

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Опыт применения  
геохимических методов**

*Лавин*

Москва 1976

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

# ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Опыт применения геохимических методов

40881  
18804

*Нак*

Москва 1976



550.8

*Редакционная коллегия:*

*Э. Н. БАРАНОВ, Э. К. БУРЕНКОВ,  
О. С. КЛЮЕВ, И. Н. РЕЗНИКОВ,  
Е. М. ЯНИШЕВСКИЙ (ответственный редактор)*

## От редакции

В сборнике публикуются основные практические результаты работ Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ по применению геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого и перекрытого оруденения. Экспедицией были проведены большие методические работы по разработке геохимических критериев выявления, оценки и интерпретации рудогенных геохимических аномалий. Методические материалы по изучению эндогенных ореолов различных типов рудных месторождений, определяющих эти критерии, были опубликованы в 1974 году в сборнике «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений» (издание ИМГРЭ).

Одновременно с методическими работами Центральной геохимической экспедицией широко проводились работы по апробации и проверке разработанных критериев и методических приемов в производственных условиях. Полученные результаты показывают, что установленные критерии прогнозирования и поисков скрытого оруденения могут использоваться с высокой геологической и экономической эффективностью.

В предлагаемый вниманию читателей сборник включены статьи, освещающие опыт работ по прогнозированию месторождений фосфоритов желвакового типа, а также по прогнозным работам для оценки перспектив рудоносности скрытого медноколчеданного оруденения в районе месторождения Гай, на Урале. На основе разработанных критериев, среди общей геологически перспективной площади на флангах этого месторождения выделены участки, перспективные на обнаружение скрытого медноколчеданного оруденения.

Высокую результативность показали также геохимические работы по использованию выявленных методическими исследованиями геохимических критериев при поисках скрытого

редкометального орудения, а также при оценке перспектив рудоносности оловорудных зон. В результате проверки выданных рекомендаций производственными организациями буровыми скважинами вскрыто на различных глубинах редкометальное и оловорудное орудение с промышленным содержанием основных рудобразующих элементов. Этими примерами не исчерпываются все полученные экспедицией результаты опытно-производственных работ.

В дальнейшем намечено продолжение публикации результатов полученного опыта по внедрению геохимических методов на всех стадиях геологоразведочных работ, в особенности в области увеличения глубинности геологических исследований, в частности поисковых работ, а также повышения достоверности этих исследований.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ФОСФОРИТОВ ЖЕЛВАКОВОГО ТИПА

Исследования по выяснению возможностей применения геохимических методов при поисках месторождений фосфоритов желвакового типа проводились на Егорьевском месторождении (Московская область). Оно объединяет 28 разобнесенных участков, охватывающих площадь около 350 км<sup>2</sup>. Нами изучено два участка (фиг. 1), расположенных на расстоянии 25 км друг от друга: Центральный (карьеры 5 и 9) и Новоселовский. На первом из них велись эксплуатационные, а на втором — поисково-разведочные работы.

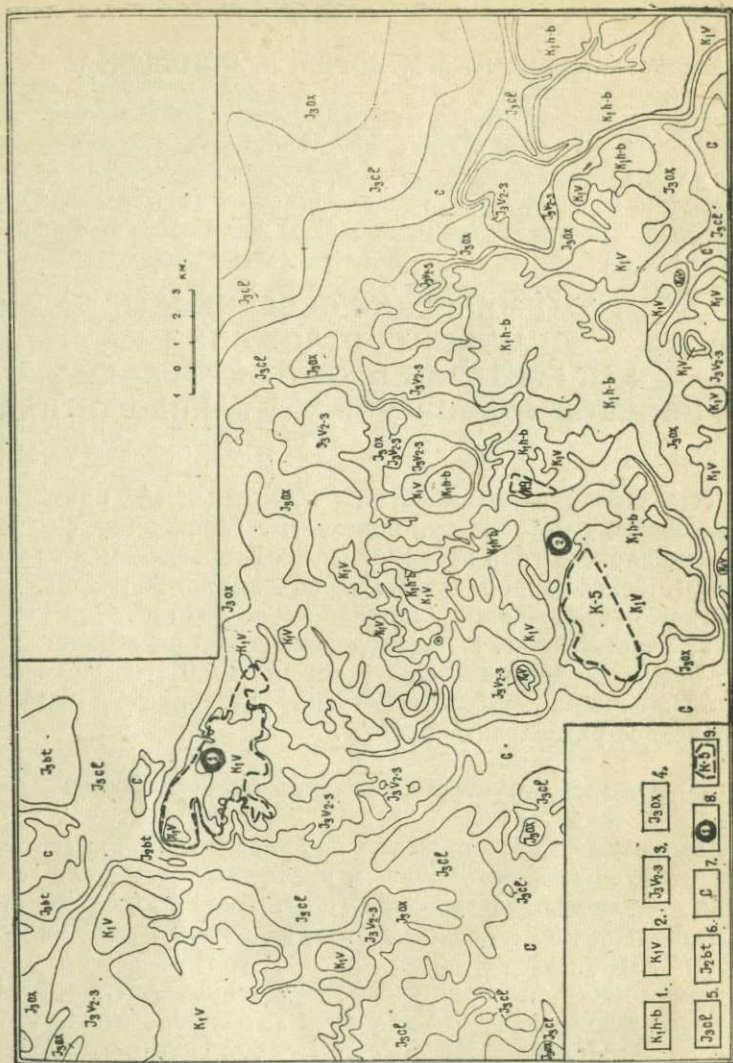
### Геолого-структурная позиция месторождения

Егорьевское месторождение, по данным Б. М. Гиммельфарба (1965), относится к крупным платформенным месторождениям желваковых фосфоритов (Настоящий раздел составлен по материалам Московской геолого-гидрогеологической экспедиции ГУЦР).

Район месторождения расположен в пределах Тумско-Шатурского выступа Волго-Уральской антеклизы, ограниченно с севера Павлово-Посадской впадиной Подмосковного прогиба, а с юга — Пачелмским авлакогеном.

В геологическом строении месторождения принимают участие образования палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Горизонты фосфоритов приурочены к верхнеюрским и меловым отложениям, литолого-стратиграфическое расчленение которых приводится на фиг. 2, начиная со среднего отдела юрской системы.

Батский ярус (J<sub>3bt</sub>). Отложения развиты довольно ши-



Фиг. 1. Геологическая карта Егорьевского месторождения фосфоритов (по Махлиной и др.)

Мел, нижний отдел: 1 — готеривский ярус, песчано-глинистые отложения; 2 — валанжский ярус, кварцевые песчаники. Юра, верхний отдел: 3 — волжский ярус, средневожский подъярус, глауконитовые пески с редкими желваками фосфоритов; 4 — оксфордский ярус; известковистые глины с желваками фосфоритов и конкрециями марказита; 5 — келловейский ярус; алевроиты и глины с желваками фосфоритов и конкрециями марказита; 6 — батский ярус, глины, алевроиты, пески с прослоями глины и известняков с конкрециями марказита; 7 — карбон, известняки; 8 — участки работ: 1 — Новоселовский, 2 — Центральный; 9 — контуры карьеров и их номера.

роко и представлены как континентальными образованиями (глины, алевролиты, пески), слагающими нижнюю часть яруса, так и прибрежно-морскими (песчаники с прослоями глин, песчаные известняки с конкрециями марказита и кремня). Мощность около 10 м.

Келловейский ярус ( $J_{3cl}$ ). Сложен морскими образованиями (алевролиты, глинистые пески, известковистые и песчаные глины с желваками фосфоритов, конкрециями марказита, железистыми оолитами), общей мощностью около 40 м.

Оксфордский ярус ( $J_{3ox}$ ). Представлен песчанистыми глинами с большим количеством фауны, с желваками фосфоритов и конкрециями марказита. Встречаются скопления гипса. Общая мощность 10 м.

Киммериджский ярус ( $J_{3km}$ ). Отложения имеют ограниченное распространение и представлены глинами, глинистыми глауконитовыми песками с фосфоритами и спонголитами. Мощность 2—4 м.

Волжский ярус ( $J_{3v}$ ). Представлен средневожским, средневерхневожским и верхневожским подъярусами; их отличительной чертой является повышенная фосфатность. Песчано-глинистые отложения волжского яруса трансгрессивно залегают на более древних образованиях.

Средневожский подъярус ( $J_{3v2}$ ) характеризуется наличием желваков фосфоритов, которые цементируются фосфатокальцитовым цементом и образуют плиту. Мощность около 0,5 м.

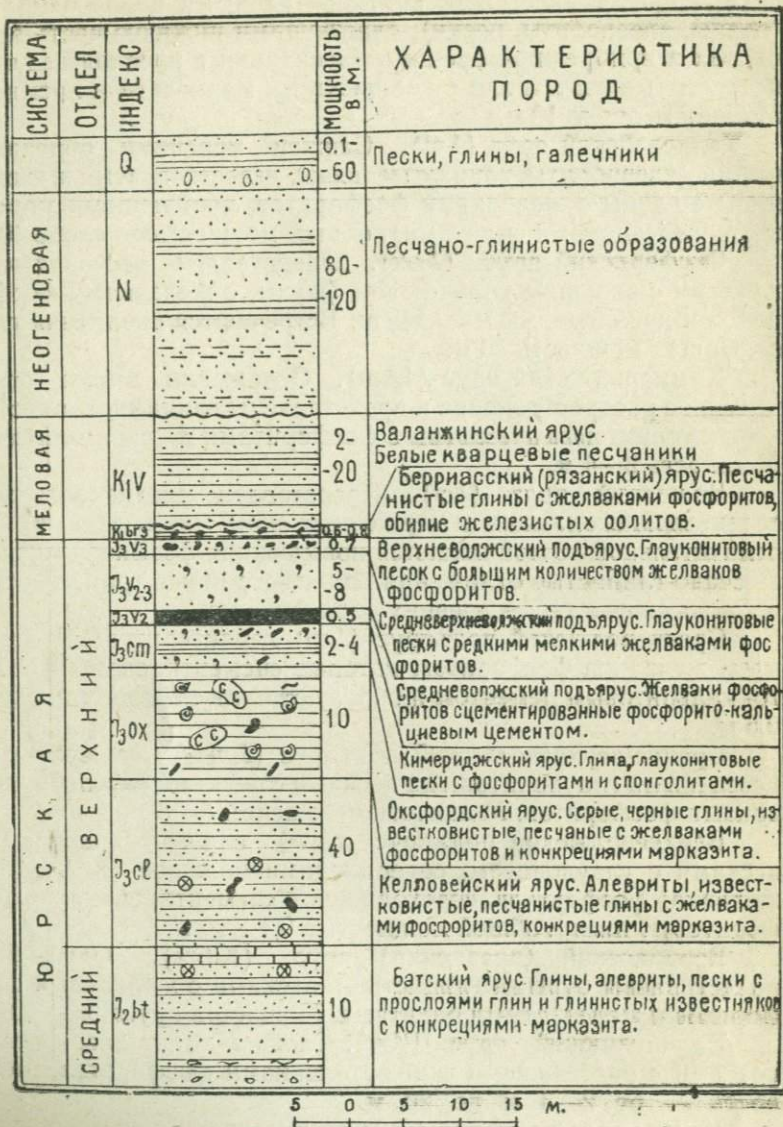
Средне-верхневожский подъярус ( $J_{3v2-3}$ ) сложен темнозелеными глауконитовыми песками с редкими мелкими желваками фосфоритов. Мощность отложений 5—8 м.

Верхневожский подъярус ( $J_{3v3}$ ) сложен кварцевыми песками с глауконитом, содержащими большое количество желваков фосфоритов, переходящих в цементированную фосфоритовую плиту. общей мощностью 0,1—10 м.

Берриасский (рязанский) ярус ( $K_{1brs}$ ). Отложения представлены бурными глинистыми песками с желваками фосфоритов и железистыми оолитами. Мощность яруса 0,6—0,8 м.

Валанжинский ярус ( $K_{1v}$ ). Сложен желтовато-серыми песками с рассеянными в них желваками фосфоритов. Мощность — от 2—3 м до 20 м.

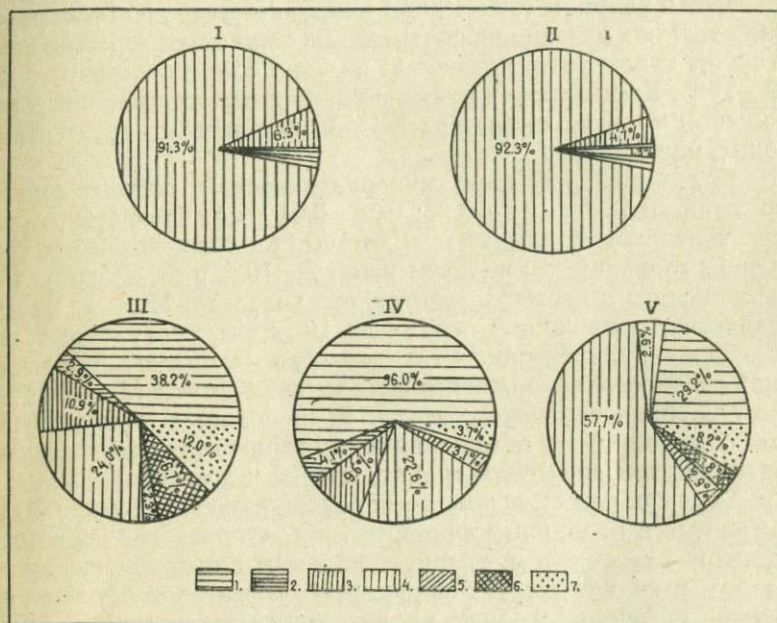
На породах валанжинского яруса залегают отложения среднего и верхнего отделов неогена, представленные глинистыми озерными образованиями мощностью до 80—120 м. Выше по разрезу они сменяются четвертичными отложениями —



Фиг. 2. Сводная литолого-стратиграфическая колонка отложений Егорьевского месторождения фосфоритов

светло-желтыми мелкозернистыми кварцевыми песками с глауконитом. Мощность их не превышает 60 м.

Нами проведено изучение гранулометрического состава описанных выше отложений разреза Егорьевского месторождения. Всего было выделено восемь фракций, каждая из которых охарактеризована 4—9 пробами. В целом, отложения по гранулометрическому составу (фиг. 3) относятся к мелкозернистым пескам. Глинистая составляющая (фракция 0,005 мм и менее) возрастает лишь в отложениях рязанского горизонта.



Фиг. 3. Круговые диаграммы гранулометрического состава отложений разреза Егорьевского месторождения

Отложения: I — неоген-четвертичные, II — валажнинские, III — рязанские, IV — верхневолжские, V — средневолжские. Фракции: 1—2 мм: 2—2,9—1,6; 3—1,9—0,5; 4—0,5—0,1; 5—0,1—0,01; 6—0,01—0,005; 7 — менее 0,005. Условные обозначения даны для фракций с содержанием выше 3%.

Отложения верхневолжского подъяруса характеризуются максимальным содержанием фракции  $> 2$  мм (65,9%), которая состоит исключительно из желваков фосфоритов. Это подтверждается также высоким процентом содержания фракции  $> 2,0$  мм и в других продуктивных горизонтах (рязанский, средне-верхневолжский) и почти полным отсутствием ее в нерудных отложениях (неоген-четвертичные и валажнинские).

Таким образом, основная масса фосфоритов сконцентрирована во фракциях  $> 2,0$  мм и  $2,0-1,0$  мм.

Минералогический анализ, выполненный отдельно для каждой гранулометрической фракции, показал неоднородность их минералогического состава.

Так, наиболее крупные фракции ( $> 2$  мм;  $2,0-1,0$  и  $1,0-0,5$  мм) характеризуются большей однородностью состава по сравнению с тонкими фракциями и представлены в основном (97—100%) фосфоритами (курскит) в отложениях рудных горизонтов и кварцем (99—100%) в неоген-четвертичных образованиях. Лишь отложения средневерхневолжского горизонта состоят из курскитового цемента на 74—78% и кальцита на 22—25%. Кроме того, в отложениях рудных горизонтов в небольшом количестве (не более 1%) присутствуют гетит, глауконит, марказит.

Более разнообразен минералогический состав тонких фракций (0,5—0,1; 0,1—0,05; 0,05—0,01 мм). Фосфаты (курскит, курскитовый цемент и далит) составляют до 50—60% в рудных горизонтах и не превышают 5—10% в отложениях валанжинского и неоген-четвертичного возраста. Помимо этого, возрастает содержание кварца до 10—22%, глауконита до 36—50% в рудных горизонтах, достигая максимума в отложениях средневерхневолжского подъяруса, а гетита (3—17%) — в отложениях рязанского яруса. В небольших количествах (десятые доли %) в отложениях всех горизонтов присутствуют рутил, циркон, ильменит, гранат, кианит и др. минералы.

