



УДК (553.078:553.065):543.21(571.5-15)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-РУДНЫХ СИСТЕМ: ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. Ч. II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, В. П. Лепилин

Рассмотрены теоретические основы методов гомологии и системного анализа и результаты их использования при исследовании крупного (протяженностью более 280 км) минерогенического объекта – Леглиер-Тимптонского рудного пояса Алданского щита, контролирующего размещение многочисленных железорудных и флогопитовых месторождений древней магнезиально-скарновой формации. Дано обоснование системной природы рудного пояса, выделены «первичные элементы» его системы – магнетитовая, флогопит-магнетитовая и флогопитовая рудоносные зоны, намечен системформирующий фактор – мантийные флюиды. Выявлен иерархический ряд подсистем системы объектов рудного пояса. Из этого ряда для системного анализа выбрана подсистема кристаллохимических параметров породообразующих минералов руд и скарнов разных рудоносных зон. Результаты анализа использованы для крупномасштабного прогноза оруденения. Обращено внимание на явление параллелизма тождественных признаков изменчивости у генетически близких рядов гидротермальной золотосульфидно-кварцевой и золотоскарновой рудных субформаций в крупной (протяженностью более 500 км) золотоносной гидротермально-рудно-магматической системе Кузнецкого Алатау, в формировании которой принимали участие мантийные флюиды.

Ключевые слова: Алданский щит, Леглиер-Тимптонский рудный пояс, рудоносная зона, гомология, аналогия, гомологический ряд, система объектов данного рода, объект-система, подсистема, нелинейная металлогения, мантийные флюиды.

EXPLORATION TOOLS OF THE REGIONAL HYDROTHERMAL-ORE SYSTEMS: METHODS OF HOMOMOLOGY AND SYSTEM ANALYSIS. PART II. SYSTEM ANALYSIS

A. B. Shepel, M. E. Gavrilenko, V. P. Lepilin

The paper considers theoretical foundations of the homology and system analysis methods and the results of their application in study of a large mineragenic target, the Leglier-Timpton ore belt (Aldan Shield), stretching over 280 km and controlling the placement of numerous iron ore and phlogopite deposits of an ancient magnesian-skarn formation. It is justified that the ore belt's structure is a system, the "primary elements" of which are magnetite, phlogopite-magnetite, and phlogopite ore-bearing zones. Mantle fluids are identified to be the system-forming factors. The hierarchic line of subsystems was defined within the system of the ore belt elements. The subsystem of the crystal-chemical parameters of the rock-forming ore and skarn minerals in different ore-bearing zones was chosen for the system analysis implementation. The analysis findings were used to make a large-scale prediction of mineralization. The emphasis is placed on the overlapping variability indications which are identical for the genetically close series of hydrothermal gold-sulphide-quartz and gold-skarn ore subformations in the large (more than 500 km in extent) gold-bearing hydrothermal-ore-magmatic system of the Kuznetsk Alatau formed with the involvement of the mantle fluids.

Keywords: Aldan Shield, Leglier-Timpton ore belt, ore-bearing zone, homology, analogy, homologous series, the system of given objects, object-system, subsystem, non-linear metallogeny, mantle fluids.

Человеческий разум встречает меньше трудностей, когда он продвигается вперед, чем тогда, когда он погружается в самого себя.

Лаплас

Как правило, рудопроявления скарновой золоторудной формации, которые находятся в пространственной и временной связи с месторождениями субформаций золотосульфидно-кварцевой формации, обладают одинаковой с ними не только рудной, но и геохимической специализацией. Так, с месторождениями золотополиметаллической, золотомышьяковой и золотомедной субформаций

ассоциируют соответственно золотополиметаллические, золотомышьяковые и золотомедные рудопроявления скарновой формации, т. е. имеет место явление параллелизма тождественных признаков изменчивости в генетически близких рядах рудных формаций. В системном анализе в таких случаях принято говорить о наличии **гомологии**.

Метод гомологии заключается в сравнительном анализе объектов-гомологов с целью установления закономерностей их развития. К объектам-гомологам относятся идентичные, однопородные, генетически однородные объекты.



Различия между ними рассматриваются как явление расхождения признаков у **тождественных**, т. е. идентичных, одноприродных, генетически однородных объектов. При этом нельзя смешивать понятия гомологии и аналогии, а также гомологичные объекты с аналогичными. **Аналогия** в отличие от гомологии отображает подобие, сходство, соответствие в некоторых свойствах, признаках, отношениях между **нетождественными объектами** [18]. Из этого следует, что **метод аналогии** есть метод выявления подобия, сходства, соответствия, используемый при сравнительном анализе нетождественных (в целом различных) объектов. Он способствует познанию неизвестного путем экстраполяции уже имеющейся информации на новые области, выступая в качестве моста между известным и неизвестным. «Наибольшее значение аналогия имеет при изучении и объяснении причин и следствий, когда сходные явления обусловлены сходством производших их причин; когда сходные причины обуславливают сходство производимых ими следствий» [5].

Наглядное толкование понятий «аналогия» и «гомология» дано К. Вилли и В. Датье в фундаментальной монографии «Биология»: «Устанавливая родственные отношения животных на основании черт морфологического сходства, биологи не должны смешивать **гомологичные образования с аналогичными**. Гомологичными называются те структуры, которые у разных животных возникают из одних и тех же эмбриональных зачатков и схожи между собой по основному плану строения и развития, из чего следует, что они имеют **общую генетическую основу** и отражают эволюционное родство. Напротив, аналогичные органы обладают только внешним сходством и выполняют одинаковые функции, но план их строения и пути развития совершенно различны. Наличие аналогичных структур не говорит об эволюционном родстве обладающих ими животных. Рука человека, крыло птицы или грудной (передний) плавник кита – все это гомологичные органы. Они сходны по входящим в их состав костям, мышцам, нервам и кровеносным сосудам, по общему плану строения и по развитию в эмбриогенезе, хотя выполняют весьма различные функции. Напротив, крыло птицы и крыло бабочки только аналогичные. Пути их развития не имеют между собой ничего общего» [6, с. 314].

Одним из базовых понятий метода гомологии является понятие «**гомологический ряд**» – совокупность генетически однородных объектов, либо находящихся на разных стадиях развития (**онтогенетический гомологический ряд**), либо сформировавшихся в разной исторической обстановке (**филогенетический гомологический ряд**) [1]. Это понятие широко используется в разных науках. В химии гомологический ряд представляет последовательность органических соединений с одинако-

выми функциональными группами и однотипным строением, например, гомологический ряд предельных углеводородов – CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 и т. д. В минералогии гомологический ряд образуют щелочные дисиликаты, если расположить их в порядке усложнения строения кремнекислородных радикалов – $[\text{Si}_2\text{O}_6]_\infty^{4-}$, $[\text{Si}_3\text{O}_9]_\infty^{6-}$, $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]_\infty^{8-}$ и т. д. В кристаллографии минералы одной сингонии образуют гомологический ряд, поскольку обладают одним и тем же набором элементов симметрии.

Минерагеническими объектами, формирующими гомологический ряд, являются генетически родственные и формационно единые скарново-магнетитовые, скарново-флогопит-магнетитовые и скарново-флогопитовые месторождения Леглиер-Тимптонского рудного пояса Алданского щита [23]. Рудоносные зоны, выделяемые в пределах рудного пояса и объединяющие месторождения-гомологи с одинаковой рудной специализацией, также представляют собой объекты-гомологи, но более высокого иерархического уровня, чем сосредоточенные в них месторождения. Совокупность рудоносных зон формирует онтогенетический гомологический ряд, закономерная изменчивость которого отражает зональность рудного пояса. При этом различия, существующие между рудоносными зонами, рассматриваются как явление расхождения признаков у **тождественных** (генетически однородных) объектов.

