале глубин 1515—1610 *м* осадочные образования отнесены к гдовскому горизонту валдайского комплекса нижнего кембрия [11]. Эта толща делится на две пачки. Нижняя (1574—1610 *м*) представлена переслаиванием алевролитов с мелкозернистыми песчаниками и меньше с аргиллитами. Верхняя часть (1515—1574 *м*) представлена преимущественно красновато-коричневыми аргиллитами. Нижняя пачка от верхней отличается резким увеличением концентрации никеля (от 0,005 до 0,015%) и повышенным содержанием меди, титана и ванадия. Граница верхней пачки с вышележащими породами также резко фиксируется более высоким содержанием меди, титана и ванадия. В интервале 1380—1515 *м* залегает относительно однородная толща аргиллитов с прослоями глинистых алевролитов, окрашенных в зеленовато-серые тона. Вся толща от подстилающих пород и пород кровли отчетливо выделяется максимальным содержанием в разрезе меди (до 0,01%), титана (до 1,3%), ванадия (до 0,035%). По аналогии с другими разрезами Рязано-Саратовского прогиба она отнесена к ляминаритовому горизонту валдайского комплекса нижнего кембрия. Нижняя часть толщи этого горизонта (1474—1515 *м*) отличается более высокой концентрацией меди и ванадия. В этой части разреза отмечается рассеянное органическое вещество, что, видимо, и обусловливает максимальное содержание в этих породах меди и ванадия. Стратиграфически выше (1270—1380 *м*) залегает толща переслаивания алевролитов, глинистых алевролитов и глин (балтийский (?) комплекс нижнего кембрия). В этой части разреза заметно снижается концентрация никеля, меди и титана относительно пород ляминаритового горизонта. За исключением основания эта толща характеризуется минимальным содержанием ванадия в разрезе древних пород.

В скважине Ряжска в интервалах глубин 952—1022 *м* на породах фундамента под отложениями среднего девона залегает толща осадоч-

[1] Обобщение закономерности распределения ряда химических элементов в древних осадочных породах Русской платформы в целом дается совместо с М. М. Толстихиной [12].

ных и осадочно-вулканогенных пород. М. М. Толстихина, как и многие исследователи, относит ее к нижнему кембрию. По ряду литолого-фациальных особенностей осадочных образований, главным образом туффитов и туфопесчаников, как и в других разрезах Рязано-Саратовского прогиба (Морсово, Мосолово, Каверино), эта толща сопоставляется с волынским комплексом эффузивно-осадочных пород Белоруссии [1].

В основании разреза залегает небольшая пачка разнозернистых песчаников, отчетливо выделяющаяся в интервале 996—1022 *м* минимальным содержанием в разрезе меди, титана и ванадия. Вышележащая пачка мощностью 16 *м*, представленная главным образом мелкозернистыми песчаниками и глинами, отличается увеличением содержания меди относительно нижней пачки (в три раза), а по сравнению с верхней, концентрация меди в ней в пять раз ниже. Кроме того, ее границы фиксируются большим различием содержания ванадия в верхней и нижней пачках. При всем этом нижняя граница средней пачки резко выделяется увеличением содержания титана.

В кровле древних пород этого разреза (952—978 *м*) залегает пачка туффитов, песчаников и туфо-доломитовых пород общей мощностью 26 *м*. Вся пачка характеризуется максимальным содержанием ванадия, меди и никеля.

На западе платформы в разрезе Городка вскрыты нижнекембрийские и верхнепротерозойские мелкообломочные осадочные породы разного типа [1], которые так же, как и в рассмотренных разрезах центрального района платформы, расчленяются по характеру распределения тех же элементов в соответствии с литолого-фациальными особенностями пород. Как видно из геохимической колонки рис. 7, основание разреза относительно вышележащих образований выделяется увеличением содержания всех рассматриваемых элементов. Вся остальная часть протерозойских пород, представленная песчаниками, обеднена ванадием, никелем, титаном и медью (в несколько раз ниже кларка). В интервале глубин 789—900 *м* отложения волынского комплекса нижнего кембрия разделены на две пачки [1]. Нижняя пачка (823—900 *м*) сложена преимущественно песчаниками и алевролитами, от подстилающих пород выделяется заметным увеличением концентрации меди. Верхняя пачка (789—823 *м*) — главным образом алевролиты с редкими прослоями глин и туффитов. Во всей толще резко увеличивается концентрация титана, меди (в глинах), никеля и ванадия. Отложения гдовского горизонта (646—789 *м*), представленные чередованием песчаников, алевролитов и глин (в основном в верхней половине), характеризуются более низкими концентрациями рассматриваемых элементов, чем подстилающие породы, но более высокими, чем вышележащие. В основании гдовского горизонта — в контакте песчаников и прослоя алевролитов — аномально высокое содержание ванадия (0,04%). В интервале глубин 491—646 *м* — отложения ляминаритового горизонта. Они сложены в основном однородной толщей глин. Пачка переслаивания песчаников, алевролитов и глин (620—646 *м*) в основании горизонта отличается аномально низкими концентрациями меди, никеля и ванадия. Верхняя граница пачки с глинами (контакт глин и прослоя алевролитов) отмечается резким увеличением концентрации меди (до 0,1%). Увеличивается концентрация меди и в нижней границе этой пачки. Вся же толща глин характеризуется относительно высоким содержанием меди, концентрация которой ступенями возрастает снизу вверх, составляя (за исключением небольшого участка внизу) максимальные значения в кембрийской части разреза. Увеличение содержания меди в породах ляминаритового горизонта наблюдается и в разрезе Непейцино (эта закономерность проявляется и во всех других рассмотрен-