Таким образом, основные породообразующие минералы, изученные в различных фракциях, представлены курскитом, далитом, глауконитом, кварцем, полевым шпатом, сидеритом, гетитом и кальцитом. Из аксессуарных минералов отмечаются циркон, ставролит, гранат, кианит, турмалин, шпинель, сфен, эпидот, монацит, рутил, ильменит, цеолиты. Группа сульфидов представлена пиритом, халькопиритом, встречающимися в единичных зернах.

### Методический подход к решению задач исследований

Геохимические исследования проводились с целью решения следующих основных задач.

1. Установление закономерностей распределения содержания  $P_2O_5$  и сопутствующих микроэлементов в отложениях разреза Егорьевского месторождения, характеризующихся неоднородным литологическим составом и различными фациальными условиями их образования.

2. Разработка на основе данных закономерностей геохимических критериев, позволяющих распознавать продуктивные фосфоритоносные горизонты и зоны их обогащения.

Решение этих задач позволило выяснить возможности использования геохимических методов для поисков месторождений этого типа, а также рекомендовать методические приемы сбора и обработки соответствующей геохимической информации.

На каждом из двух обследованных участков разрез фосфатоносных и перекрывающих их неоген-четвертичных отложений изучался по двум взаимопересекающимся профилям субширотного и субмеридионального направлений.

Профили опорных разрезов располагались через 1 км, что определялось расстоянием между линиями поисково-разведочных профилей. С целью изучения геохимической характеристики различных типов руд и наблюдения над изменением вещественного состава, а также с целью изучения характера и степени изменчивости микроэлементного состава по простиранию рудных горизонтов и в зависимости от перечисленных выше факторов, между опорными разрезами (карьер 9) через 100 м проведено геохимическое опробование пород рудной серии. На одном стометровом участке расстояние между разрезами было сокращено до 10 м, что позволило установить возможные, даже незначительные, изменения микроэлементного состава в однотипных отложениях.

Разрезы документировались в масштабе 1:50. В процессе документации выделялись интервалы для геохимического опробования. Пробы отбирались методом пунктирной борозды. Длина интервала опробования составляла в среднем 2 м и увеличивалась до 5 м при опробовании монотонных отложений безрудных горизонтов большой мощности. Каждая литологическая разность из рудных горизонтов мощностью менее 2 м опробовалась раздельно. С опробуемого интервала через равные промежутки отбиралось от 5 до 10 кусочков, которые объединялись в одну пробу весом 200—300 г. С целью получения представительных статистических параметров из каждой литологической разности пород отбиралось не менее 30 проб. Проводимые в статье выводы базируются на аналитических данных, полученных по 432 геохимическим пробам.

Аналитические работы выполнены в Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ. Кроме химического анализа  $P_2O_5$ , все пробы подверглись спектральному приближенно-количественному анализу на бор, барий, ванадий, иттрий,

иттербий, кобальт, молибден, марганец, медь, никель, ниобий, олово, стронций, свинец, титан, цирконий, хром и цинк. Пятиокись фосфора определялась во всех пробах химическим количественным методом. В пробах, отобранных из рудных горизонтов, содержание  $P_2O_5$  определялось дифференциальным методом, чувствительность которого равна  $2 \cdot 10^{-2}\%$ . В остальных пробах содержание  $P_2O_5$  определялось по методу Баревской, при его чувствительности  $1 \cdot 10^{-2}\%$ . Контрольные анализы выполнены в лаборатории ГУЦР.

Гранулометрический и минералогический анализы проводились в минералогической лаборатории ЦГЭ. Гранулометрический анализ плохо отсортированных песчано-глинистых пород производился комбинированным способом. Для песчано-алевролитовых отложений применялся ситовой анализ, а для глинистых — один из гидравлических методов. Пробы кипятятся в дистиллированной воде в течение 30—40 мин., затем крупные фракции ( $> 2$ ; 2,0—1,0;  $< 1$  мм) выделялись с помощью сит. Границы фракции  $< 0,01$  мм устанавливались по методу Сабанина, а частицы  $< 0,005$  и  $< 0,001$  мм определялись по методу пипетки. Рентгеноструктурный анализ проводился в лаборатории ИМГРЭ.

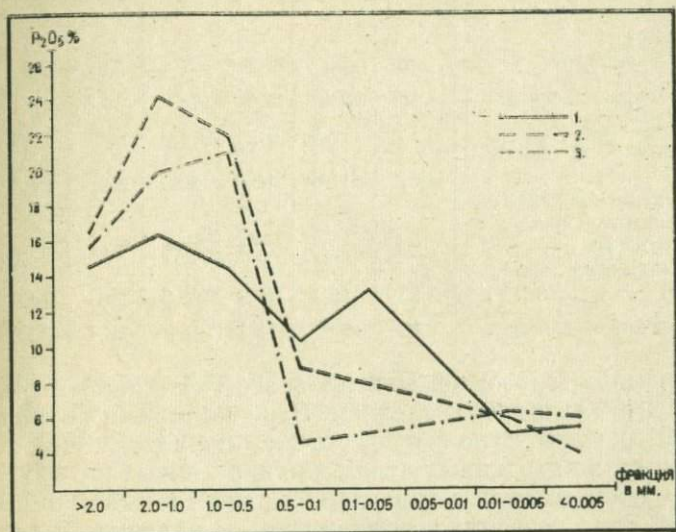
### Распределение $P_2O_5$ и микроэлементов в отложениях изученных разрезов

Средние содержания  $P_2O_5$  на Центральном участке (таб. 1) варьируют от 0,4—1,5% в неоген-четвертичных, валанжинских и оксфордских отложениях до 7,8—18,1% в породах рязанского и волжского ярусов.

Изучение распределения содержаний пятиокси фосфора в отдельных фракциях показало, что максимум содержаний отмечается в крупных фракциях (фиг. 4) и по мере уменьшения размерности частиц концентрации ее снижаются. При этом довольно резкий переход содержаний устанавливается для отложений рудных горизонтов на границе фракций 1,0—0,5 и 0,5—0,1 мм.

Изученные отложения характеризуются неоднородным микроэлементным составом, а их содержания изменяются в широких пределах. Максимальные содержания меди, циркония, цинка, ниобия, кобальта, никеля, свинца, титана и минимальные — бора, стронция характерны для неоген-четвертичных, валанжинских и оксфордских образований. В то же время отложениям рязанского и волжского ярусов свойственны

максимальные концентрации ванадия, хрома, бора, марганца, стронция и минимальные — молибдена, меди, ниобия. Приуроченность максимумов концентрации отдельных микроэлементов к отложениям определенных стратиграфических горизонтов обуславливает геохимические особенности этих отложений



Фиг. 4. Распределение  $P_2O_5$  по фракциям

Отложения горизонта: 1 — рязанского, 2—верхневолжского, 3—средневолжского

и определяется различиями минералогического и гранулометрического состава, неодинаковой степенью фосфатоносности, а также различиями литолого-фациальных условий их образования.

В породах Новоселовского участка (табл. 2) средние содержания колеблются от 0,8—3,4% в нерудных, до 4,1—11,7% в рудных горизонтах. Характер распределения и степень концентрации микроэлементов в породах обоих участков почти одинаковы, несмотря на значительную удаленность друг от друга. Исключение составляет лишь поведение марганца и меди.

В целом следует отметить, что средние содержания подавляющего большинства микроэлементов, за исключением стронция, содержания которого изменяются в зависимости от содержания  $P_2O_5$ , незначительно выше в отложениях Новоселовского участка по сравнению с отложениями тех же страти-

Распределение средних содержаний  $P_2O_5$  и микроэлементов

Наименование стратиграфического яруса (подъяруса) и характеристика продуктивных отложений	Количество проб	$P_2O_5$	V п. 10 <sup>-3</sup>	V п. 10 <sup>-4</sup>	Zn п. 10 <sup>-3</sup>	Co п. 10 <sup>-4</sup>	Mo п. 10 <sup>-5</sup>
Неоген-четвертичный объединенный (песчано-глинистые)	36	1,5	4,2	51,4	5,3	5,5	21,2
Валанжянский (пески)	10	0,4	5,8	70,6	20,3	13,1	28
Рязанский (фосфориты)	15	12,5	10	218,8	8,4	52,9	9,3
Верхневолжский (фосфориты)	21	15,6	10,9	86,9	5,9	37,3	14,6
Верхнесредневолжский (глауконитовые пески) с фосфоритами	30	7,8	17,1	50,9	5,2	27,8	12,4
Средневолжский (фосфориты)	13	18,1	14,9	22,3	2,6	14,8	9,8
Оксфордский (глины)	10	0,8	13,1	181	18,4	95,8	70

графических горизонтов Центрального участка, хотя концентрация  $P_2O_5$  выше на последнем. Ранее авторами (Буренков и др., 1973) было установлено, что средние содержания микроэлементов в однотипных отложениях, развитых на обоих участках работ, близки, а характер их распределения по разрезу сходен. Это позволило утверждать о наличии и постоянстве геохимических закономерностей, имеющих региональное распространение. Это же постоянство и, следовательно, надежность установленных закономерностей в распределении средних содержаний микроэлементов по отдельным стратиграфическим горизонтам подтверждается следующими данными.

С целью изучения закономерностей изменения микроэлементного состава в период осадконакопления от юры (оксфордский ярус) до четвертичного времени и связи его с фаціальными условиями осадконакопления рассчитаны по участкам отношения, представляющие коэффициент накопления средних содержаний микроэлементов для отложений каждого горизонта к средним содержаниям в отложениях подстилающего их горизонта (коэффициент накопления, табл. 3). Это позволяет в относительных, а следовательно, в сравниваемых для различных микроэлементов значениях охарактеризовать направление и степень изменчивости микроэлементного состава и их концентрации в зависимости от изменения фаціальных условий осадконакопления. Все значе-

(в %) в породах Центрального участка

Таблица 1

Mn п · 10 <sup>-3</sup>	Cu п · 10 <sup>-4</sup>	Ni п · 10 <sup>-4</sup>	Nb п · 10 <sup>-4</sup>	Sr п · 10 <sup>-3</sup>	Pb п · 10 <sup>-4</sup>	Sc п · 10 <sup>-4</sup>	Ti п · 10 <sup>-2</sup>	Zr п · 10 <sup>-3</sup>	Cr п · 10 <sup>-4</sup>
41,3	39,5	22	8,1	5,8	5,4	1,1	18	13,5	16
51,2	36	29,2	8,6	23,2	5,3	1,1	16,2	11,9	19,7
46	9,3	53,2	2,7	70	12,9	2,1	7,4	5,2	67,1
67,9	7,3	39,5	2,3	70,3	9,7	0,8	6,6	3	40,2
35,8	8,1	37,9	2,2	46,1	10,2	1,3	7,2	2,5	33,3
68,8	12,5	21,6	2,2	78,2	9,1	0,6	6,4	1,8	11,6
43,3	32,2	312	4,6	44,5	22,6	5,2	22	7,5	18,5

ния полученных отношений выше единицы указывают на рост содержаний элементов по мере перехода от отложений одного стратиграфического горизонта к другому, а значения меньше единицы отражают снижение содержаний. Таким образом, представляется возможным дать количественную геохимическую характеристику и направленность изменения микроэлементного состава в процессе осадконакопления по изученным разрезам Егорьевского месторождения. Для установления различий в контрастностях средних содержаний полученные отношения условно разделены на пять групп со следующими значениями коэффициента накопления: 0,75—1,5 — отложения характеризуются близкими средними содержаниями элемента и устанавливаемые различия или незначительны, или связаны с ошибкой анализа; 0,5—0,75 и 1,5—2,0 — слабо контрастные изменения микроэлементного состава; до 0,5 и более 2,0 — весьма контрастные изменения микроэлементного состава.

Эти данные прежде всего показывают единый тип распределения содержания микроэлементов по разрезу на обоих (Центральный и Новоселовский) участках. Различия, притом незначительные, устанавливаются лишь в контрастностях, когда, в единичных случаях, элемент занимает место не в той же, а соседней группе. Однако, учитывая условность граничных значений отношений для групп, можно считать, что различия

Распределение средних содержаний  $P_2O_5$  и микроэлементов

Наименование стратиграфического яруса (подъяруса) и характер отложений	Количество проб	$P_2O_5$	V	V	Zn	Co	Mo
			$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-4}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-4}$	$\cdot 10^{-5}$
Неоген-четвертичный объединенный (песчано-глинистые)	31	3,4	7,6	138,7	10,7	14,7	18,4
Валанжинский (пески)	2	0,8	6	140	50	20	25
Рязанский (фосфориты)	10	4,8	9,4	234	22,5	60,6	15,2
Верхневолжский (фосфориты)	5	11,7	11,3	88	6,2	45,4	13,8
Верхне-средневолжский (глауконитовые пески с фосфоритами)	33	4,1	17,6	81,1	7,6	28,6	16,9
Средневолжский (фосфориты)	16	9,8	15,6	56	6,1	31,2	20,5
Оксфордский (глины)	13	1,2	14,7	208,5	21,9	68,8	37,9

практически отсутствуют. Это позволяет, в свою очередь, во избежание увеличения объема веса нижеследующие выводы строить на фактическом материале лишь по Центральному участку (см. табл. 3).

Довольно четко выделяются две группы (ассоциации) микроэлементов, которые характеризуются единой схемой распределения содержаний по разрезу для элементов, объединенных в одну группу, и значительными различиями для элементов разных групп.

В первую группу объединены ниобий, цирконий, титан, медь, а во вторую — стронций, хром, кобальт, бор. Нам представляется, что эти элементы наиболее полно и весьма контрастно реагируют на изменения в условиях осадкообразования и литологического состава, происходивших на протяжении довольно продолжительного времени, и отражают их.

Так, для обеих групп микроэлементов устанавливаются две границы, отвечающие наиболее резким разнонаправленным изменениям геохимических особенностей поведения микроэлементов: граница рязанского и валанжинского и граница оксфордского и средневолжского ярусов, что довольно четко ограничивает период фосфатонакопления. Рассматривая разрез снизу вверх, мы наблюдаем резкую смену геохимической обстановки в средневолжское время по сравнению с оксфорд-

Таблица 2

(в %) в породах разведочного участка «Новоселковский»

Mn п.10 <sup>-3</sup>	Cu п.10 <sup>-4</sup>	Ni п.10 <sup>-4</sup>	Nb п.10 <sup>-4</sup>	Sr п.10 <sup>-3</sup>	Pb п.10 <sup>-4</sup>	Sc п.10 <sup>-4</sup>	Ti п.10 <sup>-2</sup>	Zr п.10 <sup>-3</sup>	Cr п.10 <sup>-4</sup>
64,2	28,7	28,2	8,4	18,5	10,7	1,8	21,5	13	33,2
110	55	40	10	9	7,5	1,2	19,5	7,5	35
74,6	21,5	69,3	6	34	12	2,3	19,4	7,2	60,8
107	9,8	54	2,4	58	11,8	1,7	8,3	2,6	36
38,6	16	40,6	3,2	20	12,3	1,9	9	3,9	37,8
52,6	16,1	56,1	2,6	56	12,8	1,6	9,1	3,3	17,3
37,9	37,2	216,6	6,3	45,4	22,7	4,1	27,2	8,3	17,9

8881

ским, выразившуюся в значительном уменьшении концентраций таких элементов, как цирконий, титан, медь, ниобий, свинец, кобальт, хром, и увеличении, хотя и слабом, содержаниях стронция и марганца. При этом снижение содержания кобальта — элемента весьма типичного для глинистых разностей пород, как это было показано авторами (Буренков и др., 1973) ранее, является закономерным и объясняется изменением фациальных условий. В рассматриваемый период отмечается сокращение трансгрессии, достигшей максимума в киммеридже, и соответственно размеров бассейна, его обмеление и как следствие — преобладание в средневожских отложениях песчанистого материала. Аналогичным образом должен был бы вести себя и бор. Однако снижение его содержания не наблюдается. По-видимому, на степень концентрации бора в данном случае более интенсивно, чем изменение фациальных условий осадкообразования, влияют другие факторы, в частности, фактор фосфатонакопления, с которым тесно ассоциирует глауконит, характеризующийся (Хардер, 1965) повышенной боросодержательностью. Поэтому содержания бора в песчаниках средневожского горизонта не снизились по сравнению с глинами оксфорда, а остались на прежнем уровне.