К сожалению, в геологии, и в частности в минерагении, понятие «гомологический ряд» не получило значительного распространения, а понятия «онтогенетический гомологический ряд» и «филогенетический гомологический ряд» вообще не используются, хотя примеров таких рядов достаточно. М. А. Фаворская и др. [14], изучая разновозрастные рудные формации, сформировавшиеся в тождественный этап гидротермальной деятельности и характеризующиеся сходными фациями околорудных метасоматитов, исследовала именно онтогенетический гомологический ряд рудных формаций. Д. В. Рундквист [11] выделил гомологические ряды рудных формаций, которые объединяют однотипные формации различных металлогенических эпох и, по существу, являются филогеническими гомологическими рядами рудных формаций. В. И. Сотников и др. [7] определили рудную формацию как совокупность метасоматических фаций единого гомологического ряда, хотя точнее было бы говорить об онтогенетическом гомологическом ряде. Необходимо отметить, что более широкое применение терминов «онтогенетический гомологический ряд» и «филогенический гомологический ряд» способствовало бы совершенствованию понятийной базы в минерагении, так как исключило бы из употребления многочисленные термины типа «генетические ряды рудных формаций», «повторные ряды рудных формаций» [14], «эволюционные ряды



рудных формаций», «латеральные ряды рудных формаций» [7] и т. д. Более того, выделение гомологических рядов рудных объектов и подразделение их на онтогенические и филогенические гомологические ряды способствовало бы разработке более совершенных и упорядоченных схем минерагенического районирования исследуемых территорий.

Понятие «**гомологический ряд**» тесно связано с понятием «**система**». Гомологический ряд может рассматриваться в качестве системы в тех случаях, когда совокупность генетически однородных членов ряда представляет «множество взаимосвязанных элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство» [1]. В словосочетании «в отношениях и связях друг с другом» понятие «**отношение**» означает взаимное положение элементов системы, а понятие «**связь**» – взаимозависимость между ними. Существуют и другие адекватные определения системы. Так, по мнению авторов [10], «системой является любой сложный объект (предмет, явление, ситуация), в котором можно выделить составные части – элементы, объединенные определенными связями и отношениями». А согласно [3, с. 8], «система – это множество взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое». Выделяются закрытые и открытые системы. По определению Л. Берталанфи, основоположника системного анализа, открытая система – это множество взаимосвязанных элементов, выступающих как единое целое и находящихся в процессе непрерывного обмена с внешней средой веществом и энергией [3].

Замечательной особенностью системы является несводимость ее свойств к сумме свойств ее элементов, или, как давно отметил Аристотель: «Целое больше суммы своих частей». Это свойство в теории систем именуется **эмерджентностью** (синергичностью, системным эффектом) и отражает целостность системы, ее единство. Эмерджентность – следствие взаимодействия элементов системы, носителем ее служит структура системы. Эмерджентность выступает в качестве другой, более развитой формы выражения закона диалектики о переходе количества в качество. Оказывается, для перехода в новое качество системе не обязательно «накопление» количества, для этого достаточно объединить в целое хотя бы два элемента системы.

Гносеологические аспекты системного подхода выражены в утверждении, что «наука прошлого была исключительно аналитической, тогда как теория систем ставит на первый план задачу синтеза, но не такого синтеза, который завершает анализ, а такого, который выступает в качестве исходного принципа исследования» [3, с. 22]. При применении аналитической процедуры не-

кая исследуемая сущность разлагается на части, и, следовательно, впоследствии она может быть составлена или воссоздана из собранных частей. Это основной принцип «классической» науки. Для образований, называемых системами, методологическая задача состоит в решении проблем, которые носят более общий характер, чем аналитически-суммативные проблемы классической науки. В задачу системного подхода входит выявление свойств целого из свойств элементов и наоборот – иерархического строения системы, а также исследование всей сети взаимосвязей между компонентами системы, в том числе определение характера регуляции и саморегуляции как способов особых взаимосвязей внутри системы и системы с внешней средой [8].

Системный анализ Леглиер-Тимптонского рудного пояса Алданского щита выполнен на основании принципов общей теории систем – ОТС(У), разработанной академиком Ю. А. Урманцевым [16]. Согласно его представлениям, «*система объектов данного рода i (R -система) – закономерное множество объектов-систем одного и того же рода i* ». При этом каждый из объектов-систем обладает общими «родовыми» признаками, т. е. «*построен из всех или части фиксированных „первичных“ элементов t множества $\{M_i^{(0)}\}$ в соответствии с частью или со всеми фиксированными отношениями g множества $\{R_i\}$, с частью или со всеми фиксированными законами композиции z множества $\{Z_i\}$, реализованными в рассматриваемой системе объектов данного рода*» [16]. Например, гомологический ряд предельных углеводородов вида CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , ... C_nH_{2n+2} является системой объектов одного и того же рода: все они построены из одних и тех же «первичных» элементов **C** и **H** в соответствии с одним и тем же отношением химического сродства и согласно одному и тому же закону композиции C_nH_{2n+2} , ограничивающему (конкретизирующему) эти отношения. Если же изменить хотя бы закон композиции, например на C_nH_{2n} , то будет уже другой класс соединений – непредельные углеводороды, принципиально отличающиеся от предельных по своим химическим свойствам.

В методическом плане суть системного анализа состоит в обосновании системности исследуемого объекта. Ю. А. Урманцевым предложен S -метод построения R -системы, который осуществляется посредством реализации двух алгоритмов – алгоритма представления объекта в виде объекта-системы и алгоритма построения системы. Особое внимание должно быть уделено обоснованию объекта-системы. Во-первых, потому, что, согласно закону системности, «*любой объект есть объект-система и любой объект-система принадлежит хотя бы одной системе объектов одного и того же рода i (или R -системе)*» [16] и, во-вторых, R -система объ-



ектов данного рода – это закономерная совокупность объектов-систем одного и того же рода.

Каждый из объектов-систем, входящих в состав R-системы, должен обладать общими родовыми признаками (одним и тем же качеством), а именно: быть построенным из всех или части фиксированных «первичных» элементов, скрепленных в одно целое отношениями единства и связями, с учетом закона композиции, т. е. условий, ограничивающих отношения единства и связи. Выделенные объект-системы объединяются в R-систему, закономерности изменчивости которой исследуются исходя из эволюционных или неэволюционных преобразований объектов-систем.

Как показал анализ, рудоносные зоны Леглиер-Тимптонского рудного пояса обнаруживают свойства объектов-систем. Все они обладают общими признаками (одним и тем же качеством). Каждая из рудоносных зон построена из всех или части фиксированных «первичных» элементов, представленных магнетитовыми, магнетит-флогопитовыми и флогопитовыми скарновыми месторождениями и проявлениями, скрепленными в одно целое вследствие их генетического родства, пределы которого ограничиваются формационным единством «первичных» элементов. Это единство проявляется в принадлежности месторождений к древней магнезиально-скарновой формации Алданского щита. Объект-системы, обладающие такими свойствами, могут быть объединены в систему объектов одного и того же рода *i* или **R-систему рудного пояса**. Учитывая масштабы этой системы, протяженность которой в пределах Леглиер-Тимптонского рудного пояса более 280 км, а также гидротермально-метасоматическую природу, генетическое родство и формационное единство приуроченных к ней рудных объектов, можно допустить, что системообразующим фактором R-системы рудного пояса служили потоки высокотемпературных глубинных флюидов. В этом случае сама R-система рудоносных зон может классифицироваться как региональная гидротермально-рудная R-система Леглиер-Тимптонского рудного пояса. Детальная характеристика ее приводится далее.

Региональная гидротермально-рудная R-система Леглиер-Тимптонского рудного пояса Алданского щита имеет сложное строение. В составе ее можно выделить ряд иерархических уровней, каждому из которых отвечает подсистема определенного уровня (рис. 1). В качестве объектов-систем этих подсистем могут рассматриваться такие подразделения R-системы, как рудоносные зоны (I уровень), стадии минералообразования рудоносных зон (II уровень), минеральные парагенезисы стадий минералообразования рудоносных зон (III уровень), кристаллохимические характеристики минералов минеральных парагенезисов

стадий минералообразования рудоносных зон (IV уровень) и т. д. (см. таблицу) [23]. Особый интерес представляют подсистемы, объект-системами которых являются кристаллохимические характеристики породообразующих минералов – пироксенов, амфиболов и флогопитов, слагающих скарны и руды разных рудоносных зон. Это связано с тем, что характер изменения кристаллохимических характеристик указанных минералов, обнаруживаемый при исследовании подобных подсистем, позволяет оценить закономерности изменчивости интенсивных термодинамических параметров рудогенеза, таких как кислотность – щелочность флюидов, их окислительно-восстановительный потенциал, химическая активность отдельных элементов.