ных нами разрезах в разных частях Русской платформы [12]. Содержание ванадия в глинах ляминаритового горизонта, как и меди, выше, чем во всех других породах разреза. Средняя часть горизонта в интервале 545—573 *м* выделяется увеличенным количеством титана (примерно в три раза выше кларка). Такая закономерность проявляется и в близлежащих разрезах на западе платформы [12].

Рассматривая в качестве примера распределение ванадия, меди, никеля и титана в приведенных разрезах, следует иметь в виду, что в распределении других элементов также проявляются те или иные закономерности. Особенно отчетливы они при сочетании определенных ассоциаций химических элементов. Однако и по характеру распределения отдельных элементов на примере рис. 7 можно видеть определенные геохимические закономерности в породах разного возраста. Например, нижнекембрийские отложения характеризуются по разрезу широким диапазоном изменения концентрации ванадия, никеля, меди и титана от кларковых значений до аномальных. Наиболее древняя толща верхнего протерозоя, по сравнению с кембрийскими породами, обеднена этими элементами. Количественное соотношение указанных элементов устанавливает разделение конкретных стратиграфических горизонтов, в том числе и деление их на пачки в соответствии с литолого-фациальными особенностями древних осадочных пород. В ряде случаев по различию содержания одного или нескольких из приведенных элементов намечается более конкретное и дробное деление, чем литолого-фациальные отличия по отдельным участкам разреза.

Таким образом, устанавливается возможность стратиграфического расчленения немых толщ древних осадочных пород по характеру распределения в них конкретных химических элементов.

Обобщение результатов ускоренных методов спектрального анализа в виде рабочих и сводных графиков содержания по разрезам вместе с литолого-фациальной характеристикой пород позволяет достаточно детально и наглядно представить распределение малых химических элементов в толще осадочных пород. Устанавливаемые при этом различия в породах по характеру распределения разных химических элементов определяют эффективность применения ускоренных методов спектрального анализа для широких геохимических исследований при изучении мощных комплексов немых осадочных образований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брунс Е. П. Стратиграфия древних доордовикских отложений западной части Русской платформы. «Сов. геология», 1957, № 59.
2. Брунс Е. П., Гейслер А. Н., Иголкина Н. С., Толстихина М. М. Позднекембрийские и кембрийские отложения Русской платформы в пределах СССР Международный геологический конгресс, XXI сессия. Стратиграфия позднего докембрия и кембрия. Изд-во АН СССР, 1960.
3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1957.
4. Длин А. М. Математическая статистика в технике. «Сов. наука», 1958.
5. Катченков С. М. Малые химические элементы в осадочных породах и нефтях. Гостоптехиздат, 1959
6. Квятковский Е. М., Цигельман И. С. Упрощенный способ обработки металлометрических проб. «Разведка и охрана недр» ,1956, № 5.
7. Клер М. М. Методы спектрального анализа проб при геолого-съемочных и поисковых работах. Сб. «Геохимические поиски рудных месторождений». Госгеолтехиздат, 1957.
8. Скропышев А. В. Газово-жидкие включения в кристаллах исландского шпата. Минералогич. Сборник Львовского геологич. об-ва, 1957, № 11.
9. Скропышев А. В. Природа окраски кристаллов исландского шпата Сибирской платформы. Тр. ВНИИП, 1960, т. 3, вып. 1.
10. Старицкий Ю. Г Эндогенные полезные ископаемые западной части Сибирской платформы. «Сов. геология», 1959, № 1.

11. Толстихина М. М. К познанию древнейших осадочных отложений центральных районов Русской платформы. Мат. ВСЕГЕИ. Новая серия, 1956, вып. 14.
12. Толстихина М. М., Хохлов В. В. Особенности распределения некоторых химических элементов в древних осадочных отложениях крупных структур Русской платформы. Мат. по геологии Европейской территории СССР. Тр. ВСЕГЕИ. Новая серия, 1962, т. 91.
13. Турский А. А., Хохлов В. В. Спектральное определение состава гранатов и ильменита при малом количестве исходного вещества. Изв. высш. уч. зав. «Геология и разведка», 1961, № 3.
14. Хохлов В. В. Повышение точности определения никеля и кобальта при полном спектральном анализе горных пород. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXX, вып. 2.
15. Хохлов В. В. О влиянии состава проб на результаты полуколичественного спектрального анализа меди, мышьяка, свинца, и сурьмы в горных породах. Зап. ЛГИ, 1958, т. XXXIII, вып. 2.
16. Хохлов В. В., Григорьева О. А., Ривлина Н. Я. О точности спектрального анализа металлометрических проб. Зап. ЛГИ, 1961, т. XXXIX, вып. 2.