Правомерность сказанного также косвенно, но еще более контрастно подтверждается по цирконию, титану, ниобию и



Степень изменения микроэлементного состава  
в отложениях разреза Егорьевского месторождения  
в значениях коэффициента накопления

Возраст отложений (ярус, подъярус)	Значения коэффициента накопления										Элементы в группах коэффициента накопления				
	Nb	Zr	Ti	Cu	Cr	Sr	B	Co	Mn	Pb	до 0,5	0,5—0,75	0,75—1,5	1,5—2,0	более 2,0
<b>Неоген-четвертичный</b>													Nb, Zr, Ti, Cu, Cr, Mn, Pb		
Валанжин	0,9	1,1	1,1	1,1	0,8	0,3	0,7	0,4	0,8	1	Sr, Co	B			
<b>Валанжин</b>															Nb, Zr, Ti, Cu
Рязань	3,2	2,3	2,2	3,9	0,3	0,3	0,6	0,2	1,1	0,4	Cr, Sr, Co, Pb	B	Mn Nb, Ti, Cu, Sr,		
<b>Рязань</b>															
Верхневолжский	1,2	1,7	1,1	1,3	1,7	1,0	0,9	1,4	0,7	1,3		Mn	B, Co, Pb	Zr, Cr	
<b>Верхневолжский</b>															
Верхнесредневолжский	1,0	1,2	0,9	0,9	1,2	1,5	0,6	1,3	1,9	0,9		B	Nb, Zr, Ti, Cu, Cr, Sr, Co, Pb	Mn	
<b>Верхнесредневолжский</b>															
Средневолжский	1,0	1,4	1,1	0,6	2,9	0,6	1,1	1,9	0,5	1,1		Cu, Sr Mn	Nb, Zn, Ti, B, Pb	Co	Cr
<b>Средневолжский</b>															
Окфордский	0,5	0,2	0,3	0,4	0,6	1,8	1,1	0,2	1,6	0,4	Nb, Zr, Ti, Cu, Co, Pb	Cr	B	Sr, Mn	

меди, содержания которых должны были бы возрастать вверх по разрезу, а фактически резко снижаются. Надо полагать, что изменение содержаний этих элементов также определяется в большей степени усилением фосфатообразования.

Выше по разрезу, как видно из табл. 3, содержания подавляющего большинства микроэлементов для всех фосфоритоносных горизонтов находятся приблизительно на одном и том же уровне и размещаются в основном в группе с интервалом значений отношения содержаний от 0.75 до 1.5.

На границе отложений рязанского и валанжинского ярусов также происходит резкая смена геохимической обстановки, которая обусловлена окончанием процесса фосфатонакопления. Поскольку в данном случае отложения представлены песчанистыми литофациями, различия микроэлементного состава проявляются более контрастно и более четко. В этих отложениях наблюдается резкое повышение концентрации ниобия, циркония, титана и меди, а также значительное снижение содержаний хрома, стронция, кобальта, свинца и бора. В неоген-четвертичных отложениях отмеченная тенденция к снижению содержаний еще проявляется у стронция, кобальта и бора, в то время как содержания других элементов находятся на уровне валанжинских песков.

На Новоселовском разведочном участке верхняя граница разнонаправленных изменений поведения микроэлементов находится несколько ниже по времени, т. е. проявляется уже в отложениях рязанского яруса, который здесь фиксируется недостаточно четко.

Таким образом, можно утверждать, что для отложений разреза Егорьевского месторождения устанавливается довольно четкая зависимость между микроэлементным составом и литолого-фациальными условиями осадконакопления, а изменение содержаний отдельных элементов однозначно указывает на изменившийся характер фациальных условий осадкообразования и в частности, фосфатоносности отложений.

Распределение содержаний микроэлементов во фракциях отложений различных стратиграфических горизонтов имеет сложный характер и требует отдельного рассмотрения.

#### **Индикационные свойства микроэлементов и выбор элементов-индикаторов фосфатоносности**

Изучение распределения средних содержаний микроэлементов в отложениях различных стратиграфических горизонтов Егорьевского месторождения позволяет сделать вывод, что

каждому из них присущи определенные ассоциации элементов, характеризующиеся максимально высокими концентрациями на фоне отложений других стратиграфических горизонтов.

Для каждого элемента в отдельности были рассчитаны коэффициенты накопления, представляющие собой отношение его среднего содержания в каждом стратиграфическом горизонте к среднему содержанию в том горизонте, где оно минимально. Величины этого отношения колеблются от 1,0 до 8,0.

Все микроэлементы по значению величины коэффициента накопления были разделены на 4 группы: от 1,0 до 1,5; 1,5—2,0; 2,0—4,0; более 4,0. Элементы с высокими значениями коэффициента накопления (2—4 и более 4), по нашему мнению, являются наиболее характерными и рассматриваются в качестве элементов-индикаторов отложений определенных стратиграфических горизонтов; при этом влияние аналитической ошибки значительно меньше, чем при более низких величинах этого коэффициента. Так, в неоген-четвертичных отложениях максимально накапливается цирконий, в валанжинских песках — медь, цинк. Стронций характерен для рудных горизонтов.

Полученный материал позволяет по общности геохимических признаков выделить ассоциации элементов, между которыми устанавливаются различия в характере поведения и степени концентрации в отложениях рудных и безрудных горизонтов. Всего выделяются три группы-ассоциации элементов.

В первую группу объединены ниобий, цирконий, медь и титан, средние содержания которых максимальны в отложениях четвертичного, валанжинского и оксфордского возрастов, т. е. безрудных горизонтов. В рудных горизонтах (рязанский и волжский), с высокими концентрациями фосфоритов, содержания этих элементов много ниже. Таким образом, они рассматриваются как элементы-индикаторы безрудных фаций.

Вторая группа элементов — стронций, бор, хром, марганец, — в отличие от элементов первой группы, характеризуется повышением содержаний хотя бы в одном из рудных горизонтов и обязательным снижением их в безрудных горизонтах. В одну группу эти элементы объединяет четко выраженная тенденция роста их содержаний по мере перехода от безрудных горизонтов к рудным.

Третью группу составляют элементы, распределение содержаний которых в отношении рудных и безрудных горизонтов носит несколько неопределенный характер. Здесь выделяется две подгруппы. Одну из них представляют свинец и молибден, содержания которых резко повышены в глинах окс-

фордского горизонта и являются типичными индикаторами его отложений; в то же время они относительно равномерно распределены в отложениях других горизонтов. Представителями другой подгруппы являются кобальт и никель, максимальные концентрации которых также установлены в оксфордских глинах. Однако, кроме того, для этих элементов характерны довольно высокие содержания в отложениях рязанского рудного горизонта, в то время как самые низкие их концентрации свойственны отложениям валанжинского, неогенового и четвертичного возраста. Как видно из приведенных выше данных, отложения рудных горизонтов обогащены стронцием, хромом, бором и в некоторой степени кобальтом и никелем, а нерудные — цирконием, медью, ниобием, титаном, бериллием, цинком, свинцом, молибденом, скандием. Надежными (значение коэффициента накопления 4 и более) элементами-индикаторами рудных горизонтов являются стронций, хром, бор, кобальт, а нерудных — цирконий, медь, ниобий, титан.

Аналогичные расчеты были произведены и для отдельных гранулометрических фракций. В целом, характер распределения содержаний микроэлементов не меняется. Однако возможны случаи, когда в одной из выделенных фракций может быть сконцентрирован материал, не свойственный этому рудному горизонту. Например, во фракции более 2 мм из отложений валанжинского яруса (безрудного) установлено до 90% курскита, что естественно не позволяет достоверно выделить элементы-индикаторы. При анализе данных по всем фракциям уверенно выделяются те же самые элементы-индикаторы, что и по общему содержанию. В отдельных фракциях индикационные свойства элементов проявляются более контрастно, чем по данным валового анализа проб.

Для проб, представленных материалом различного гранулометрического состава рассчитывался коэффициент ранговой корреляции между содержаниями  $P_2O_5$  и содержаниями элементов-индикаторов. Малое количество проб не позволило установить наличие ранговой корреляции для всех элементов, однако она четко проявлена для стронция (положительная) и титана (отрицательная) в отложениях рудных горизонтов. Значения коэффициента ранговой корреляции, как правило, выше, 0,8. Для отдельных фракций рудных горизонтов положительная корреляционная связь отмечается для хрома и кобальта.

На основании приведенного фактического материала можно констатировать, что в пределах литолого-фациальной зоны

платформенного типа, характеризующейся фосфатонакоплением и являющейся фрагментом литолого-фациального профиля в широком смысле этого слова (Страхов, 1965), распределение микроэлементов имеет свои специфические особенности, выдержанные на значительных площадях, а их концентрация определяется во многом фациальными и физико-химическими условиями фосфатонакопления. При этом выделяется круг элементов-индикаторов, характеризующих литофаии, образовавшиеся в этих условиях. Изменение последних и развитие процесса фосфатонакопления приводит к изменению концентраций микроэлементов и резко меняет соотношение концентраций элементов, принадлежащих к разным группам выделенных ассоциаций, и в частности, элементов-индикаторов рудных и безрудных горизонтов.

По простиранию рудных тел, на участках их выклинивания или постепенного перехода руд с промышленными концентрациями фосфора, как и по размеру изученных отложений, устанавливается неоднородный микроэлементный состав, но изменение содержания элементов в этих направлениях весьма закономерно. К сожалению, авторы не располагали материалами, характеризующими рудные горизонты на участках постепенных переходов промышленных в низкие, непромышленные и далее в фоновые концентрации. В нашем распоряжении имелись лишь два примера наличия небольших рудных тел с высокими (более 10%) содержаниями  $P_2O_5$  в нерудной толще неоген-четвертичных нерасчлененных образований, которые позволили рассмотреть поведение и изменение степени концентрации различных микроэлементов в разных направлениях по мере удаления от рудных тел. Следует оговориться, что приводимый ниже материал позволит выявить лишь некоторые закономерности и наметить принципиально схемы распределения концентраций микроэлементов в определенных литолого-фациальных зонах, с образованием отложений, в которых генетически связано фосфатонакопление, являющееся в данном случае составной частью осадочного процесса. Также представляется возможным наметить пути решения некоторых вопросов методического и поискового характера при работах в областях развития аналогичных фациально-генетических зон.

Отстроенные разрезы распределения содержания микроэлементов в изоконцентрациях показали четкие различия в поведении элементов-индикаторов, выделенных для отложе-

ний рудных и безрудных горизонтов, и сходство черт для элементов, объединенных в эти группы.

Устанавливается зональное распределение концентраций микроэлементов по отношению к рудным телам. В вертикальном разрезе эта зональность проявлена более четко и контрастно по сравнению с зональностью, выраженной по простиранию. Максимальные концентрации элементов-индикаторов рудных горизонтов — стронция, бора, кобальта, хрома и, кроме того, свинца и никеля приурочены к горизонтам отложений, подстилающих рудные тела (карьер 9) и непосредственно накладываются на рудные тела (карьер 5), причем низкие содержания  $P_2O_5$  в обоих случаях или не фиксируются совсем, или сопровождаются значительно меньшими концентрациями лишь части элементов (хром, никель и свинец). На одном из участков (карьер 5) наиболее высокие концентрации перечисленных элементов соответствуют горизонту развития фосфоритов. По этому разрезу над рудными телами отмечается небольшое повышение содержания кобальта и, в какой-то мере, бора. По простиранию рудных тел в направлении от высоких к низким концентрациям  $P_2O_5$  наблюдается также и снижение концентраций всех элементов-индикаторов этой группы. Для бора и хрома они проявлены резче, чем для кобальта и стронция. Установленные изменения содержания по вертикальному разрезу и по простиранию составляют от 2 до 30 раз. Следует отметить некоторое повышение концентраций этих элементов в отложениях, расположенных выше рудных тел и смешанных относительно последних в направлении их выклинивания (карьер 9, разрезы М-I и М-III). В отличие от указанных элементов, максимальные концентрации микроэлементов-индикаторов безрудных горизонтов (ниобия, циркония, титана и меди), а также молибдена и марганца располагаются непосредственно над рудными телами или в местах их выклинивания, характеризующихся низкими (менее 5—10%) содержаниями  $P_2O_5$ .

Распределение концентраций этих элементов по простиранию отложений, перекрывающих и подстилающих (в том числе и вмещающих) рудные тела, неоднородно. Так, в первых, характеризующихся в целом максимальными их содержаниями, отмечается снижение концентраций, сопровождающееся сужением областей их распространения в направлении выклинивания рудных тел, а во вторых, характеризующихся в общем наиболее низкими концентрациями элементов, устанавливается постепенное, хотя и слабо выраженное уменьшение кон-

центраций в обратном направлении, совпадающем с ростом содержания  $P_2O_5$  в рудном теле.

Таким образом, приведенный материал позволяет утверждать о зональном распределении элементов-индикаторов, образующих около рудных тел фосфоритов «шлейфы» повышенных концентраций. Такие элементы, как стронций, хром, кобальт и др., образуют максимум концентраций под рудными телами или накладываются непосредственно на них. Менее ярко выраженный второй максимум концентраций в карьере 9 проявляется в отложениях, расположенных над рудным телом и смещен по простиранию в сторону разреза М-III, в котором рудное тело не прослежено. В то же время элементы-индикаторы отложений безрудных горизонтов образуют максимум концентраций главным образом над телами фосфоритов, что и определяет их совершенно отличное поведение по сравнению с описанными выше элементами.

Все выведенные выше закономерности в распределении содержаний микроэлементов в изученных отложениях в равной степени могут быть установлены при изучении микроэлементного состава отдельных гранулометрических фракций. Так, максимумы концентраций элементов-индикаторов рудных горизонтов фиксируются или непосредственно в пределах рудных тел, или (даже чаще) под ними (разрез по карьере 5), а максимумы содержаний элементов-индикаторов, как правило, расположены над рудными телами. Такое положение максимумов концентраций имеет свой определенный генетический смысл. Однако подробно этот вопрос не рассматривается, так как настоящая статья не преследует цели объяснения генезиса возникновения «шлейфов» повышенных концентраций микроэлементов вокруг рудных тел.

Наиболее четко и контрастно описанные закономерности устанавливаются по фракции с размерностью зерен 0,05—0,01 мм, а для стронция, хрома, бора и кобальта еще и по фракции 0,5—0,1.

### Практическое значение элементов-индикаторов фосфоритов желвакового типа

Выделение элементов-индикаторов рудных и безрудных горизонтов и установление характера распределения их содержаний относительно рудных тел создает предпосылки для их практического применения. Рассмотрим некоторые возможности этого практического применения. С целью получения более

контрастных и широко проявленных характеристик и сокращения объема графического материала нами используются суммирующие мультипликативные показатели, выраженные произведением абсолютных содержаний элементов-индикаторов и рассчитываемые для обеих их групп. Отношение этих показателей названо геохимическим коэффициентом рудоносности. Значения мультипликативного показателя рудных горизонтов варьируют от единиц до 200 для неоген-четвертичных образований, от 80—90 до 300 для отложений валанжина, для образований рязанского яруса они возрастают до 100 000, снижаясь до 30 000—40 000 в породах волжского яруса. В свою очередь, значения мультипликативного показателя нерудных горизонтов колеблются в неоген-четвертичных образованиях от 8000 до 90 000, в образованиях валанжина — от 5000 до 50 000, в то время как в породах рязанского яруса они равны первым сотням и не превышают 2000, а в отложениях волжского — от 100 до 10 000.

Еще большие различия для рудных и безрудных горизонтов наблюдаются при использовании геохимического коэффициента рудоносности. Так, образования неоген-четвертичного возраста характеризуются значениями коэффициента равными 0,00007—0,5, отложения валанжина — 0,003—0,4, породы рязанского яруса — 1,0—3,5, образования волжского яруса — 7—7000, и, наконец, оксфордские отложения — 0,1—13,0. Таким образом, рассчитанные значения этого коэффициента для безрудных горизонтов не превышают десятых долей, в основном равняясь тысячным долям, в то время как для рудных горизонтов они установлены только в целых числах и достигают в горизонтах с высокими содержаниями пятиоксида фосфора 3500—7000, т. е. различия составляют несколько порядков. Аналогичная и более контрастная картина распределения значений коэффициента наблюдается при рассмотрении различных фракций пород (табл. 4). Использование коэффициента представляется возможным для расчленения рудных и безрудных горизонтов, корреляции и прослеживания их по простиранию, выделения и оконтуривания участков с промышленными концентрациями  $P_2O_5$ .

В карьере 9 Центрального участка по простиранию каждого фосфоритоносного горизонта значение коэффициента рудоносности изменяется в небольших пределах и определяется концентрацией  $P_2O_5$ . Максимальные его величины приходится на участки с наиболее высокими содержаниями пятиоксида фосфора.