К информативным кристаллохимическим характеристикам относятся частная железистость минералов, коэффициент окисления железа в них, соотношение фтора и хлора в кристаллической решетке минералов. Перечисленные характеристики объединяются в составе следующих рядов:

$$f'_1 \text{Фл} + f'_2 \text{Фл} + f'_3 \text{Фл} + f'_4 \text{Фл}, \quad (1)$$

$$f'_1 \text{Пи} + f'_2 \text{Пи} + f'_3 \text{Пи} + f'_4 \text{Пи}, \quad (2)$$

$$f'_1 \text{Рог} + f'_2 \text{Рог} + f'_3 \text{Рог} + f'_4 \text{Рог}, \quad (3)$$

$$K_{\text{ок}1} \text{Фл} + K_{\text{ок}2} \text{Фл} + K_{\text{ок}3} \text{Фл} + K_{\text{ок}4} \text{Фл}, \quad (4)$$

$$K_{\text{ок}1} \text{Пи} + K_{\text{ок}2} \text{Пи} + K_{\text{ок}3} \text{Пи} + K_{\text{ок}4} \text{Пи}, \quad (5)$$

$$K_{\text{ок}1} \text{Рог} + K_{\text{ок}2} \text{Рог} + K_{\text{ок}3} \text{Рог} + K_{\text{ок}4} \text{Рог}, \quad (6)$$

$$K_{\text{F}1} \text{Фл} + K_{\text{F}2} \text{Фл} + K_{\text{F}3} \text{Фл} + K_{\text{F}4} \text{Фл}, \quad (7)$$

где f' , $K_{\text{ок}}$, K_{F} – кристаллохимические характеристики минералов: $f' = [\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] \cdot 100$ ф. е. – частная железистость, $K_{\text{ок}} = \text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$ ф. е. – коэффициент окисления железа, $K_{\text{F}} = \text{F}/(\text{F} + \text{Cl})$ мас. % – коэффициент фтористости; надстрочные индексы – символы минералов: Фл – флогопита, Рог – амфибола, Пи – пироксена; подстрочные – рудоносные зоны: 1 – магнетитовая, 2 – магнетит-флогопитовая, 3 – предполагаемая магнетит-флогопитовая, 4 – флогопитовая; ф. е. – формульная единица.

Приведенные ряды кристаллохимических параметров минералов обнаруживают закономерную изменчивость (рис. 2–6, см. таблицу). Поскольку их члены характеризуют состав генетически однородных, формационно единых и разновозрастных объектов, рассматриваемые ряды могут быть классифицированы как онтогенетические гомологические ряды. В иерархической схеме гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса ряды кристаллохимических параметров представляют подсистемы IV уровня (см. таблицу) [23]. Объект-системами каждой такой подсистемы являются среднеарифметические значения определенной кристаллохимической характеристики конкретного минерала, входящего в состав магнезиальных скарнов скарново-магнетитовых и скарново-флогопитовых месторождений разных рудоносных зон рудного пояса (см. таблицу).

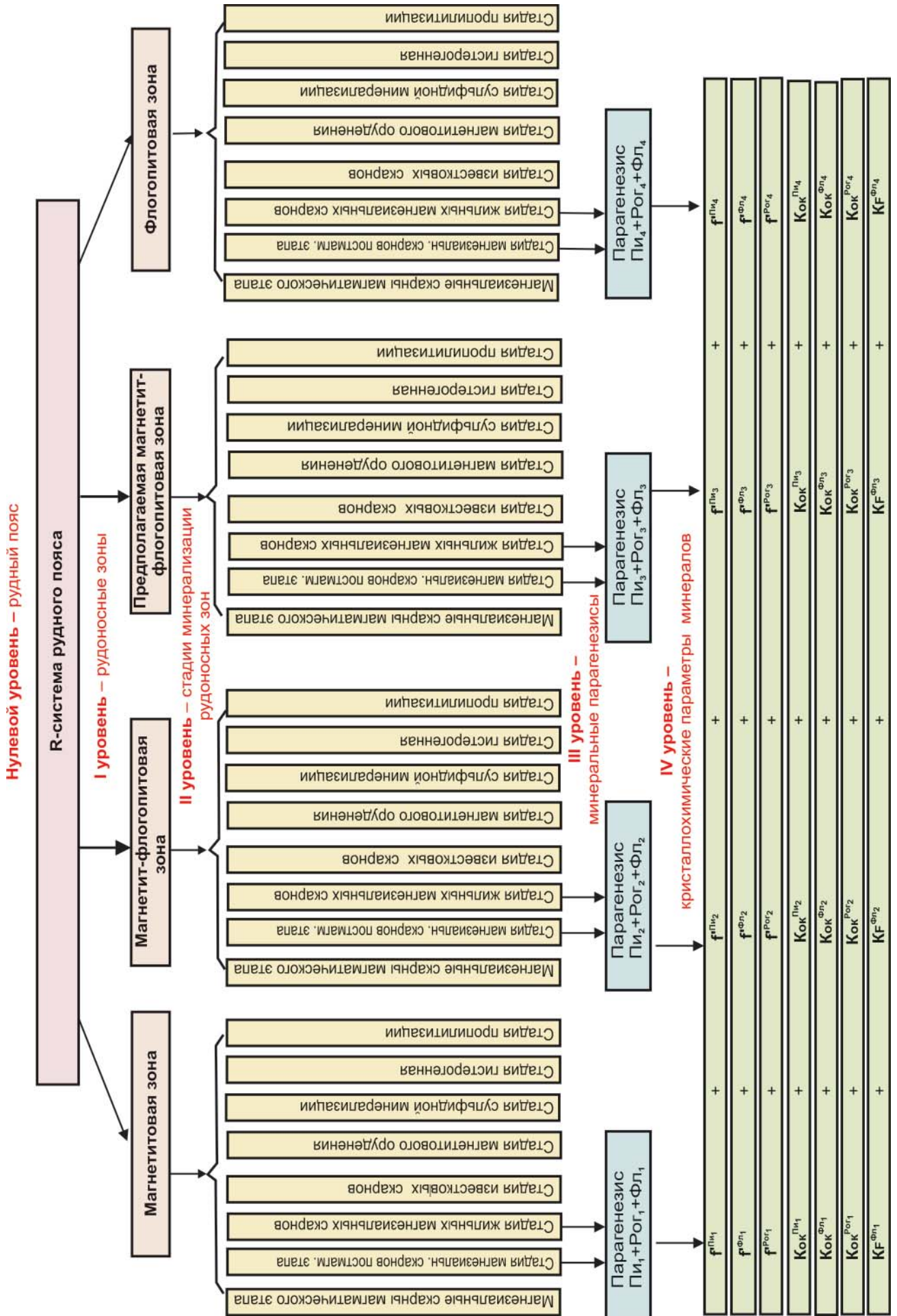


Рис. 1. Иерархический ряд подсистем R-системы Леллер-Тимптонского рудного пояса (Алданский щит)

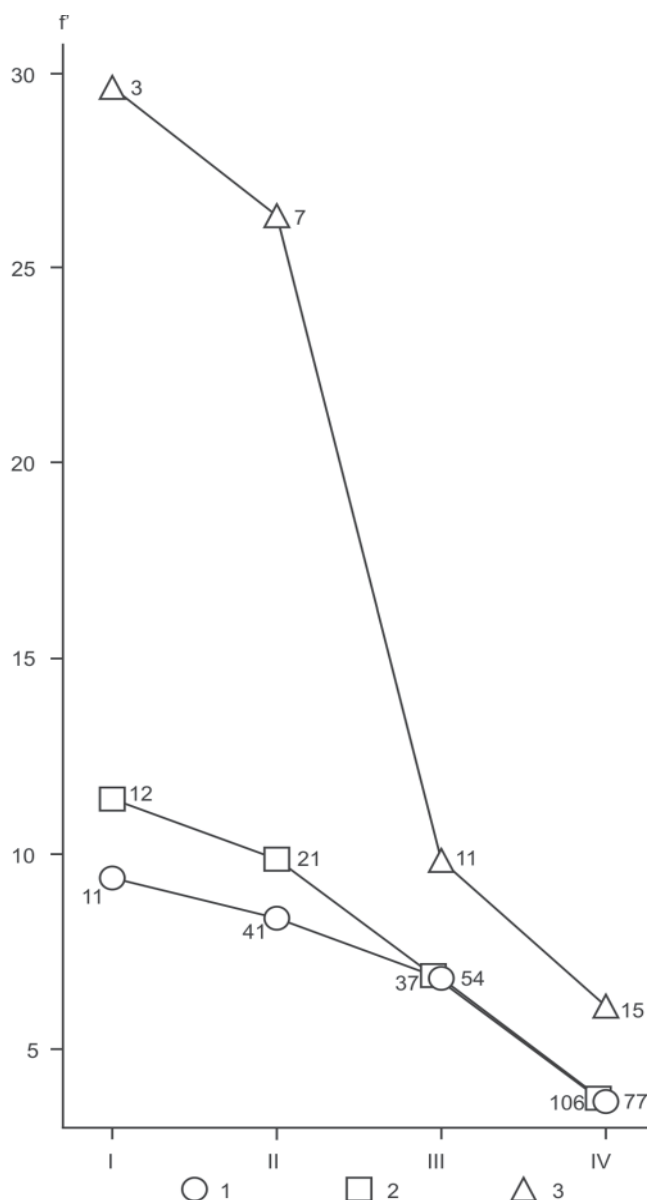


Рис. 2. Изменение частной железистости (f') флогопитов, пироксенов и амфиболов разных рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

1–3 – среднearифметические значения частной железистости для флогопитов (1), пироксенов (2) и амфиболов (3). I–IV – рудоносные зоны: I – магнетитовая, II – магнетит-флогопитовая, III – предполагаемая магнетит-флогопитовая, IV – флогопитовая

Выделяются следующие группы подсистем IV уровня: три подсистемы частной железистости флогопитов, роговых обманок и пироксенов (ря-

ды 1–3); три подсистемы коэффициентов окисления железа перечисленных минералов (ряды 4–6) и одна подсистема коэффициентов фтористости флогопитов (ряд 7). Рассмотрим их.

Для оценки условий кислотности – щелочности рудогенеза весьма информативны подсистемы частной железистости минералов – флогопитов, роговых обманок и пироксенов, представленные рядами 1–3. В качестве «первичных» элементов их объектов-систем служат такие петрогенные компоненты, как Fe и Mg, которые скреплены в одно целое благодаря изовалентному изоморфизму типа $Mg^{2+} \leftarrow Fe^{2+}$ в рассматриваемых минералах. В качестве закона композиции принято отношение $[Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg^{2+})] \cdot 100$, ограничивающее пределы изоморфизма и известное как коэффициент частной железистости минерала – f'. У флогопитов, роговых обманок, пироксенов магнезиальных скарнов значение частной железистости составляет 22–45, 15–55, 1–30 % соответственно [19].

Значение частной железистости минералов широко используется при петрологических исследованиях, например, при анализе парагенезисов минералов, поскольку она является чувствительным индикатором равновесности процессов минералообразования [17]. Анализ изменчивости частной железистости минералов позволяет оценить направленность изменения интенсивных термодинамических параметров петро- и рудогенеза, в частности таких, как кислотность – щелочность флюидов [13]. Установлено, что во всех подсистемах частной железистости рассматриваемых минералов и представляющих их гомологических рядах (см. ряды 1–3) значение частной железистости закономерно уменьшается в направлении от нижней магнетитовой рудоносной зоны к верхней флогопитовой (см. таблицу, рис. 2, 3).

Это позволяет предполагать, что с уменьшением глубины минералообразования происходило повышение такого интенсивного термодинамического параметра, как щелочность флюидов, поскольку «при произвольных и постоянных температуре и давлении между щелочностью флюидов и частной железистостью кристаллизующихся минералов существует обратная функциональная связь» [13].

Другой группой подсистем IV уровня гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптон-

Средние значения кристаллохимических характеристик породообразующих минералов объектов-систем (ОС) рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

Рудоносная зона	Кристаллохимические параметры минералов объектов-систем (ОС)									
	флогопита				амфибола			пироксена		
	n	Кок	f'	KF	n	Кок	f'	n	Кок	f'
Магнетитовая	11	0,28	9,4	0,67	3	0,29	29,7	12	0,17	11,4
Магнетит-флогопитовая	41	0,32	8,4	0,82	7	0,37	26,4	21	0,30	9,9
Предполагаемая магнетит-флогопитовая	54	0,45	6,9	0,79	11	0,60	9,9	37	0,52	6,9
Флогопитовая	77	0,52	3,7	0,96	15	0,60	6,3	106	0,68	3,7

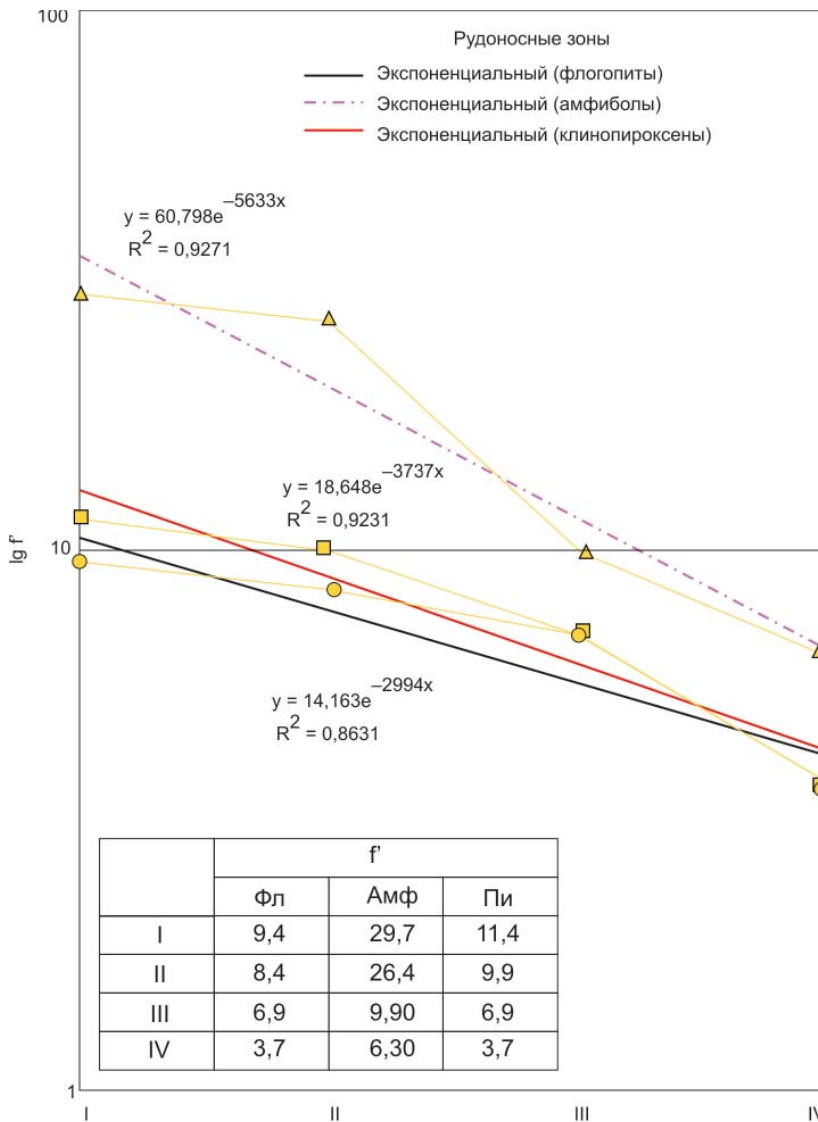


Рис. 3. Тренды средних значений логарифмов частной железистости ($\lg f$) рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

Усл. обозн. см. на рис. 2

как окислительный потенциал, возрастало.

Важная роль в формировании зональности гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса принадлежит галоидам – фтору и хлору. В минералообразующих флюидах эти элементы являются вполне подвижными компонентами, влияя на окислительно-восстановительный потенциал флюидов [8]. На рассматриваемых месторождениях фтор и хлор входят в состав широко распространенных в рудах и скарнах минералов (флогопит, роговая обманка, клиногумит, гумит и хондродит).