Распределение величин коэффициента рудоносности в неоген-четвертичных отложениях Центрального участка характеризуется возрастанием его значений (фиг. 5) по мере приближения к рудному телу как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Максимальные его величины

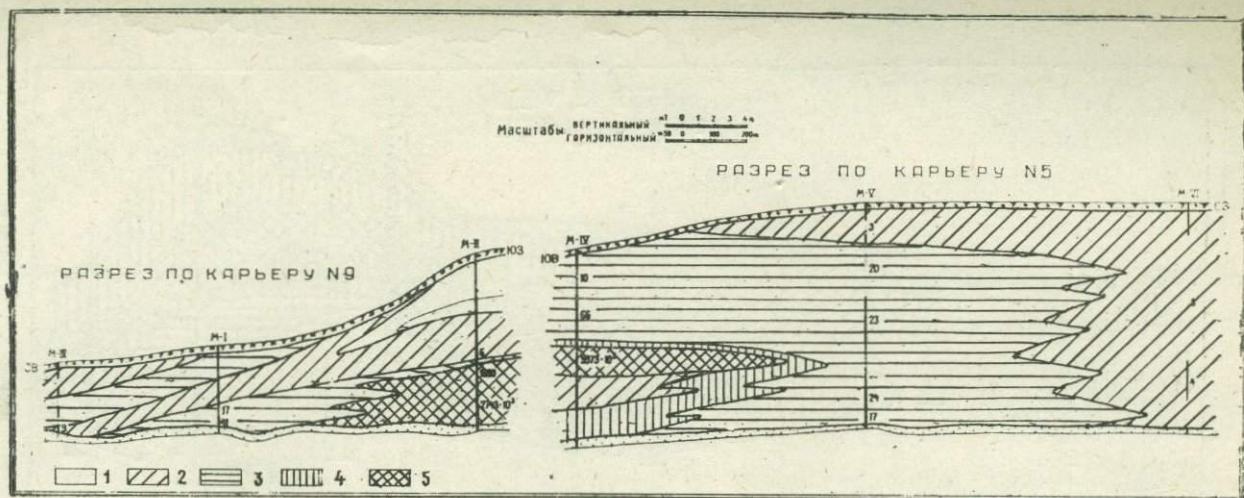
Таблица 4

Изменение значений геохимического коэффициента рудоносности по разрезу отложений, рассчитанное для отдельных фракций

Горизонты	2,0—1,0 мм		0,5—0,1		0,05—0,01	
	K <sub>min</sub>	K <sub>max</sub>	K <sub>min</sub>	K <sub>max</sub>	K <sub>min</sub>	K <sub>max</sub>
Q	0,02	0,11	0,00006	0,006	0,00001	0,03
K <sub>1</sub> V	0,03	11,2	0,00001	0,0005	0,001	1,0
K <sub>1</sub> brs	133	500	150	428	200	333
J <sub>3</sub> V <sub>3</sub>	480	2000	267	3333	114	260
J <sub>3</sub> V <sub>2</sub> —V <sub>3</sub>	5,6	450	50	450	0,9	30

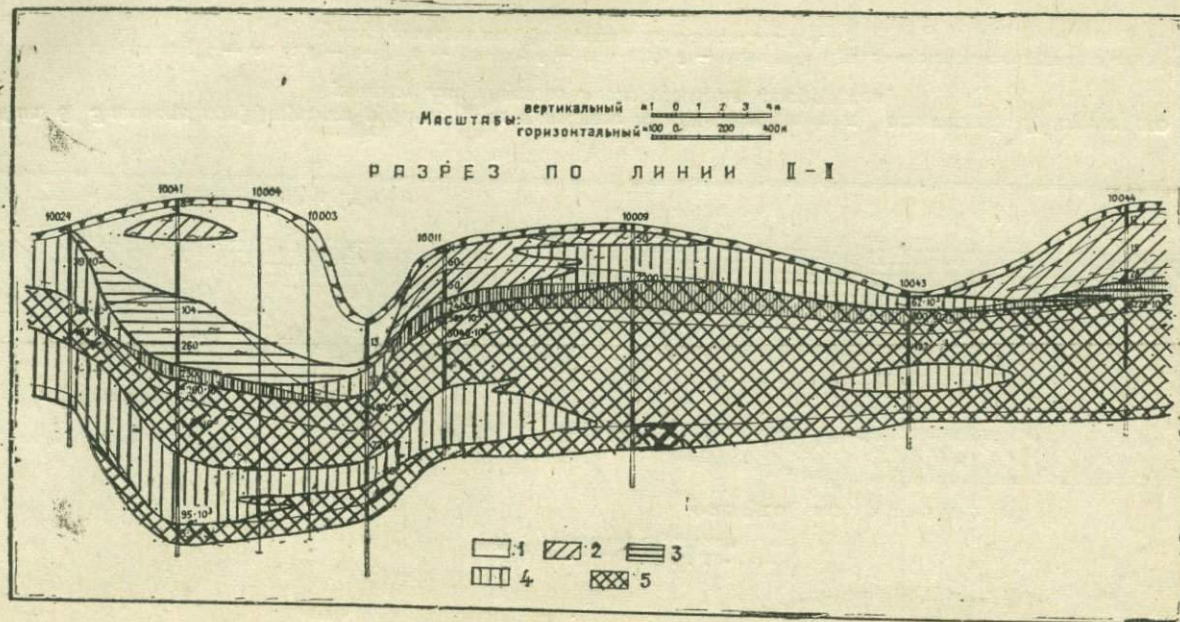
устанавливаются для рудных горизонтов и подрудных участков. При этом выявленные различия для рудных и безрудных горизонтов составляют более 1000 раз. Наличие признаков промышленных концентраций P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> устанавливается с помощью предполагаемого коэффициента на расстоянии до 1,0—1,5 км от рудного тела, однако, по мнению авторов, этим его возможности не исчерпываются.

На Новоселовском разведочном участке неоген-четвертичные отложения не фосфатосны. В их разрезе по линии II—II отмечается сверху вниз увеличение содержания большинства элементов. Как видно на фиг. 6, величина коэффициента рудоносности возрастает сверху вниз по мере приближения к рудным горизонтам рязанского и верхневолжского ярусов. Так в разрезе отложений, вскрытых скважиной 10041 и расположенных над небольшим рудным телом с низкими содержаниями P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, его значения изменяются от 8 до 260, достигая 2600 в самом рудном теле. В разрезе отложений меньшей мощности, расположенных непосредственно над рудным телом с высокими концентрациями фосфора (скв. 1009), величина коэффици-



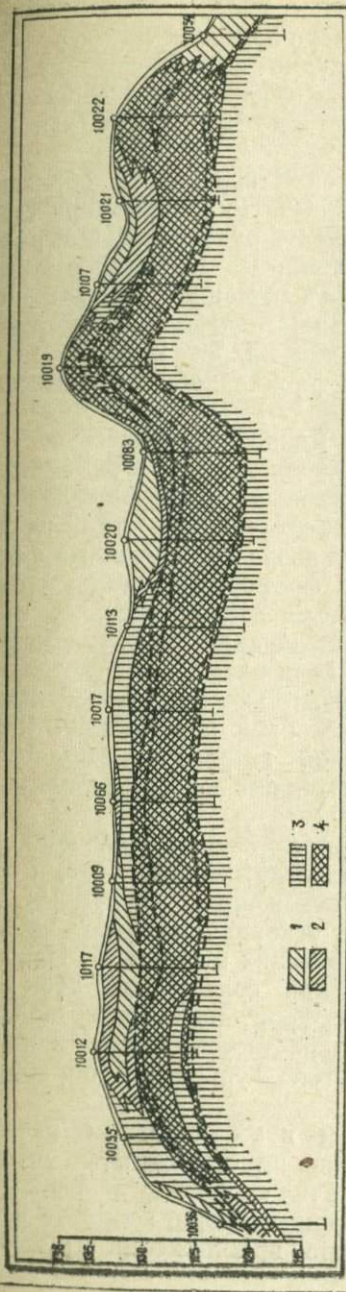
Фиг. 5. Значения коэффициента рудоносности в разрезе неоген-четвертичных отложений Центрального участка Егорьевского месторождения фосфоритов

Величины отнесений: 1 — до 1; 2 — 1—10; 3 — 10—100; 4 — 100—1000; 5 — более 1000. Против отдельных интервалов опробования даны значения коэффициента рудоносности в п.10-4.



Фиг. 6. Значения коэффициента рудоносности в разрезе отложений Но воселовского участка Егорьевского месторождения фосфоритов

Величины отношений: — 1 до 1; 2 — 10—100; 3 — 100—1000; 4 — 1000—100 000. Против отдельных интервалов опробования даны значения коэффициента рудоносности в п.10-4.



Фиг. 7. Значения коэффициента рудоносности в разрезе отложений Новоселовского участка. Разрез по линии III-III

Величины отношений (в п.10-4): 1 — 10—100; 2 — 100—1000; 3 — 1000—100 000; 4 — более 100 000.

ента у поверхности равна 50, а вблизи рудного тела составляет 2200. Аналогичная закономерность устанавливается в разрезах этих отложений по другим скважинам.

По простиранию неоген-четвертичных отложений, перекрывающих рудные тела, значение этого коэффициента возрастает по мере роста содержаний  $P_2O_5$  в рудном теле (скв. 10009, 10043). На продолжении рудных тел, после их выклинивания на расстоянии 300—500 м отмечается даже некоторое повышение значений этого коэффициента. Рудные тела всех трех фосфоритоносных горизонтов в целом характеризуются величинами этого коэффициента, превышающими на три порядка его значения, установленные для неоген-четвертичных образований. Несколько ниже они (на один-два порядка) для отложений сложенных глауконитовыми песками средне-волжского яруса, несущего лишь на отдельных участках промышленные концентрации  $P_2O_5$ .

Аналогичная картина наблюдается и в разрезе по линии III—III (фиг. 7). Здесь также отмечается сверху вниз увели-

чение содержаний элементов по мере приближения к рудным горизонтам. Наиболее четко это видно на примере скважин 10009, 10107, 10021, где значение коэффициента рудоносности возрастает от 20—60 у поверхности и до 100—200 вблизи рудных тел.

Однако по простиранию неоген-четвертичных образований, перекрывающих рудные горизонты, закономерности в распределении значений коэффициента рудоносности выражены не так четко, как в разрезе по линии II—II, что может быть обусловлено, с одной стороны, меньшей мощностью этих отложений, а с другой — направлением профиля, по которому описываемые изменения содержаний микроэлементов менее выдержаны и связаны с большей фациальной изменчивостью изученных отложений.

Такие образом, при изучении микроэлементного состава и распределения содержаний микроэлементов в отложениях Егорьевского месторождения установлено следующее.

1. Терригенные отложения платформенного типа юрского, мелового, неоген-четвертичного возраста, изученные в районе Егорьевского месторождения фосфоритов, характеризуются строго определенным микроэлементным составом и закономерным распределением концентраций этих элементов в различных стратиграфических горизонтах, что позволяет установить индикационные геохимические признаки каждого горизонта, отличающиеся значительным постоянством и выдержанностью в пределах изученной территории. Аналогичные закономерности устанавливаются при изучении отдельных гранулометрических фракций.

2. Стронций, бор, кобальт, хром в максимальных концентрациях встречаются в отложениях рудных горизонтов, а ниобий, цирконий, титан и медь — в отложениях безрудных горизонтов, что соответственно дает основание считать их элементами-индикаторами соответствующих отложений. Использование мультипликативных значений содержаний этих элементов в качестве показателей фосфоритоносности позволяет, с одной стороны, усилить контрастность индикационных свойств этих элементов, а с другой — упростить обработку фактического материала.

3. Микроэлементы-индикаторы в вертикальном разрезе отложений, а также по простиранию имеют зональное строение, образуя за пределами рудных тел «шлейфы» повышенных концентраций. Концентрации стронция, бора, кобальта и некоторых других элементов по мере приближения к рудному

телу с промышленными концентрациями фосфора возрастают, а ниобия, циркония, титана и т. д. снижаются. Наиболее широко и контрастно выявляются эти изменения содержаний и зонального расположения элементов при использовании мультипликативных показателей.

4. С использованием геохимического коэффициента, представляющего отношение значений мультипликативных показателей (рудных к безрудным) появляется возможность определить признаки наличия горизонтов фосфоритов на расстоянии до 1,0—1,5 км по простирацию и первых метров в вертикальном разрезе отложений, перекрывающих рудные горизонты.

Выявленные закономерности зонального распределения микроэлементов и изменение их концентраций как в фосфоритоносных, так и в безрудных отложениях могут быть рекомендованы в качестве геохимических критериев оруденения рассматриваемого типа и применены при поисковых и поисково-разведочных работах в районе Егорьевского месторождения фосфоритов.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Буренков Э. К., Шейнин И. С., Зорин А. М., Лебедева Л. А., Шубников Л. М.* Закономерности распределения микроэлементов в осадочных образованиях как критерий поисков осадочных месторождений. Сб. «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1973.

*Гиммельфарб Б. М.* Закономерности размещения месторождений фосфоритов СССР и их генетическая классификация. Изд-во «Недра», 1965.

*Хардер Г.* Геохимия бора. изд-во «Недра», 1965.

*Страхов Н. М.* Геохимия осадочных пород и руд. Изд-во «Наука», 1965.

**ОПЫТ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ  
СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В РАЙОНЕ  
ГРЕЙЗЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКЧАТАУ  
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)**

В настоящее время перспективы пополнения запасов минерального сырья в районах действующих горнорудных предприятий в значительной мере зависят от выявления глубокозалегающих скрытых рудных тел, недоступных для непосредственного обнаружения обычными визуальными методами. Их выявление во всех случаях требует применения комплекса глубинных методов поисков, среди которых весьма эффективными являются геохимические методы, и в частности, метод поисков по эндогенным (первичным) геохимическим ореолам.

Вопросы методики изучения первичных ореолов, а также общее теоретическое обоснование метода, подробно освещены в работах С. В. Григоряна и Е. М. Янишевского (1968), Л. Н. Овчинникова, С. В. Григоряна (1970) и других исследователей. В то же время приходится констатировать, что поиски по первичным ореолам к настоящему времени не получили необходимого производственного применения.

В многочисленных публикациях, освещающих результаты изучения первичных ореолов месторождений различного состава и генезиса, вопросы практической реализации широких возможностей этого метода в большинстве случаев не рассматриваются. Примеры использования первичных ореолов для обнаружения скрытого эндогенного оруденения немногочисленны.

Непременным условием дальнейшего совершенствования геохимических методов поисков эндогенного оруденения является их широкое внедрение в практику геологоразведочных работ.

В настоящей статье рассматривается один из примеров апробации в производственных условиях методики поисков редкометального оруденения в районе грейзенового месторождения Акчатау в Казахстане. Работы выполнены Центральной геохимической экспедицией ИМГРЭ.

Методическим обоснованием для проведения опытно-производственных работ послужили результаты изучения первичных ореолов редкометалльных месторождений различных генетических типов. При изучении грейзенных вольфрам-молибденовых месторождений, в частности, установлено следующее.

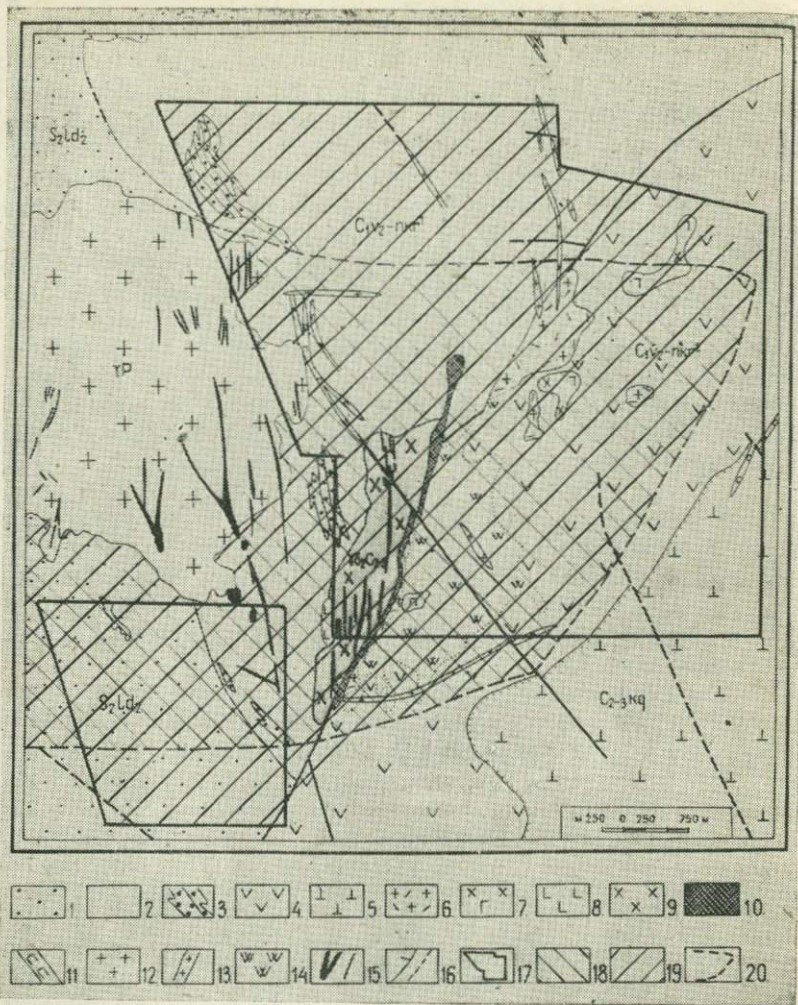
1. Рудные тела сопровождаются во вмещающих породах ореолами широкого круга рудообразующих и сопутствующих им химических элементов. К их числу в первую очередь следует отнести вольфрам, молибден, олово, висмут, бериллий, свинец, цинк, медь, фтор, щелочные металлы. Наиболее надежным признаком скрытых рудных тел являются геохимические аномалии сложного, комплексного, состава. Состав ожидаемого оруденения уверенно распознается также по количественным соотношениям и характеру корреляционных связей между элементами-индикаторами в первичных ореолах.

2. Первичные ореолы в принципе наследуют форму сопровождаемых ими рудных тел и значительно превосходят их по размерам. В частности, над крутопадающими рудными телами ореолы распространяются с сохранением комплексности состава на 150—200 м. При этом полного выклинивания ореолов по восстанию рудных зон во всех рассмотренных случаях не зафиксировано.

3. В строении первичных ореолов отчетливо проявлена вертикальная зональность, которая выражается в образовании в верхних частях разрезов над рудными телами зон относительного накопления группы халькофильных элементов (медь, свинец, иногда висмут). Область относительно повышенной концентрации вольфрама, бериллия, молибдена, олова, во фронтальной части которой располагаются фтор и литий, проявлена гипсометрически ниже уровня накопления халькофильных элементов (Клюев, 1972).

В соответствии с вертикальной зональностью в ореолах могут быть выделены группы «надрудных» и «подрудных» элементов-индикаторов, перечень которых для конкретных месторождений уточняется по результатам опытно-методических работ. Количественные показатели вертикальной зональности служат для определения уровня эрозионного среза ореолов относительно прогнозируемого оруденения.

К одной из главных задач, стоявших перед проведенными опытно-производственными работами, относилось выявление геохимических ореолов скрытого оруденения и, на их основе, — оценка перспектив рудоносности флангов месторождения.



Фиг. 1. Карта размещения геохимических ореолов в восточной части рудного поля месторождения Акчатау на схематической геологической основе  
 1 — песчаники верхнего силура; 2 — песчаники нижнего карбона (каркарелинская свита) с прослоями мелкогалечных конгломератов (3); 4 — андезит-дацитовые порфиры и их туфы; 5 — кварцевые плагипорфиры; 6 — фельзиты, кварцевые порфиры и их туфы; 7 — гранит-порфиры; 8 — диориты; 9 — адамеллиты Юго-восточного массива; 10 — дайки гранодиорит-порфиров; 11 — диоритовые порфиры; 12 — граниты Главного массива; 13 — дайки гранит-порфиров; 14 — вторичные кварциты; 15 — рудные проявления первичных ореолов фтора, лития, бериллия; 16 — линия тектонических нарушений, установленные и предполагаемые; 17 — площадь геохимических работ; 18 — площадь проявления первичных ореолов фтора, лития, бериллия; 19 — площадь развития ореолов вольфрама, олова, висмута; 20 — предполагаемая кольцевая зона тектонических нарушений

Площадь рудного поля Акчатау сложена разнообразными по составу и происхождению осадочно-метаморфическими и вулканогенными образованиями, датируемыми как верхнесилурийские и карбоновые (фиг. 1).

Положение рудного поля в региональных структурах определяется участком сопряжения Шетского антиклинория с Токрауским и Аксоран-Акджальским, сопровождаемого образованием сложных пликативных структур и разрывных нарушений и формированием гранитных массивов топарского (средне-верхнекарбонового) и акчатауского (пермского) интрузивных комплексов.

По данным В. Е. Бочарова (1966), наиболее широко в районе представлены отложения песчано-сланцевой толщи лудловского яруса. Ими сложено около 50% площади рудного поля, преимущественно его западная часть. В северной и восточной частях рудного поля развиты каркаралинская, калмакэмельская и керчетаская свиты верхов нижнего и среднего—верхнего карбона (фиг. 2).

Породы каркаралинской свиты в нижней части разреза представлены кварцитовидными песчаниками, алевролитами и углистыми сланцами, выше сменяющимися эффузивно-пирокластическими образованиями (кварцевые порфиры и их туфы). Общая мощность свиты достигает 1000—1200 м. Отложения каркаралинской свиты несогласно перекрываются толщей андезитовых и дацитовых роговообманковых порфиритов и их туфов (калмакэмельская свита) мощностью 100—120 м, выше которых по разрезу получили развитие пирокластические образования кислых лав — кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, альбитофиры и их туфы в покровном и субвулканическом залегании, мощностью до 100—150 м (керчетаская свита).

К участкам развития субвулканических пород кислого состава тяготеют вторичные кварциты, образование которых связывается с вулканической деятельностью в среднем—верхнем карбоне.

К интрузивным образованиям топарского комплекса на площади рудного поля отнесены небольшой, линейно вытянутый в меридиональном направлении массив адамеллитов (юго-восточный массив) и серия жильных пород, представленных дайками гранодиорит-порфиров и граносиенит-порфиров. Граниты акчатауского интрузивного комплекса, с которыми генетически связано месторождение Акчатау, слагают Главный гранитный массив сложного внутреннего строения; он рассмат-



ривается как многофазный, состоящий из трех последовательно внедрившихся интрузий. К жильным дериватам их относятся дайки аплитов, гранит-порфиров и мелкие пегматитовые тела.

Контактовый метаморфизм в связи с интрузией рудоносных гранитов проявился широким площадным ороговикованием терригенных образований силура и карбона. Ширина ореола роговиков вдоль пологих контактов интрузии достигает 5 км и более.

Рудные тела на месторождении, приуроченные к системам субмеридиональных трещин, представлены крутопадающими жильобразными зонами грейзенов и кварцевыми жилами. Мощность отдельных рудных тел в зонах колеблется от долей метра до 20—30 м, длина — от нескольких десятков метров до 350—400 м.

Руды месторождения в большинстве случаев характеризуются сложным минеральным составом. Кроме резко преобладающего кварца, значительным распространением пользуются мусковит, флюорит, топаз. Из рудных минералов в грейзенах и кварцевых жилах широко распространены пирит, вольфрамит, молибденит и другие; мало распространены висмутин, сфалерит, халькопирит, шеелит. Редкими и весьма редкими являются халькозин, галенит, арсенопирит, золото.

Формирование основной части рудных тел с вольфрамовой и молибденовой минерализацией связано с пневматолитово-гидротермальным этапом рудного процесса. В гидротермальный этап образовались кварцевые и кварцево-карбонатные жилы, с галенитом, пиритом, блеклой рудой и в незначительной степени молибденитом.

Наибольшее практическое значение на месторождении имеют мощные рудные тела грейзенов и сопряженные с ними кварцевые жилы, локализованные в эндоконтактах гранитоидных массивов (граниты, адамеллиты). В породах кровли массивов на продолжении грейзеновых тел обычно наблюдаются надинтрузивные штокверковые трещинные зоны, не несущие, как правило, концентрированного оруденения. Общая вертикальная амплитуда развития грейзеновых тел вглубь эндоконтакта массива в отдельных случаях превышает 350—400 м, при этом полного их выклинивания по падению нигде не установлено.

С момента открытия месторождения (1938 г.) в его районе практически непрерывно ведутся геологопоисковые работы (геологическая съемка, поиски, металлометрическая съемка

масштаба 1 : 10 000, геофизические работы), которые, однако, не дали существенных результатов. В процессе длительной эксплуатации основные рудные тела месторождения в значительной мере отработаны, и в настоящее время весьма актуальной является проблема увеличения реальных запасов руд как на основе переоценки известных грейзеновых тел, так и за счет обнаружения новых рудных зон в районе месторождения.

Учитывая охарактеризованные особенности размещения рудных тел на месторождении, в частности, их четкую приуроченность к выходам Главного и Юго-восточного массивов и отсутствие промышленного оруденения во вмещающих породах, вполне обоснованной представляется организация поисков новых рудных тел в эндоконтакте нескрытого гранитного массива, под экраном малопроницаемых пород кровли. Оценка перспектив рудного поля в отношении скрытого экранированного оруденения в принципе связана с изучением площади, находящейся в зоне активного воздействия продуктивной интрузии гранитов и равной ей по размерам. Особого интереса для поисков заслуживают площади развития палеозойских пород над пологими контактами интрузии.

Общие размеры в плане интрузии акчатауских гранитов по геофизическим данным (Бочаров и др., 1966) превышают 200 км<sup>2</sup>, причем из этой площади на долю обнаженной части массива приходится лишь 16 км<sup>2</sup>, а остальная его часть погружена под вмещающие палеозойские породы (Бочаров, Розенблат, Толманов, 1968). Установлены крутые контакты массива в северном и западном направлениях. На восток и юго-восток кровля интрузии погружается под вмещающие породы очень полого, что подтверждено скважинами, пробуренными в 4 км к востоку от обнаженной части массива. Глубина залегания гранитов здесь не превышает 300 м. Анализ гравитационного поля указывает, что в восточном направлении погружение массива под углом 3° фиксируется на расстоянии до 8 км, далее контакт массива резко, под углом 80° уходит на глубину до 3 км.

Таким образом, по геологическим признакам наиболее благоприятной для поисков скрытого оруденения является часть рудного поля месторождения, расположенная в зоне пологого погружения массива рудоносных гранитов. Размеры ее площади составляют около 70 км<sup>2</sup>. В пределах этой площади геохимические поисковые работы проведены на участке размером около 40 км<sup>2</sup>, окаймляющем выход гранитного массива с востока на юго-восток, т. е. в зоне непосредственного

экзоконтакта интрузии, которая является наиболее перспективной. Глубина залегания гранитов здесь минимальная для всей надинтрузивной части рудного поля и не превышает, по-видимому, 250—300 м. Основная площадь участка сложена ороговикованными осадочными породами силура и карбона, эффузивно-пирокластическими образованиями нижнего карбона и развитыми по ним вторичными кварцитами. В пределах обследованной площади расположен массив рудовмещающих адамеллитов.

Основным видом полевых работ, обеспечивающим сбор фактического материала, являлось геохимическое опробование, проводимое по широтно ориентированным профилям (вкрест преобладающего простирания рудоносных зон месторождения). Опробованию подвергались коренные породы в естественных обнажениях. При наличии маломощного (до 0,3—0,4 м) чехла элювиально-делювиальных отложений, последние в пунктах пробоотбора вскрывались копушами.

Принятая сеть опробования в общем случае соответствовала масштабу 1:25000 (250×40—50 м). Более детально опробовались участки с эпигенетическими изменениями пород, зоны мелкой трещиноватости, ожелезнения и т. п. Шаг опробования в этих случаях устанавливался, исходя из необходимости отбора двух-трех проб с интервала, подлежащего более детальному опробованию.

Пробы в каждом пункте отбирались точечные, по способу «конверта», при котором каждая проба состоит из нескольких однотипных обломков пород, отбираемых по углам и в центре квадрата с ограниченной площади (1—2 м<sup>2</sup>). Общий вес пробы составляет 150—200 г. После их обработки пробы подвергались приближенно-количественному спектральному анализу.

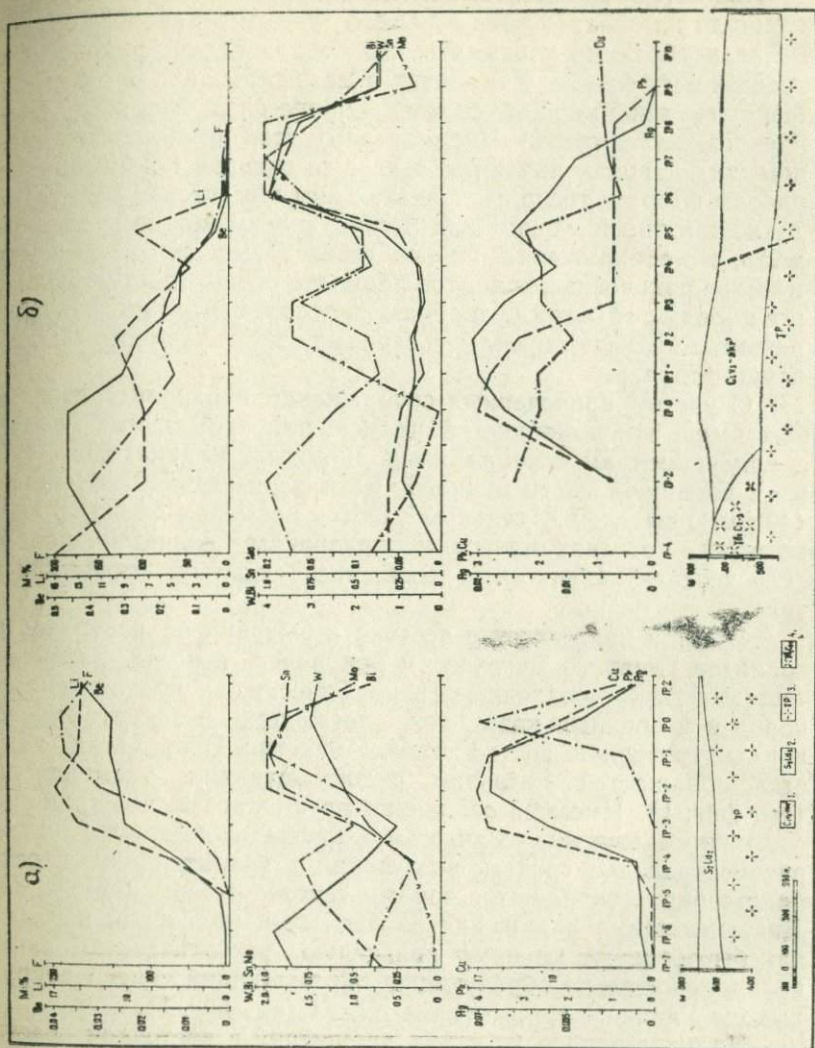
В результате работ на обследованной площади были выявлены широкие поля аномальных концентраций типоморфных элементов-индикаторов редкометального оруденения. Наиболее значительные по размерам и интенсивности аномалии образуют вольфрам, висмут, бериллий, олово, молибден, свинец, цинк, медь, фтор и литий. Аномалии перечисленных элементов распределены на площади неравномерно. Эта неравномерность в самом общем виде выражается в образовании полей различных ассоциаций элементов-индикаторов, которые наиболее отчетливо выявляются при анализе размещения выявленных ореолов в плане относительно выходов Главного и Юго-восточного массивов.

Прежде всего устанавливаются относительно ограниченные размеры ореолов фтора, лития и бериллия, которые распространяются в стороны от южного и северного контактов интрузий соответственно только на 1,5 и 2,6 км. Далее во внешних зонах экзоконтакта состав ореолов существенно обедняется и представлен главным образом вольфрамом, висмутом и оловом. Отмеченная закономерность в общем виде повторяется как в южном, так и в северном экзоконтактах интрузии (фиг. 3). Количественно она может быть выражена характером изменения величин линейных продуктивностей ореолов указанных элементов, вычисленных по профилям на различном удалении от выходов гранитной интрузии.

Наиболее устойчиво по мере удаления от контакта гранитного массива ведут себя фтор, литий и бериллий (см. фиг. 3). Линейные продуктивности их ореолов закономерно убывают до полного выклинивания. Более сложное распределение отмечается для аномальных концентраций вольфрама, висмута, олова, молибдена, особенно первых трех элементов. С удалением от контактов гранитов величины продуктивностей их ореолов убывают подобно величинам продуктивностей ореолов фтора, лития и бериллия. За пределами развития ореолов последних продуктивность ореолов вольфрама, олова и висмута вновь резко возрастает. После достижения максимумов происходит уменьшение продуктивностей до минимальных значений на флангах аномальных зон.

Весьма неопределенно распределены аномальные концентрации свинца, серебра и меди. По характеру изменения величин их продуктивностей установлено, что участки максимального накопления этих элементов в ореолах по отношению к максимумам по фтору, литию и бериллию несколько смещены к флангам аномальных зон.

Приведенные выше особенности распределения аномальных концентраций элементов-индикаторов на обследованной площади и отмеченный характер взаимоотношения ореолов отдельных элементов, в частности, между бериллием, литием и фтором с вольфрамом, висмутом и оловом, не находят в настоящее время достаточно полного объяснения, в связи с чем мы можем лишь констатировать факт резкого нарушения горизонтальной зональности в строении общего ореола месторождения. Нарушение зональности предполагается на участках, ограничивающих развитие ореолов фтора, лития и бериллия, за пределами распространения которых в ореоле отмечено резкое усиление роли вольфрама, олова и висмута (см. фиг. 3).



Фиг. 3. Графики изменения величин линейных продуктивностей ореола (м, %) на продольных разрезах через ореольные зоны в зонах южного (а) и северного (б) экзоконтактных интрузий

1 — песчаники нижнего карбона; 2 — песчаники верхнего силура; 3 — граниты Главного массива; 4 — адалеллиты Юго-восточного массива.