Исходя из изложенного, в качестве одного из оценочных параметров условий минералообразования выбрана подсистема коэффициентов фтористости флогопита, представленная гомологическим рядом 7. Все объект-системы такой подсистемы построены из одних и тех же «первичных» элементов – фтора и хлора, которые объединены в одно целое из-за существующего между ними химического родства в соответствии с одним и тем же законом

сского рудного пояса, позволяющей судить о направленности изменения интенсивных термодинамических параметров рудогенеза, служат подсистемы коэффициентов окисления железа. «Первичными» элементами объектов-систем этих подсистем являются Fe^{2+} и Fe^{3+} , которые объединяются химическим сродством их с одним и тем же элементом – железом. Законом композиции, отражающим пределы соотношений Fe^{2+} и Fe^{3+} в минералах, служит отношение $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$, известное как коэффициент окисления **Кок**. В отличие от подсистем частной железистости минералов, подсистемы коэффициента окисления железа и их гомологические ряды (см. ряды 4–6) характеризуются возрастанием этой кристаллохимической характеристики с уменьшением глубины рудогенеза, т. е. в направлении от самой нижней магнетитовой зоны к самой верхней флогопитовой зоне (ряды 4–6, см. рис. 4, 5). Это дает основание утверждать, что с уменьшением глубинности процессов скарнорудообразования, протекающих в региональной гидротермально-рудной R-системе Леглиер-Тимптонского рудного пояса, значение такого интенсивного параметра,

композиции вида $F/(F+Cl)$. О наличии химического родства между хлором и фтором свидетельствует одинаковая позиция этих элементов в кристаллохимической формуле флогопита, где фтор и хлор входят в состав гидроксильной группы.

Замечено, что минеральные парагенезисы кальцифиров, апокарбонатных скарнов и магнетитовых руд, в состав которых входят фторсодержащие минеральные фазы, испытывают закономерные изменения состава в вертикальном разрезе гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса. Нами установлено, что с уменьшением глубины скарнорудообразования и переходом из магнетитовой рудоносной зоны в расположенную выше магнетит-флогопитовую зону форстеритсодержащие кальцифиры, скарны и руды дополняются клиногумит-, реже гумитсодержащими разновидностями этих пород, а далее, при переходе во флогопитовую зону, – хондродитсодержащими кальцифирами и скарнами. При этом коэффициент фтористости флогопитов возрастает (ряд 7, см. рис. 6). Физико-химический анализ выявленных изменений состава минеральных парагенезисов и химизма минералов,

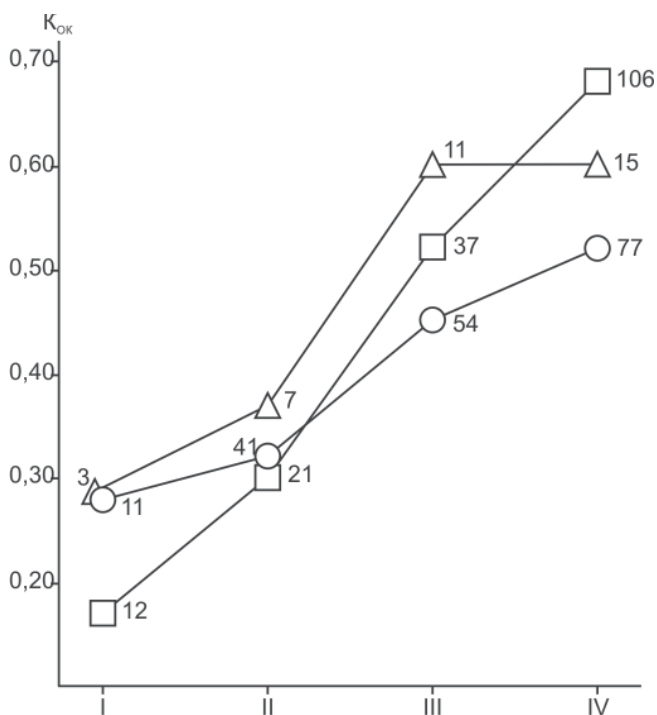


Рис. 4. Изменение величины коэффициента окисления (Кок) во флогопитах, пироксенах и амфиболах разных рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса Усл. обозн. см. на рис. 2

слагающих руды и околорудные метасоматиты, указывает на то, что с уменьшением глубинности процесса скарнорудообразования активность фтора во флюидах возрастала. Это согласуется с увеличением величины коэффициента окисления железа и повышением окислительного потенциала, что вполне объяснимо: фтор – сильнейший окислитель.

Изменчивость содержания галоидов во флогопитах разных рудоносных зон гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса сопровождается направленным изменением параметров кристаллической решетки флогопитов. Установлено, что с увеличением содержания фтора во флогопите значение параметра $\sin\beta$ его кристаллической решетки уменьшается (рис. 7) [21]. Это может быть использовано в качестве одного из критериев эндогенной зональности рудного пояса.

Весьма интересны материалы сравнительного изучения с помощью мессбауэровской спектроскопии (эффект Мессбауэра) разных генераций флогопитов, отобранных из разных рудоносных зон гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса [24]. В результате этих исследований установлено, что флогопиты разных генераций из отдельной рудоносной зоны незначительно различаются между собой по значению коэффициента окисления железа, тогда как между флогопитами разных рудоносных зон различия отчетливые (рис. 8).

Одним из важных интенсивных термодинамических параметров, определяющих зональ-

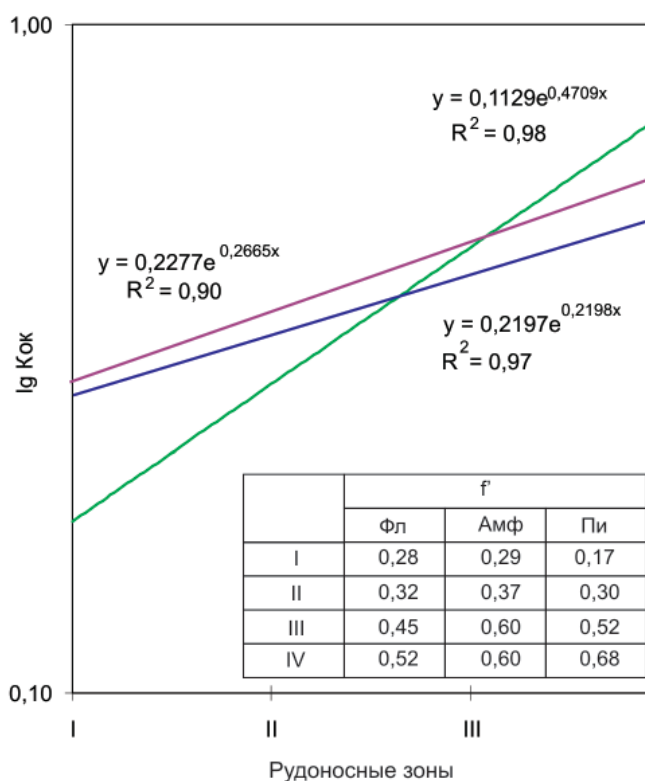


Рис. 5. Тренды средних значений $\lg K_{ок}$ в минералах рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса Усл. обозн. см. на рис. 2

ность гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса, наряду с кислотностью – щелочностью флюидов, окислительно-восстановительным потенциалом и активностью фтора в них, является температура. Для оценки температурных параметров рудогенеза использовался геотермометр Арнольда – Бартона, позволяющий оценить температуру образования пирит-пирротинового парагенезиса, широко распространенного в рудах и скарнах алданских флогопитовых и магнетитовых месторождений. Установлено, что пирит-пирротинные парагенезисы в рудах и скарнах наиболее глубинной магнетитовой рудоносной зоны формировались в интервале температур 400–410 °С, а в расположенной выше флогопит-магнетитовой зоне – 280–315 °С [20–22].