При оценке перспектив отдельных участков обследованной площади на обнаружение скрытого редкометального оруденения необходимо учитывать, что образование рудоносных грейзеновых фаций в гранитах и масштабы их проявления в значительной мере обусловлены процессами фтористо-кремниевое метасоматоза. Индикаторами этих процессов во вмещающих породах являются в первую очередь геохимические ореолы фтора и тесно связанные с ним химические элементы, такие как литий и бериллий. В связи с этим можно предположить, что обнаружение новых грейзеновых тел в скрытом массиве рудоносных гранитов наиболее вероятно на участках, где наряду с группой рудообразующих элементов интенсивное развитие получили ореолы указанных трех элементов и особенно фтора.

С учетом приведенных соображений и охарактеризованных выше закономерностей размещения аномальных полей с присущими им ассоциациями элементов-индикаторов нами в восточной части рудного поля на изученной площади (40 км<sup>2</sup>), выделен локальный участок размером около 18 км<sup>2</sup>, который по геохимическим признакам является наиболее перспективным на выявление скрытых грейзеновых тел.

Участок примыкает с востока к выходу на поверхности гранитов Главного массива и приурочен к полю развития палеозойских осадочно-метаморфических, вулканогенных пород и вторичных кварцитов, слагающих экзоконтактовую и надинтрузивную зоны Главного массива. В пределах участка обнажается интрузия рудовмещающих адаметелитов (см. фиг. 1). Имеются основания предполагать, что границы указанного локального участка, определяющие на глубине распространение грейзеновых фаций в гранитоидах, пространственно совпадают с зонами тектонических нарушений. Дизъюнктивные нарушения различных направлений в плане как бы образуют крупную кольцевую тектоническую зону, предположительно образующую обрамляющий контур вокруг выхода Главного гранитного массива (см. фиг. 1).

Наличие одного из таких нарушений в восточной части изученной площади предполагается в области контакта разновозрастных вулканогенных пород калмакэмельской и керчетасской свит, где оно сопряжено с дайками гранит-порфиров северо-восточного простирания. С указанным нарушением в зоне южного экзоконтакта интрузии, очевидно, сочленяется разлом субширотного простирания, являющийся

южной границей распространения ореолов фтора, лития и бериллия.

Вдоль северного контакта Главного массива также предполагается тектоническое нарушение, которое протягивается в песчаниках нижнего карбона в субширотном направлении параллельно дайке гранит-порфиров. Это нарушение тоже ограничивает область развития комплексных ореолов, включающих аномальные поля фтора, бериллия и лития; к северу от него распространены ореолы преимущественно вольфрама, олова и висмута.

Таким образом, геохимические работы, проведенные в восточной части рудного поля, позволяют на данной стадии изученности существенно локализовать площадь, перспективную на поиски редкометалльного оруденения, ограничив ее размерами тектонического блока, заключенного в кольцевой зоне предполагаемых разрывных нарушений.

При дальнейшей локализации по первичным ореолам перспективных участков, отвечающих конкретным рудоконтролирующим структурам, в пределах указанного тектонического блока, в его центральной части, была выделена широкая (1,5—2 км) протяженная (свыше 4 км) полоса палеозойских пород, в контуре которой контрастно выделяются более локальные зоны с ореолами поликомпонентного состава. Отличительными особенностями морфологии этих зон являются меридиональная ориентировка, прямолинейность, значительная протяженность по простиранию и кулисообразное расположение, что полностью отвечает общему структурному плану размещения известных рудных зон месторождения.

Показателем рудогенной природы выявленных геохимических аномалий служат гидротермальные изменения вмещающих пород, часто наблюдаемые в аномальных зонах наиболее широкого комплексного состава. В поле развития песчаников каркаралинской свиты эти изменения выражены в сплошном слабом окварцевании. Из более локальных изменений пород наиболее характерны эпидотизация и хлоритизация, развитые преимущественно вдоль систем крутопадающих трещин.

При развитии ореолов во вторичных кварцитах, последние в зонах максимальных концентраций элементов-индикаторов интенсивно обохрены, пиритизированы и рассечены сетью трещин, выполненных гидроокислами железа и мало-мощными прожилками слюдяно-кварцевого состава. Преоб-

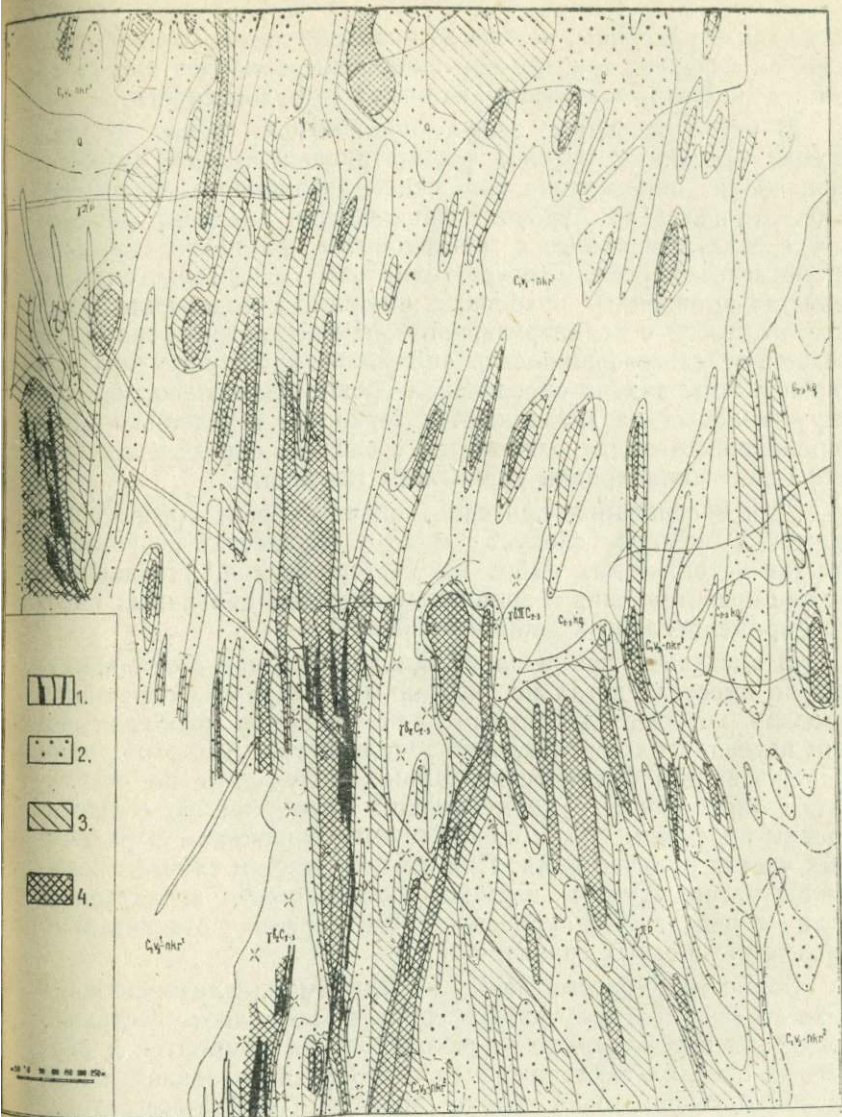
ладающая ориентировка прожилков и зон трещиноватости близка к меридиональной.

Гидротермальные изменения вулканогенных образований в контурах комплексных ореолов обычно выражаются в общем осветлении, серицитизации и окварцевании. Окварцевание фиксируется преимущественным развитием в породах сет меридиональных прожилков кварцевого и слюдяно-кварцевого состава.

Следует сразу же подчеркнуть, что сами по себе отмеченные гидротермальные изменения, проявленные во вмещающих породах, не могут рассматриваться при оценке перспектив рудоносности конкретных участков в качестве руководящего поискового признака. В условиях рудного поля Акчатау повсеместно наблюдаются участки гидротермально-измененных пород, не отмеченные полями аномальных концентраций элементов-индикаторов. Проверка подобных образований буровыми скважинами в лучшем случае устанавливает наличие в контурах измененных пород рассеянной рудной минерализации. В связи с этим надежными прямыми признаками рудоносности следует считать первичные геохимические ореолы комплексного состава, в пределах которых, кстати, гидротермальные изменения пород визуально могут и не наблюдаться.

Морфологические особенности выявленных эндогенных ореолов наглядно иллюстрируются приведенной на фиг. 4 обобщенной схемой, характеризующей распределение аномальных мультипликативных концентраций вольфрама, висмута, олова и бериллия. Мультипликативные ореолы указанных рудообразующих элементов своими осевыми частями, очевидно, фиксируют положение в плане глубинных структур, контролирующих размещение оруденения в эндо-контакте вскрытой интрузии под породами кровли.

Значительная протяженность обнаруженных зон ореолов комплексного состава позволяет ожидать продолжения фиксируемых ими рудоконтролирующих структур на большую глубину. Основные перспективы выявления предполагаемого оруденения на глубине связаны с изучением ореолов в прикровельной части нескрытого гранитного массива. В связи с этим было рекомендовано бурение наклонных буровых скважин с расчетом пересечения ими на глубине зон развития комплексных ореолов с вероятным оруденением, локализованным в пределах гранитного массива. Места заложения



Фиг. 4. Карта мультипликативных ореолов вольфрама, висмута, бериллия, олова

1 — рудные кварцево-гранитные тела и жилы; 2, 3, 4 — поля мультиплицированных содержаний вольфрама, висмута, бериллия, олова ( $W \times V \times Be \times Sn$ ) в условных единицах ( $n^{10-16}$ ), 2—150—1500 единиц, 3—15000 усл. единиц, 4—более 15000 условных единиц

скважин определены, исходя из необходимости оценки ореолов на участках зон, где они проявлены наиболее высокими концентрациями элементов-индикаторов рудоносности.

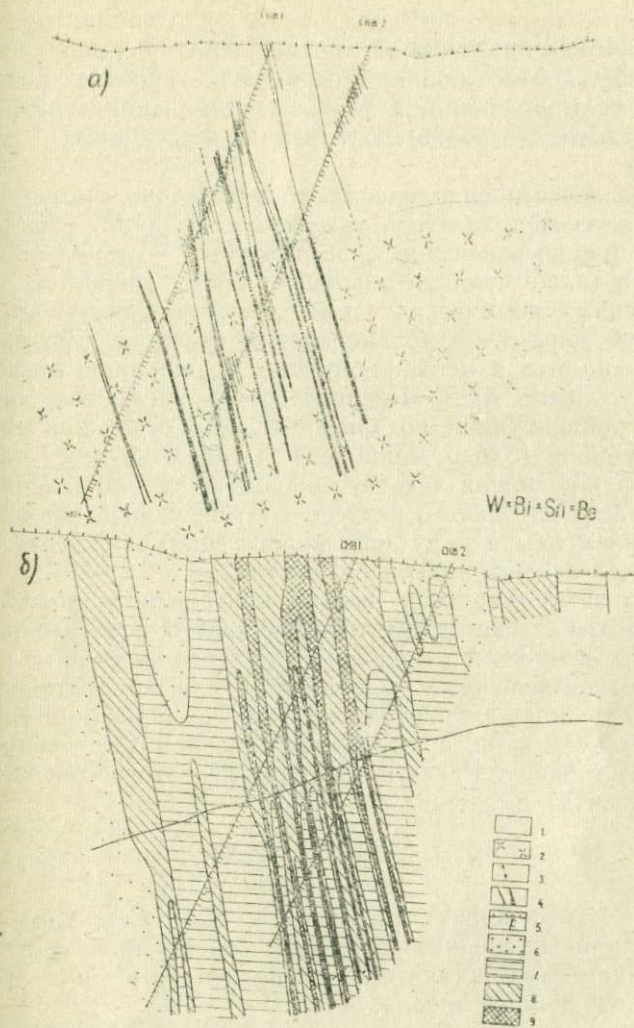
В число основных задач, подлежащих решению при оценке первичных ореолов рассматриваемого типа оруденения, входит определение положения эрозионного среза ореолов относительно уровня локализации редкометального оруденения, связанного с грейзеновыми фациями скрытого гранитного массива. Следует отметить, что геологическая позиция выявленных ореолов, а именно, их положение в экзоконтактовой и надинтрузивной зонах рудоносных гранитов, позволяет классифицировать аномалии как надрудные. В связи с этим задача определения уровня среза ореолов, обнаруживаемых на эрозионной поверхности в условиях месторождения Акчатау, сочетается с задачей определения глубины залегания кровли гранитного массива.

Для обоснования критериев оценки уровня среза геохимических ореолов следует вкратце привести результаты опытно-методических работ на месторождении, уточняющие общие представления о зональном строении первичных ореолов применительно к данному району.

В настоящее время по рудоносным зонам месторождения не имеется детально изученных разрезов первичных ореолов, которые удовлетворяли бы условиям, необходимым при изучении их вертикальной зональности. Для этой цели использовались фактические данные, полученные по результатам опробования рудовмещающих пород как по геохимическим профилям, так и по единичным скважинам в различных частях рудного поля. При этом в каждом случае параметры распределения элементов-индикаторов характеризовали определенный уровень среза ореола относительно кровли рудоносных гранитов.

Совместное рассмотрение на едином идеализированном разрезе (фиг. 5) полученных данных позволяет составить представление о характере распределения элементов в первичных ореолах месторождения в его надинтрузивной части, до 300 м выше уровня кровли гранитов. Прежде всего установлено, что распределение элементов-индикаторов по вертикальному разрезу ореола отвечает следующему зональному ряду (снизу вверх): Sn, Be, Mo, Bi, W, Li, Cu, Zn, Pb, Bi<sub>2</sub>.

Положение в ряду зональности каждого элемента-индикатора определяет уровень его максимального накопления



Фиг. 5. Геологический разрез (а) и мультипликативные ореолы вольфрама, висмута, олова, бериллия (б)

1—песчаники нижнего карбона; 2—адамеллиты; 3—дайки гранитпорфиров; 4—грей зеновые и кварцевые жилы; 5—интервалы геохимического опробования на поверхности и по скважинам; 6—9—поля мультиплицированных содержаний вольфрама, висмута, олова, бериллия ( $W \times Bi \times Sn \times Be$ ) в условных единицах (п.10-16). 6—150—1500, 7—150—15000, 8—15000—150000, 9 — более 150000.

относительно прочих компонентов ряда. Полученный статистическим путем ряд зональности для надпротрузивной части разреза в принципе не противоречит обобщенной схеме вертикальной зональности первичных ореолов редкометальных месторождений, а также вертикальной внутрирудной зональности редкометальных штокверковых месторождений.

Зональное строение ореола количественно может быть выражено через показатели изменения величин среднеаномальных (средневзвешенных) содержаний элементов-индикаторов, а также величин линейных продуктивностей ореолов отдельных химических элементов на различных уровнях рудоносной зоны относительно кровли гранитов. В частности, при анализе изменения средних содержаний элементов по разрезу может быть выделена группа элементов, интенсивность концентрации которых особенно отчетливо возрастает с глубиной (олово, молибден), а также группа элементов, обнаруживающая четкую тенденцию к накоплению в верхней части изученного разреза (литий, свинец, висмут).

Эти элементы в ряду зональности занимают места соответственно в левой и правой его частях.

Такая закономерность весьма контрастно проявляется в виде геохимического мультипликативного показателя, выраженного величиной отношений мультипликативных значений средневзвешенных содержаний (или продуктивности) группы надрудных элементов к таким же значениям группы подрудных элементов, а именно, лития, висмута, свинца к олову и молибдену. Расчетная формула этого показателя (коэффициента) имеет вид

$$K_3 = \frac{C_{Li} \times C_{Pb} \times C_{Bi}}{C_{Mo} \times C_{Sn}^2},$$

где  $K_3$  — коэффициент зональности;  $C_{Bi}$ ,  $C_{Li}$ ,  $C_{Pb}$ ,  $C_{Mo}$ ,  $C_{Sn}$  — величины средневзвешенных содержаний соответствующих элементов-индикаторов, определенные на уровне вскрытия первичного ореола.

Этот коэффициент зональности с успехом может использоваться в условиях Акчатауского рудного поля для оценки перспектив рудоносности его флангов, а также для корректирования направления буровых поисковых работ.

Для проверки и изучения на глубину одного из комплексных ореолов, выявленных при геохимических работах, получившего положительную оценку и рекомендованного для

вскрытия ожидаемых рудных тел, была пробурена наклонная поисковая скважина (фиг. 6, скв. 1). С учетом коэффициента зональности, вычисленного по результатам геохимического опробования на поверхности в профиле этой скважины, глубина залегания гранитного массива оценивалась в 200 м. Фактически граниты вскрыты скважиной на глубине 220 м от поверхности.

Высота уровня над кровлей гранитного массива, м	300	200	150	100	50	0
Величина коэффициента зональности	783,5	120,9	97,1	40,6	11,2	1,8

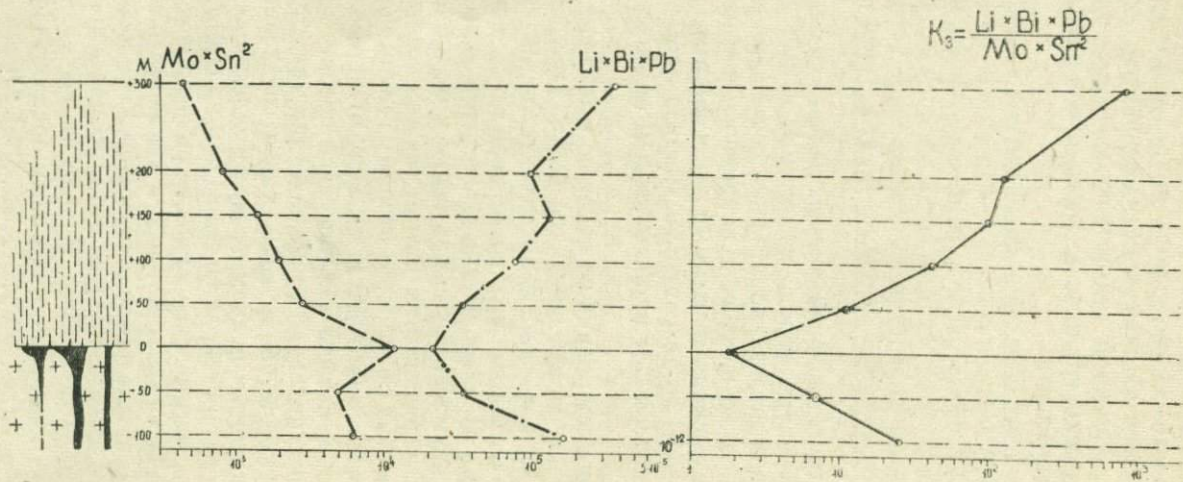
Во вмещающих ороговикованных песчаниках среди гидротермально измененных пород на интервале 150—190 м скважиной пересечена штокверковая зона, состоящая из крутопадающих прожилков существенно кварцевого состава, в отдельных случаях содержащих видимый вольфрамит. В контуре штокверковой зоны по результатам анализа проб выделен десятиметровый интервал с промышленным содержанием вольфрама.

С целью прослеживания по падению выявленного рудного тела, в «затылок» первой скважине была пробурена скважина 2 (см. фиг. 5), которая в эндоконтакте гранитного массива пересекла серию сближенных грейзеновых тел, сопровождаемых кварцевыми жилами. Рудные тела этой зоны минерализованы преимущественно вольфрамитом и молибденитом.

Аналогичные результаты были также получены в ходе проверки первичных ореолов по второму геохимическому профилю, расположенному в 600 м к северу от профиля скважин 1, 2 в контуре общей зоны комплексного ореола.

В результате проверки этой аномалии на глубину перспективной структуры обнаружена новая грейзеновая рудная зона с промышленным редкометальным оруденением. Эта зона прослежена по простираанию более чем на 800 м.

Детальное геохимическое изучение разреза по результатам опробования керна скважин 1 и 2, а также на поверхности в профиле этих скважин позволило обнаружить некоторые особенности морфологии и внутреннего строения первичного ореола выявленной рудной зоны. В виде иллюстрации этого на фиг. 5 изображен мультипликативный ореол вольфрама, олова, висмута и бериллия ( $W \times Bi \times Sn \times Be$ ). Ореол отстроен по



Фиг. 6. Графики изменения величин мультипликативных показателей зональности

градациям мультипликативных значений содержаний равных  $1,5 \times 10^2$ ,  $1,5 \times 10^3$ ,  $1,5 \times 10^4$ ,  $1,5 \times 10^5$  условных единиц (условная единица соответствует величине  $1 \times 10^{-10}$ ). Поля максимальных концентраций в ореоле расположены в контуре, ограниченном изолинией  $1,5 \times 10^4$  условных единиц. Первичный ореол, ограниченный этим контуром в форме сплошной широкой (160—180 м) полосы, прослеживается в палеозойских вмещающих породах непрерывно от поверхности до кровли массива адамеллитов согласно с залеганием рудоносной зоны. При переходе в зону эндоконтакта широкий, консолидированный ореол распадается на серию узких полос, каждая из которых окаймляет конкретные грейзеновые тела рудной зоны. Отдельные зоны максимальных концентраций в ореоле разделены участками пониженной интенсивности ( $1,5 \times 10^3$  —  $1,5 \times 10^4$  условных единиц).

Суммарная продуктивность оруденения по рудным телам, вскрываемым по разрезу, выраженная в тех же условных единицах, превышает величину  $1,5 \times 10^5$ . Важно отметить, что положение прогнозируемых рудных тел в разрезе ореола отчетливо устанавливается на поверхности в 200 м над экраном из ороговикованных песчаников по максимумам интенсивности первичного ореола, отвечающим указанному значению. Зоны максимумов отчетливо трассируют через весь разрез структуры, контролируя положение конкретных рудных жил в границах.

Рассмотренный пример использования первичных геохимических ореолов при поисках скрытого редкометального оруденения указывает на высокую эффективность метода поисков по первичным ореолам, позволяющим прогнозировать грейзеновые рудные тела на глубинах, превышающих 200 м. Выше были рассмотрены результаты проверки буровыми скважинами только одной аномальной зоны. Однако, помимо этой зоны, только в пределах изученной части рудного поля к настоящему времени выявлена серия других перспективных участков, в связи с чем потенциальные возможности расширения общих масштабов месторождения за счет выявления новых «слепых» зон рудоносных грейзенов должны оцениваться положительно.

При организации поисков в рудных полях редкометальных месторождений, характеризующихся аналогичными с месторождением Акчатау геолого-структурными условиями локализации оруденения, целесообразно в полной мере учитывать положительный опыт использования первичных геохимичес-

ких ореолов при поисках редкометального оруденения в районе Акчатауского месторождения.

Высокая разрешающая способность метода поисков по первичным ореолам выявляется, как было показано выше, при решении ряда геологических задач, возникающих при прогнозировании скрытого оруденения. В частности, на основе выявления аномальных полей типоморфных ассоциаций элементов-индикаторов на площадях, границы которых в общем случае совпадают в плане с глубинными контурами рудопосных интрузий, производится обоснованное выделение локальных участков в рудном поле перспективных, на обнаружение скрытого редкометального оруденения. Последующие более детальные поиски на выделенных перспективных участках рудного поля имеют целью выявление конкретных рудоконтролирующих структур, индикаторами которых во вмещающих породах служат локальные зоны комплексных ореолов.

Практика работ в районе месторождения Акчатау показывает, что указанные задачи могут быть решены совместно в процессе геохимических поисков по первичным ореолам, проводимых в масштабе 1 : 25000. Регламентируемая при этом плотность сети опробования (250×40—50 м) обеспечивает получение геохимической информации, необходимой как для уточнения границ перспективных блэков пород, так и для выявления в их пределах локальных зон комплексных ореолов.

В заключение следует указать, что изложенные выше критерии оценки геохимических аномалий, выявляемых в породах кровли интрузий, не могут быть использованы при геохимических работах, проводимых на площадях эродированных массивов рудоносных интрузий. В связи с этим приведенный ряд зональности, характеризующий распределение элементов в надинтрузивной части разреза, необходимо дополнить данными, полученными при изучении зональности во внутриинтрузивном ярусе месторождения. Полный сводный ряд зональности имеет следующий вид (снизу вверх):  $W_1, Mo_1, Li_1, Be_1, Pb_1, Bi_1, Sn_1, Zn_1, Cu_1, Sn_2, Mo_2, Bi_2, W_2, Li_2, Cu_2, Zr_2, Pb_2, Bi_3$ .

В приведенном сводном ряду нашло отражение дублирование максимумов накопления всех компонентов ряда, который как бы составлен из двух самостоятельных рядов, отражающих особенности распределения элементов в ореоле в интрузивном и надинтрузивном структурном ярусах. Особенности вертикальной зональности первичного ореола особенно наглядно выявляются при раздельном рассмотрении рудообразующих и сопутствующих им элементов (W, Bi, Sn, Be, Mo,

Li) и элементов халькофильной группы (Pb, Zn, Cu, Bi). В этом случае ряд зональности будет выглядеть следующим образом (снизу вверх):

W, Mo, Li, Be, Sn, Sn<sub>2</sub>, Be<sub>2</sub>, Mo<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>, W<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>  
Pb, Bi Zn, Cu Cu<sub>112</sub>, Zn<sub>2</sub>, Pb<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>.

Разделение комплекса элементов-индикаторов на две группы произведено по результатам многофакторного корреляционного анализа. При указанном подходе отчетливо выявляется симметричная относительно кровли гранитного массива зональность в рамках каждой группы элементов.

В изменении величин показателя зональности (см. фиг. 6) получила количественное выражение та же симметричная зональность, охарактеризованная приведенным рядом.

Использование коэффициента зональности для определения положения эрозионного среза ореола относительно кровли рудоносной интрузии при проведении исследований в поле развития гранитоидных массивов в принципе позволяет решать обратную задачу, а именно определение глубины эрозионного среза рудовмещающих массивов. Тем самым решается вопрос об относительной сохранности продуктивных грейзеновых образований, локализованных в непосредственном эндоконтакте интрузий. Первый опыт подобной оценки с использованием коэффициента зональности позволяет предположить относительно неглубокий эрозионный срез Юго-восточного массива адамеллитов, который, по нашим данным, не превышает 20—25 м.

## ЛИТЕРАТУРА

Бочаров В. Е. Новые данные по геологии района месторождения Акчатау в Центральном Казахстане. В сб. «Геология, геохимия и минералогия редких элементов». Алма-Ата, 1966.

Бочаров В. Е., Розенблат И. М., Толманов В. И. О морфологии и генезисе акчатавского интрузивного массива. В сб. «Геология, геохимия и минералогия редких элементов». Алма-Ата, 1968.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.

Клюев О. С. Вертикальная зональность первичных геохимических ореолов бериллиевых месторождений и ее практическое значение. В сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений». М, 1972.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений». Иркутск, 1970.

Щерба Г. Н. Формирование редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата, 1960.

## ОПЫТ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКРЫТОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ГАЙСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Геологическое строение Гайского рудного района и условия локализации колчеданного оруденения в его пределах рассмотрены в работах В. И. Скрипиля и др. (1962), М. Б. Бородаевской и др. (1973) и многих других. Общая закономерность локализации оруденения в районе проявляется в приуроченности его к вулканическим постройкам андезит-дацит-липаритового состава, размещение которых контролируется разломами субмеридионального и северо-западного простирания. Кроме Гайского месторождения, являющегося основной рудной базой Гайского горнообогатительного комбината, здесь известны пока лишь мелкие рудопроявления (Орское, Новочеркасское, Вишневское). Геологическая изученность района и опосредованность его таковы, что исключают возможность пропуска месторождений и рудопроявлений, выходящих на эрозионную поверхность коренных пород. Однако скрытое залегание большинства рудных тел Гайского месторождения, их значительная (более 1500 м) протяженность на глубину и наличие ряда вулканических построек, по структуре близких Гайской, дают основание для прогнозирования скрытых рудных залежей и месторождений и стимулируют необходимость проведения в районе глубинных поисков.

В основу прогнозно-металлогенических построений, определяющих направление этих глубинных поисков, обычно клались данные детального геологического картирования вулканогенных комплексов, их формационного и фациального анализа и данные геофизических работ, тогда как геохимическая информация в этих построениях до последнего времени использовалась слабо. Это объяснялось недостаточ-

ной разработанностью геохимических критериев поисков скрытого колчеданного оруденения.

В результате многолетних (1963—1971 гг.) опытно-методических работ по изучению эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая и Кавказа была установлена общность основных особенностей их состава и строения (Овчинников, Баранов, 1970; Баранов, 1971). Это привело к выводу о возможности методически единого подхода к геохимическим поискам скрытого колчеданного оруденения в различных рудных районах и позволило разработать следующие основные критерии интерпретации и оценки эндогенных геохимических аномалий (ореолов)<sup>1</sup>, связанных с колчеданным оруденением (Баранов и др., 1974).

1. Тип колчеданной минерализации, обусловившей геохимическую аномалию, определяется по составу аномалии — по типоморфным ассоциациям элементов-индикаторов.

2. Уровень пересечения аномалии относительно возможного рудного тела определяется на основании параметров зональности ореолов по преобладанию надрудных или подрудных ассоциаций элементов-индикаторов.

3. Перспективность аномалий надрудного типа оценивается по особенностям их состава, строения и размерам. Ореолы комплексного состава, содержащие основные элементы-индикаторы (Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba, Co, Mo), более перспективны, чем ореолы с неполным комплексом элементов-индикаторов.

Значительный вклад в разработку этих критериев внесли данные изучения ореола Гайского месторождения. В частности, на примере последнего было показано, что глубинность выявления скрытого колчеданного оруденения по эндогенным ореолам, учитывая их распространение над рудными телами, может достигать 1 км (Рыфтин и др., 1972).

Использование геохимических критериев позволяет классифицировать выявленные геохимические ореолы: а) по минеральному типу колчеданного оруденения, б) по уровню эрозионного среза (надрудные, со вскрытым оруденением, подрудные), в) по прогнозируемым масштабам оруденения (качественная оценка), — и выделять в пределах колчеданных рудных районов следующие категории площадей.

<sup>1</sup> Как геохимические ореолы рассматриваются рудогенные геохимические аномалии, для которых установлена или предполагается пространственная и генетическая связь с месторождениями и рудопроявлениями.

1. Площади с рудогенными геохимическими аномалиями — рудные зоны, узлы и поля, среди которых могут быть выявлены: а) площади с надрудными геохимическими ореолами, перспективные на скрытое оруденение; б) площади с подрудными геохимическими ореолами — с эродированным оруденением; в) площади с моно- и биеlementными аномалиями основных рудообразующих элементов (Cu, Zn, Pb), которые могут соответствовать зонам рассеянной рудной минерализации или фиксировать глубокозалегающие рудные тела (на глубинах свыше 300—500 м).

2. Площади без рудогенных геохимических аномалий, которые являются бесперспективными на обнаружение скрытого оруденения на глубинах минимум до 500 м.

Последнее обстоятельство диктует принципиально новый подход к оценке перспектив обширных площадей (рудных районов, полей), перспективных по геологическим предпосылкам на выявление скрытого оруденения. Применение геохимических критериев позволяет прежде всего исключить из сферы поисковых работ площади, лишенные рудогенных геохимических аномалий, а в пределах аномального геохимического поля выделять локальные перспективные участки для постановки глубокого поискового бурения и тем самым повышать экономическую эффективность этих работ.

Рассмотренные выше положения явились методической основой работ по геохимической оценке перспектив Гайского рудного района, проведенных Уральской партией ЦГЭ ИМГРЭ в 1971—1973 г.г.

*Методика работ.* В связи с перекрытостью большей части площади района аллохтонными рыхлыми отложениями данные поверхностной литогеохимической (металлометрической) съемки оказались мало информативными для целей геохимического прогнозирования скрытого оруденения, так как оценка уровня эрозионного среза исходных эндогенных ореолов по параметрам связанных с ними экзогенных ореолов в данных условиях затруднена. Поэтому рассматриваемые работы были ориентированы на выявление и оценку геохимических аномалий в коренных породах.

Проведенные в районе геологические съемки масштаба 1:50 000 (Е. С. Контарь), 1:25 000 (А. П. Наседкин, А. Ф. Фоминых, Н. Ф. Зубко) сопровождалась большим объемом картировочного и поисково-структурного бурения. Кери подавляющего большинства скважин подвергался геохимическому опробованию. Неравномерная сеть скважин и отсутствие дан-

ных геохимического опробования коренных пород на площадях их выходов обусловили резко неравномерную геохимическую изученность района. Поэтому проводившиеся работы, помимо сбора и обобщения имевшихся аналитических данных, сопровождалась геохимическим опробованием коренных пород в естественных обнажениях на всех площадях их выходов (за исключением северной части района, по которой имелись данные А. П. Наседкина) по сети  $250-500 \times 50-100$  м. Кроме этого было проведено геохимическое опробование керна геохимически неизученных ранее картировочных и поисковых скважин. Масштаб геохимической изученности большей части площади района соответствует 1:50 000—1:100 000 и лишь для Гайского рудного поля и отдельных участков — 1:25 000 («Инструкция...», 1965, табл. 3).

По геохимически изученной площади района, размер которой составляет  $650 \text{ км}^2$ , были обработаны данные анализов 50 тыс. геохимических проб, из которых 10 тыс. проб было отобрано дополнительно при проведении прогнозных работ. Подавляющее большинство проб анализировалось в спектральной лаборатории Орской геофизической экспедиции, а часть проб — в спектральной лаборатории Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ (Московская область).

Обработка полученных аналитических данных включала:

- а) статистическую обработку с целью установления параметров фонового распределения в различных типах пород;
- б) выделение геохимических аномалий и составление карты аномалий масштаба 1:25 000 и разрезов аномалий в масштабе 1:5000—1:2000 по профилям буровых скважин.
- в) интерпретацию и оценку геохимических аномалий и составление прогнозно-геохимической карты.