Следует отметить, что направленность изменения термодинамических факторов зональности, определенная при изучении вещественного состава подсистем гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса, может быть установлена в пределах и отдельной рудоносной зоны, и даже отдельного месторождения в ней. Правда, для этого необходимо прибегнуть к более прецизионным методам исследования вещества. Такие исследования, проведенные на Таежном скарново-магнетитовом месторожде-

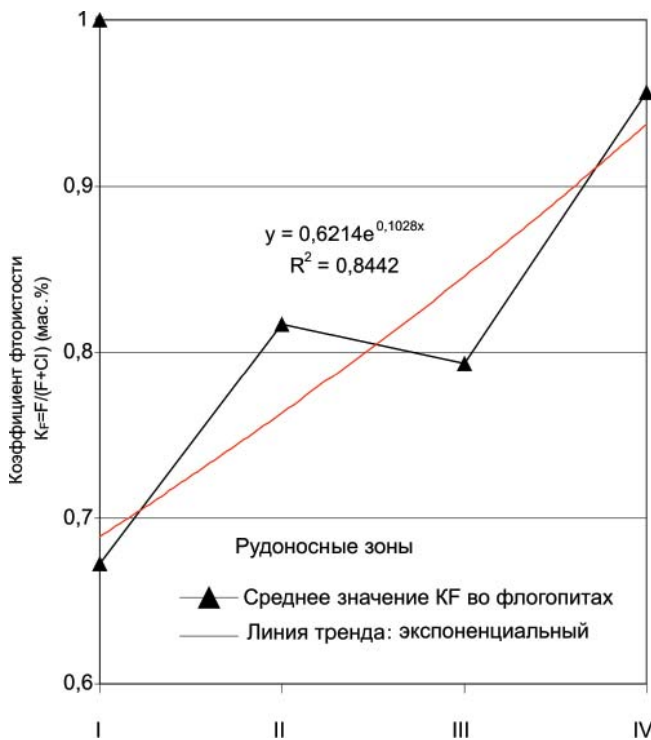


Рис. 6. Средние значения коэффициента фтористости (KF) во флогопитах разных рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

Усл. обозн. см. на рис. 2

нии, позволили констатировать, что щелочность, окислительный потенциал и активность фтора рудоносных флюидов возрастали с уменьшением глубины рудогенеза, т. е. так же, как и во всем рудном поясе.

Таким образом, анализ характера изменчивости гомологических рядов кристаллохимических характеристик минералов, представляющих подсистемы региональной гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса, позволил подтвердить системную природу этого минерагенического объекта. Более того, были выявлены интенсивные термодинамические параметры, определяющие эндогенную зональность системы, обладающей сложным иерархическим строением. Было установлено, что формирование эндогенной зональности гидротермально-рудной R-системы протекало на фоне повышения щелочности, окислительного потенциала, активности фтора во флюидах и понижения температуры, происходящих с уменьшением глубины рудогенеза.

Рассмотрим еще одну важную особенность региональной гидротермально-рудной R-системы Леглиер-Тимптонского рудного пояса: параллелизм тождественных признаков изменчивости. Это обнаруживается при сравнении гомологических рядов кристаллохимических характеристик породообразующих минералов разных рудоносных зон R-системы: на приведенных диаграммах линии, соединяющие значения тождественных кристаллохимических характеристик, располага-

ются близко параллельно друг другу (см. рис. 1–4). «Явление параллелизма» гомологических рядов отражает целостность гидротермально-рудной R-системы рудного пояса, генетическое родство и формационное единство ее объектов-систем. Это следует из закона гомологических рядов, открытого в 1920 г. биологом-генетиком Н. В. Вавиловым [4]. Закон гласит, что «ближайшие генетические виды характеризуются параллельными тождественными рядами признаков и, как правило, наблюдается положение, чем ближе генетические виды, тем резче и точнее проявляется тождество рядов морфологических и физиологических признаков». Позднее, в 1960-е гг. была высказана точка зрения, согласно которой закон гомологических рядов в наследственной изменчивости служит частным выражением более общего закона изо- и полиморфизма в природе. Этот закон был сформулирован биологом академиком Ю. А. Урманцевым следующим образом: «...у объектов, обладающих n-уровнями организации, в силу общих законов структурированности, должен наблюдаться известный параллелизм, во-первых, между различными уровнями независимо от вида их сложения, во-вторых, что тривиально, между одними и теми же уровнями независимо от вида объектов, которым они принадлежат» [15].

Итак, можно предположить, что выявленный в региональной гидротермально-рудной R-системе Леглиер-Тимптонского рудного пояса параллелизм изменчивости гомологических рядов будет соблюдаться с такой правильностью, что, зная характер изменчивости одного из признаков, можно предвидеть характер изменения других как тождественных, так и нетождественных признаков. Это позволяет использовать «явление параллелизма», отражающее целостность и единство гидротермально-рудной R-системы рудного пояса, для прогнозирования отдельных признаков этой системы, в частности ее рудоносности. Так, сходство вещественного состава и условий образования некоторых флогопитовых месторождений флогопитовой рудоносной зоны рудного пояса с железорудными месторождениями его флогопит-магнетитовой рудоносной зоны позволило высказать предположение о перспективности ряда флогопитоносных районов для поисков железорудных месторождений. Проведенные в СНИИГТиМС оценочные работы подтвердили правильность сделанного прогноза. В Эмельджакском и Эльконском флогопитоносных районах, относящихся к предполагаемой флогопит-магнетитовой зоне Леглиер-Тимптонского рудного пояса, были выявлены прогнозные ресурсы железных руд категорий P_2+P_3 – 500 и 950 млн т до глубины 500 м. Согласно письму начальника управления черных металлов М. И. Веригина от 30.05.83, «предложенная оценка прогнозных ресурсов железных руд» Эльконского флогопитоносного райо-

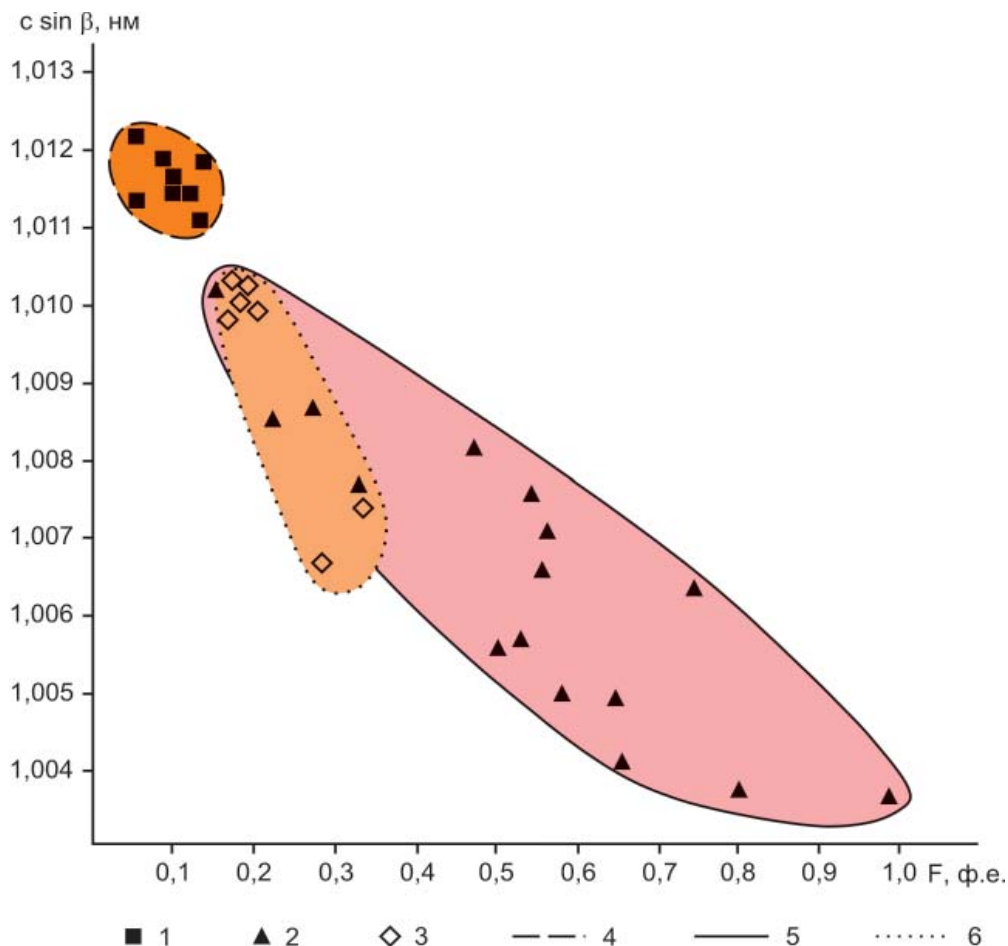


Рис. 7. Соотношение параметра $c \sin \beta$ и содержания фтора (F) во флогопитах разных рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

1–3 – флогопиты магнетитовой (1), магнетит-флогопитовой (2) и предполагаемой магнетит-флогопитовой (3) рудоносных зон; 4–6 – границы полей магнетитовой (4), магнетит-флогопитовой (5) и предполагаемой магнетит-флогопитовой (6) зон

на «должна войти в прогнозные ресурсы Якутской АССР». Исходя из параллелизма гомологических рядов, можно предположить, что присутствие платиноидов в составе скарнов и руд месторождений флогопит-магнетитовой рудоносной зоны служит основанием для поисков платиноидов на месторождениях других рудоносных зон.

Важно отметить, что в региональных гидротермально-рудных R-системах явление параллелизма тождественных рядов признаков изменчивости может иметь место при сравнении рудных объектов, принадлежащих не одной, а двум родственным рудным формациям. Примером тому служит крупная (протяженностью более 500 км) золотоносная гидротермально-рудно-магматическая система, выделенная в Кузнецком Алатау В. А. Булытниковым и К. Р. Рабиновичем [2]. Положение этой системы контролируется скрытым глубинным разломом северо-западного простирания, который прослеживается через весь регион. Развитие золотоносной системы представляется следующим образом:

а) проникновение в земную кору высокоэнергизированных мантийных флюидов, несущих золото и другие элементы;

б) образование при участии мантийных флюидов рудогенерирующих гранитоидных плутонов;

в) формирование золоторудных месторождений на послемагматической стадии развития гранитоидов.

В пределах рассматриваемой золотоносной системы размещаются месторождения и рудопроявления двух генетически близких золоторудных формаций – гидротермальной золотосульфидно-кварцевой и скарновой золоторудной. Первая подразделяется на три субформации: золотополиметаллическую, золотомышьяковую и золотомедную, которые сменяют друг друга с северо-запада на юго-восток вдоль простирания системы, обуславливая ее зональность и образуя гомологический ряд с пространственно-направленной изменчивостью. Помимо металлогенических особенностей, изменчивость ряда субформаций проявляется в том, что с переходом от золотополиметаллической субформации к золотомышьяковой и далее к золотомедной наблюдается увеличение пробности золота, возрастание температуры гомогенизации газовой-жидких включений в кварце, изменение состава сульфидов и элементов-примесей в рудах, повышение электронной прово-

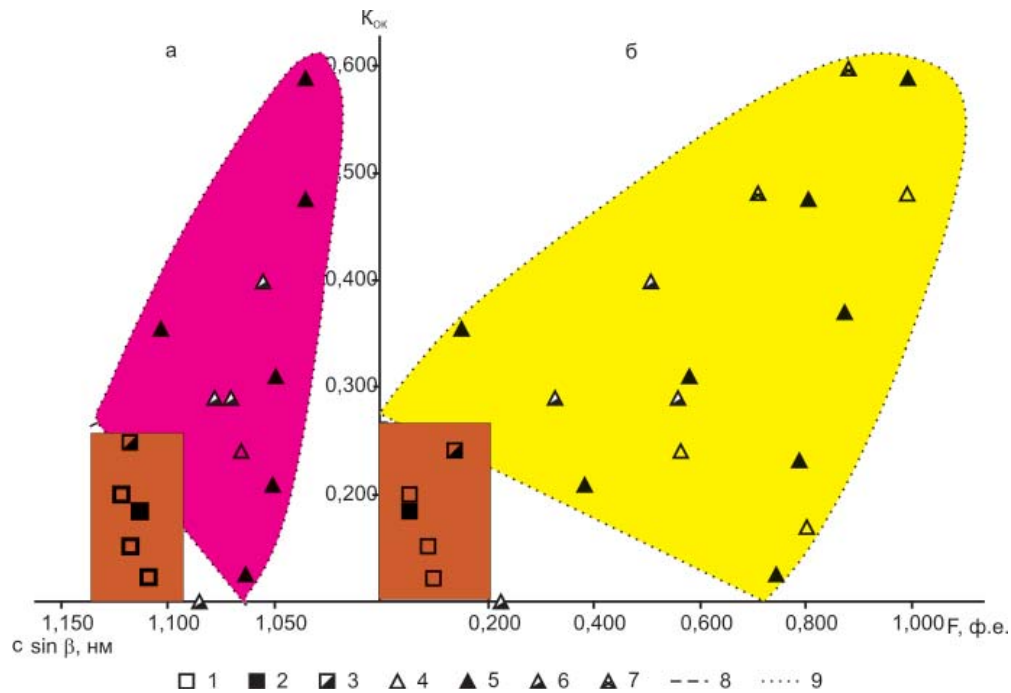


Рис. 8. Соотношение $K_{ок} - c \sin \beta$ (а) и $K_{ок} - F$ (б) в разных генерациях флогопитов магнетитовой (1–3) и магнетит-флогопитовой (4–7) рудоносных зон Леглиер-Тимптонского рудного пояса

1–3 – генерации флогопитов магнетитовой зоны: 1 – из апоалюмосиликатных магнетиальных скарнов магматического этапа, 2 – из апоалюмосиликатных магнетитовых руд, 3 – из пострудных жильных секущих скарнов; 4–7 – генерации флогопитов магнетит-флогопитовой зоны: 4 – из апоалюмосиликатных магнетиальных скарнов послемагматического этапа, 5 – из апоалюмосиликатных, 6 – из апокарбонатных магнетитовых руд, 7 – из пострудных жильных секущих скарнов; границы полей рудоносных зон: 8 – магнетитовой, 9 – магнетит-флогопитовой; $K_{ок}$ – по данным мессбауэровской спектроскопии

димости пирита и уменьшение интенсивности термолюминесценции кварца [2]. Интересно, что рудопроявления скарновой золоторудной формации, которые находятся в пространственной и временной связи с месторождениями субформаций золотосульфидно-кварцевой формации, обладают одинаковой с ними не только рудной, но и геохимической специализацией. Так, с месторождениями золотополиметаллической, золотомышьяковой и золотомедной субформаций ассоциируют золотополиметаллические, золотомышьяковые и золотомедные рудопроявления скарновой формации соответственно, т. е. имеет место параллелизм тождественных признаков изменчивости в генетически близких рядах рудных формаций.

Завершая обсуждение вопроса о региональных мегазональных гидротермально-рудных системах Алданского щита и Кузнецкого Алатау, акцентируем внимание на ряде особенностей этих систем.

1. Большая протяженность систем, составляющая 300–500 км, что во много раз превышает мощность земной коры в регионе.

2. Масштабы рудной зональности, наблюдаемой в системах, где латеральная протяженность отдельных зон достигает многих десятков километров.

3. Равноранговые элементы систем, в частности их рудоносные зоны, характеризуются параллельными тождественными рядами признаков изменчивости, которые соблюдаются с такой правильностью, что, зная ряд признаков одного из элементов, можно предсказать наличие подобного признака (или признаков) у другого элемента (или элементов), что отражает их целостность и единство.

Это может быть использовано для прогнозирования отдельных свойств систем, в частности их рудоносности.

Сам факт существования целостных региональных мегазональных гидротермально-рудных систем, протяженность которых во много раз превышает мощность земной коры, позволяет предполагать участие в их формировании в качестве **системообразующего фактора** глубинных (мантийных) источников вещества и энергии, обеспечивающих термостатирование систем в условиях гетерогенной по составу, структуре, теплофизическим и физико-химическим свойствам земной коры. На участие мантийных флюидов в процессах формирования региональных гидротермально-рудных систем указывают:

- мантийная изотопия серы сульфидов и углерода карбонатов в продуктах рудогенеза [22];



- важная роль галоидов, в частности такого ювенильного элемента, как фтор, в формировании зональности региональных гидротермально-рудных систем;

- наличие в продуктах рудогенеза специфических элементов-примесей, представленных платиноидами – платиной, палладием, родием, иридием и рутением [12].

В заключение следует отметить, что исследование объекта не изолированно, не самого по себе, а как части структурированной материальной системы способствует более глубокому познанию самого объекта, его сущности, поскольку исследуются не только его свойства, но и его отношения и связи с множеством других объектов, представляющих систему и образующих определенную целостность, единство. Особое значение системный анализ приобретает при исследовании масштабных минерагенических объектов типа региональных гидротермально-рудных систем протяженностью сотни километров, сформировавшихся при участии мантийных источников вещества и энергии и являющихся предметом изучения нелинейной металлогении. Системный анализ таких объектов, концентрирующих десятки, а то и сотни рудных месторождений и проявлений, позволит расширить и углубить наши представления о формировании рудосферы Земли и перспективах поисков в ней месторождений полезных ископаемых.

Примером региональных гидротермально-рудных систем с мантийными источниками вещества и энергии, по-видимому, могут служить Федоровско-Магызы-Калтасская и Кундат-Кундустульская золоторудные структурно-металлогенические зоны, приуроченные к Кузнецко-Алтайскому глубинному разлому и расположенные в пределах обнажающихся вдоль него Томского, Терсинского и Пызасского выступов докембрийского кристаллического фундамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Большой** Российский энциклопедический словарь [Текст]. – М. : БРЭ, 2003. – 1437 с.
2. **Булынников, В. А.** Золотоносная рудно-магматическая система Кузнецкого Алатау [Текст] / В. А. Булынников, К. Р. Рабинович // Геология и геофизика. – 1990. – № 1. – С. 71–81.
3. **Блаумберг, И. В.** Системные исследования и общая теория систем [Текст] / И. В. Блаумберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Общая теория систем: задачи и методы. Приложения системного подхода. – М. : Наука, 1969. – С. 7–29.
4. **Вавилов, Н. И.** Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости [Текст] / Н. И. Вавилов // Сельское и лесное хозяйство. – 1921. – № 1–3. – С. 84–102.
5. **Ведерников, П. Г.** Рудное поле: Теоретические и практические вопросы изучения [Текст] / П. Г. Ведерников. – Владивосток, 1989. – 110 с.

6. **Вилли, К.** Биология (Биологические процессы и законы) [Текст] / К. Вилли, В. Датъе. – М. : Мир, 1976. – 820 с.

7. **Генетические** и физико-химические особенности рудообразующего процесса месторождений медно-молибденовой формации [Текст] / В. И. Сотников, А. П. Берзина, Е. И. Никитина [и др.] // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. – Новосибирск : Наука, 1976. – С. 75–93.

8. **Кашменская, О. В.** Теория систем и геоморфология [Текст] / О. В. Кашменская. – Новосибирск : Наука, 1980. – 119 с.

9. **Коржинский, Д. С.** Теоретические основы анализа парагенезисов минералов [Текст] / Д. С. Коржинский. – М. : Наука, 1973. – 287 с.

10. **Косыгин, Ю. А.** Геологическая формация и тектоника [Текст] / Ю. А. Косыгин, В. А. Соловьев // Геология и геофизика. – 1969. – № 3. – С. 17–24.

11. **Критерии** прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые [Текст] / Под ред. Д. В. Рундквиста. – Л. : Недра, 1978. – 407 с.

12. **Кулаковский, А. Л.** Платиноиды в породах и рудах скарново-магнетитового Таежного месторождения (Центральный Алдан) [Текст] / А. Л. Кулаковский // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 281, № 1. – С. 129–133.

13. **Самойлов, В. С.** Железистость темноцветных минералов как показатель щелочности метасоматирующих растворов [Текст] / В. С. Самойлов // Докл. АН СССР. – 1967. – Т. 177, № 6. – С. 1452–1455.

14. **Связь** магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой [Текст] / М. А. Фаворская, И. Н. Томсон, Р. Г. Иванов [и др.]. – М. : Недра, 1969. – 264 с.

15. **Урманцев, Ю. А.** Поли- и изоморфизм в живой и неживой природе [Текст] / Ю. А. Урманцев // Вопросы философии. – 1968. – № 12. – С. 77–80.

16. **Урманцев, Ю. А.** Эволюционика или общая теория развития систем природы, общества и мышления [Текст] / Ю. А. Урманцев. – Пущино : ОНТИ НЦБИ, 1988.

17. **Фации** метаморфизма [Текст] / Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто, В. С. Соболев [и др.]. – М. : Недра, 1970. – 432 с.

18. **Философский** словарь [Текст] / Ред. М. М. Розенталь. – М. : Политиздат, 1975. – 496 с.

19. **Шабынин, Л. И.** Формация магнезиальных скарнов [Текст] / Л. И. Шабынин. – М. : Наука, 1973. – 214 с.

20. **Шепель, А. Б.** Геологическая позиция скарново-магнетитовых месторождений Алданского щита [Текст] / А. Б. Шепель, Ю. Д. Зубков // Эндогенные процессы и металлогения в зоне БАМ. – Новосибирск : Наука, 1982. – С. 39–46.

21. **Шепель, А. Б.** Закономерности размещения и зональность оруденения Леглиер-Тимптонского



рудного пояса (Алданский щит) [Текст] / А. Б. Шепель, Ю. Д. Зубков // Геология рудных месторождений зоны БАМ. – Новосибирск : Наука, 1983. – С. 54–65.

22. **Шепель, А. Б.** Изотопный состав серы сульфидов скарново-магнетитовых месторождений Алданского щита и некоторые вопросы их генезиса [Текст] / А. Б. Шепель, С. И. Голышев // Геохимия. – 1979. – № 9. – С. 1348–1356.

23. **Шепель, А. Б.** Методы исследования региональных гидротермально-рудных систем: геологические ряды и системный анализ. Ч. I. Ге-

ологическая характеристика объекта [Текст] / А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, В. П. Лепилин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 1. – С. 85–92.

24. **Эндогенная** зональность и прогноз железорудности Леглиер-Тимптонского рудного пояса Алданского щита [Текст] / А. Б. Шепель, Л. К. Анохина, М. Е. Гавриленко [и др.] // Зональность и условия локализации магматизма и рудных месторождений Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1988. – С. 73–83.

© А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, В. П. Лепилин, 2014

ШЕПЕЛЬ Альберт Борисович

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, вед. науч. сотр., к. г.-м. н.

E-mail: shepel@sniiggims.ru

ГАВРИЛЕНКО Маргарита Евгеньевна

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, ст. науч. сотр.

E-mail: zoloto@yandex.ru

ЛЕПИЛИН Владимир Петрович


Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, науч. сотр.

E-mail: shepel@sniiggims.ru

Сибирский центр обработки, интерпретации и экспертизы геофизических данных

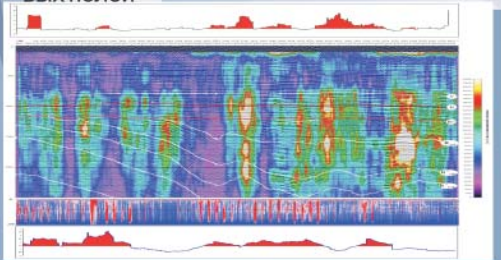
www.sniiggims.ru
geology@sniiggims.ru

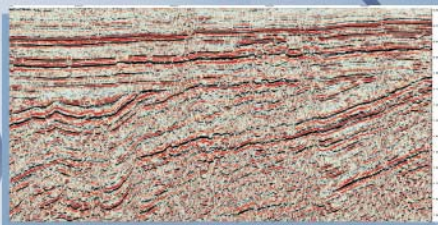
630091, Новосибирск
ул. Потанинская, 6.
+7 (383) 221-46-90



Геофизический центр
СНИИГГиМС
обработка интерпретация экспертиза

Обработка сейсморазведочных данных МОГТ 2D/3D, ВСП, многокомпонентных данных ЗС, получение рассеянных волн, AVO-атрибутов, моделирование волновых полей





Интерпретация данных МОГТ 2D/3D, МВС и ВСП. Построение региональных и локальных моделей строения отложений, одномерное и двумерное моделирование, инверсия сейсмических данных и атрибутный анализ, сейсмофациальный и скоростной анализы, экспертиза эффективности работ

Современная техническая оснащенность
Использование программных средств – лидеров мирового рынка
Высокая квалификация персонала