При определении параметров фонового распределения элементов-индикаторов (Cu, Zn, Pb, Co, Mo, Ba), которое проводилось графическим методом («Инструкция...», 1965), подтвердилась необходимость отдельного определения этих параметров для основных типов пород (вулканитов основного и кислого состава, туфогенно-осадочных пород улутауской свиты, габбро-диабазов) вследствие их значимых различий. В связи с тем, что анализы, выполненные в спектральной лаборатории Орской экспедиции, характеризуются существенными временными систематическими ошибками, возникла необходимость отдельного определения параметров фонового распределения элементов для различных по времени групп анали-

зов. Сравнение ореолов, выделенных в одних и тех же сечениях в контуре аномальных содержаний равной вероятности, по результатам анализов разных лет, показало их удовлетворительную сходимость по основным параметрам: элементному составу, интенсивности и размерам.

Геохимические аномалии элементов-индикаторов выделялись в границах минимально аномальных содержаний  $Ca_1 = C_{\phi} \cdot E$  (с вероятностью 84,1%), а распределение элементов в пределах аномалии показывалось в изолиниях, градиентами которых являлись аномальные содержания  $Ca_2 = C_{\phi} \cdot E^2$  (с вероятностью 97,3%) и  $Ca_3 = C_{\phi} \cdot E^3$  (99,9%). Такой подход к выделению и отстройке геохимических аномалий позволяет выделять аномальные поля равной вероятности в комплексах пород со значимо различными параметрами фонового распределения элементов и при использовании аналитических данных, характеризующихся существенными систематическими ошибками. Для серебра, мышьяка, а также для свинца, бария и молибдена в партиях проб до 1968 г. в связи с низкой чувствительностью анализа на эти элементы как аномальные выделялись все их значимые содержания.

В качестве геологической основы использованы геологические карты масштаба 1:25 000 и геологические разрезы по профилям поисково-структурного бурения масштаба 1:5000—1:2000. При выделении геохимических аномалий по данным опробования керн скважин учитывалось среднее содержание элемента по трем верхним пробам в породах, не затронутых процессами выветривания. В случае остановки забоя скважины в выветрелых породах использовались данные призабойной пробы.

В начальный период работ для северной части района в качестве рабочих были составлены карты моноэлементных геохимических аномалий, а затем интегральная карта комплексных геохимических аномалий по методу полей ассоциаций элементов, на которой распределение аномальных концентраций основных элементов-индикаторов (Cu, Zn, Pb, Ba, Mo, Co, As, Ag) отображено в виде полей различных ассоциаций элементов. В последующем для центральной и южной части района составлялись только карты комплексных геохимических аномалий в двух вариантах — в контурах  $Ca_1$  и  $Ca_2$ . По разрезам также отстраивались только комплексные геохимические аномалии (ореолы). Отказ от промежуточного этапа составления моноэлементных карт и разрезов и переход к непосредственному составлению комплексных карт и разрезов позволи-

ли резко ускорить обработку аналитических материалов, не снижая их информативности для целей геохимического прогнозирования. Следует отметить, что способ изображения комплексов геохимических аномалий в виде полей естественных ассоциаций элементов-индикаторов является наиболее рациональным при крупномасштабных геохимических исследованиях, так как он дает компактное и вместе с тем наглядное объективное представление о морфологии, размерах, составе и строении геохимических аномалий в целом.

Интерпретация и оценка геохимических аномалий производились в соответствии с разработанными геохимическими критериями. Они опирались на такие параметры, как площадь аномалии, комплектность состава, средние содержания и продуктивности элементов-индикаторов, аддитивный коэффициент зональности ( $K_z = \frac{K_{aPb} + K_{aZn}}{K_{aCu} + K_{aCo}}$ , где  $K_a = \frac{C_a}{C_{\phi}}$ ). Боль-

шее значение придавалось анализу геолого-структурной позиции аномалий и геохимическим данным по поисковым и поисково-структурным скважинам, пройденным на участках распространения аномалий.

На основании данных интерпретации и оценки геохимических аномалий была составлена прогнозная геохимическая карта района (фиг. 1). На этой карте в соответствии с геохимическими критериями прогнозной оценки площадей выделены следующие различные в отношении перспектив на скрытое медноколчеданное оруденение группы площадей.

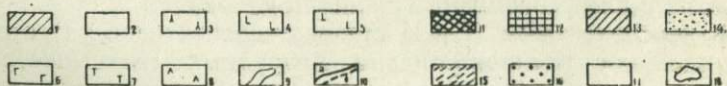
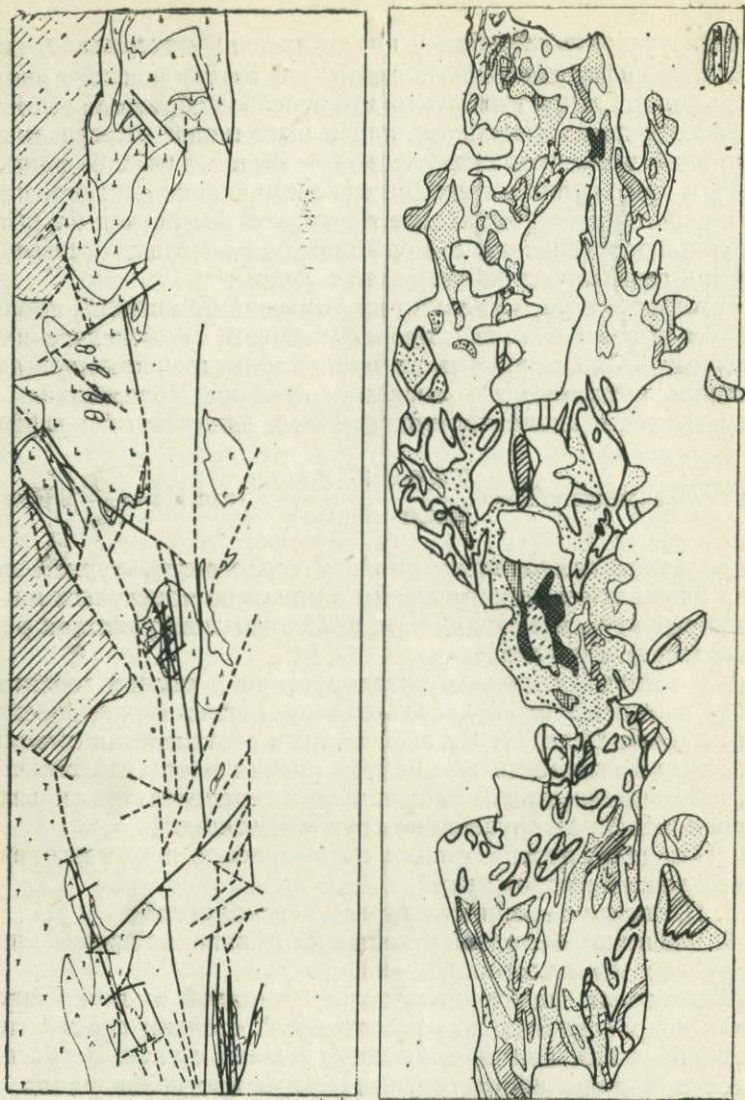
1. Площади, перспективные на выявление промышленных рудных тел и месторождений.

2. Площади с неопределенными перспективами.

3. Площади, бесперспективные на выявление промышленных рудных тел и месторождений.

В пределах выделенных групп площадей имеются внутренние подразделения по относительной степени перспективности, обусловленные прежде всего разной степенью обоснованности и надежности геохимического прогнозирования. В результате этого на карте фактически отражена более дробная прогнозная дифференциация площади района.

К перспективным (I и II степень перспективности) отнесены площади распространения надрудных геохимических ореолов, в связи с которыми вероятно выявление скрытого промышленного оруденения. К бесперспективным (V степень



Фиг. 1. Схема геологического строения Гайского рудного района (составлена по материалам Н. Ф. Зубко, Е. С. Контаря, А. И. Наседкина, А. Ф. Фоминых) и схематическая прогнозная геохимическая карта,

1—10 — условные обозначения к геологической карте: 1 — терригенные отложения зилаирской свиты ( $D_3fm-C_{1tz}$ ); 2 — вулканогенно-осадочные отложения улутауской свиты ( $D_2gvul$ ); 3 — вулканиды основного состава ( $D_1-D_2e$ ); 4 — андезит-дациты ( $D_1-D_2e$ ); 5—вулканиды кислого состава ( $D_1-D_2e$ ); 6—габбро-диабазы ( $D_2gv$ ); 7—серпентинизированные гарцбургиты ( $S_2-D_1$ ); 8—осадочные отложения и вулканиды основного состава (S); 9—геологические границы; 10—разломы; а) прослеженные и б) предполагаемые.

11—16 — условные обозначения к прогнозно-геохимической карте: 11—ореолы известных месторождений и рудопроявлений, перспективные на выявление новых рудных тел на глубоких горизонтах (I степень перспективности); 12—ореолы с надрудным уровнем вскрытия с недостаточно ясной геолого-структурной позцией прогнозируемого скрытого оруденения (II степень перспективности); 13—аномалии с недостаточно изученными геохимическими параметрами или геолого-структурной обстановкой, в связи с ними неисключено выявление скрытого оруденения (III степень перспективности); 14—аномалии обедненного элементного состава и низкой интенсивности, бесперспективные на выявление скрытого оруденения на глубинах до 500 м (IV степень перспективности); 15—ореолы известных месторождений и рудопроявлений, бесперспективные на выявление новых рудных тел на глубоких горизонтах (V степень перспективности); 16—аномалии, соответствующие подрудным уровням пересечения ореолов, бесперспективные на выявление скрытого оруденения (IV степень перспективности); 17—площади без геохимических аномалий (V степень перспективности); 18—контуры геохимически изученных площадей

перспективности) отнесены площади отсутствия геохимических аномалий, участки эродированного оруденения (подрудных геохимических ореолов), а также геохимические ореолы известных месторождений и рудопроявлений, бесперспективные на выявление новых рудных тел на глубоких горизонтах и флангах. К площадям с неопределенными перспективами отнесены площади распространения таких геохимических аномалий, которые не могут предварительно оцениваться как перспективные или бесперспективные на выявление скрытого оруденения, так как имеющих данных недостаточно для уверенной и однозначной оценки. Соответственно среди таких площадей выделяются площади двух категорий: а) с неопределенной, но, вероятнее всего, положительной оценкой перспектив (III степень перспективности); б) с отрицательной, но неоднозначной оценкой перспектив, на скрытое оруденение (IV степень перспективности). Более детально обоснованность выделения площадей различной степени перспективности будет рассмотрена ниже, при анализе результатов геохимического прогноза.

На прогнозно-геохимической карте, помимо прогнозной оценки площадей, отражена также полнота геохимической изученности площади и выделены основные рудоконтролирующие структурные элементы. Как геохимически неизученные выделены те площади, в пределах которых сеть геохимического опробования не обеспечивает надежного оконтуривания аномалий (ореолов) отдельных месторождений (для условий Гайского рудного района — это сеть, соответствующая масштабу 1:200 000 и мельче). Прогнозно-геохимическая карта

составляется на схематизированной (без раскраски) геологической основе. Так как в пространственном распределении геохимических аномалий и в особенностях их морфологии и строения отчетливо проявляется рудоконтролирующая роль различных структурных элементов (разрывных нарушений, даек, субвулканических тел, контактов пород и др.), то на карте специальными линиями выделяются как рудоконтролирующие известные структурные элементы и показывается положение предполагаемых рудоконтролирующих элементов. Последнее резко повышает информативность карты в отношении геолого-структурных условий локализации геохимических аномалий и структуры рудного района в целом.

**Основные закономерности распределения геохимических аномалий в районе.** Особенностью Гайского рудного района является широкое площадное развитие геохимических аномалий (см. фиг. 1). Аномальное поле (в контурах  $Ca_1$ ) занимает около 60% геохимически изученной площади района. В его пределах преобладают аномальные поля моно- и биеlementного состава (меди, цинка, в меньшей мере — свинца, кобальта, молибдена); поля более комплексного состава пользуются меньшим распространением (до 20—30% аномальных площадей). То же самое можно отметить в отношении аномалий более высокой интенсивности, в контурах  $Ca_2$ .

Геохимические аномалии установлены во всех возрастных группах палеозойских пород. В их распределении наблюдаются тесные пространственные связи, проявляющиеся в том, что аномалии прослежены в виде единой непрерывной полосы на расстоянии более 60 км, от пос. Новочеркаска на севере до г. Орска на юге. Закономерное положение геохимических ореолов Гайского месторождения и известных рудопоявлений в аномальном геохимическом поле района может рассматриваться как свидетельство рудогенной природы последнего.

Распределение геохимических аномалий четко контролируется геологической структурой района и подчеркивает рудоконтролирующее значение вулканических построек и крупных разрывных нарушений. Основные закономерности размещения рудогенных геохимических аномалий в Гайском рудном районе следующие.

1. Проявление геохимических аномалий по всему разрезу палеозойских пород с максимальным развитием их в толщах кислых вулканитов.

Аномалии широко развиты в улутаусских туфогенно-осадочных отложениях, где они часто являются периферийны-

ми зонами ореолов известных рудных проявлений (Гайское, месторождение, Вишнеvское рудопроявление). Аномалии, по составу аналогичные явно рудогенным, установлены в осадочных отложениях зилаирской свиты.

2. Контроль распределения аномалий основными разрывными структурами района — Калининской и Гайской зонами долгоживущих разломов и сопряженными с ними нарушениями северо-западного простирания. Приуроченность крупных аномальных полей к участкам сопряжения северо-западных нарушений с тектоническими зонами близмеридионального простирания (Гайское рудное поле, участок Вишнеvского рудопроявления).

3. Широкое и интенсивное развитие аномалий на участках эродированных вулканических построек (Новочеркасской, Вишнеvской, Родниковской, Камейкинской, Гайской, Репино-Круторожинской) и их проявление в улутаусских отложениях над перекрытыми ими вулканическими постройками (Борковской, Шарыповской и др.).

4. Тесная связь некоторых аномалий с массивами габбро-диабазов (Северо-Калиновским, Калиновским, Орским и Круторожинским). Аномалии разиваются как в эндоконтактах тел габро-диабазов, так и в экзоконтактных зонах гематитизации пород.

Установленные особенности размещения геохимических аномалий существенно дополняют известные закономерности размещения колчеданного оруденения в районе (Бородаевская и др., 1968, Сагло и др., 1972). Это относится прежде всего к прослеживанию рудоносных структур на площадях развития улутаусских отложений и к установлению рудоконтролирующей роли разрывных нарушений северо-западного простирания.

Широкое развитие рудогенных геохимических аномалий, охватывающих весь разрез палеозойских отложений, создает предпосылки для представлений о возможном интервале распространения скрытого оруденения в районе и объективного металлогенического районирования рудоносных площадей. В пределах района на основании анализа пространственного распределения рудогенных геохимических аномалий выделяются: Новочеркасское, рудное поле, включающее одноименное рудопроявление и ряд прилегающих к нему ореолов; Вишнеvское рудное поле, включающее, помимо одноименного рудопроявления, аномальную площадь к северо-западу и юго-востоку от него; Гайское рудное поле, в которое, помимо участка месторождения, следует включать Камейкинскую, Родников-

скую, Юго-Восточную, Борковскую структуры и прилегающий участок Калиновской тектонической зоны, так как все они охватываются единым непрерывным аномальным полем; Южное рудное поле, которое намечается по положению пространственно сближенных аномалий в пределах Шарыповской, Репино-Круторошинской и Орской структур; Богдановская и Тереклинская рудоносные площади (см. фиг. 1).

Необходимо особо остановиться на тех особенностях проявления геохимических аномалий в районе, которые играют важную роль при оценке их перспектив в отношении скрытого оруденения.

В пределах аномального геохимического поля изученного района Гайское месторождение, Новочеркасское и Вишевское рудопоявления фиксируются на поверхности коренных пород ореолами комплексного (Cu + Zn + Pb + Co + Mo + Ba + Ag) состава, тогда как Орскому рудопоявлению соответствует ореол биэлементного (Cu, Zn) состава. Комплексный ореол Гайского месторождения имеет значительные размеры (2—3×6 км), во много раз превосходящие локальные (до 0,5×1 км) комплексные ореолы рудопоявлений. Таким образом, в условиях Гайского рудного района подтверждаются общие для колчеданных месторождений закономерности проявления геохимических ореолов: 1) о фиксации скрытых месторождений на поверхности рудовмещающих пород ореолами комплексного состава и 2) о прямой зависимости между площадными размерами надрудных ореолов и масштабами скрытого оруденения.

Аномалии моно- и биэлементного состава (медь, цинк, реже свинец и другие элементы) преобладают в аномальном геохимическом поле района. По своему пространственному положению, часть таких аномалий может рассматриваться как внешние удаленные зоны ореолов Гайского месторождения и рудопоявлений. Вместе с тем очевидно и повсеместное распространение большинства аномалий вдоль основных рудоконтролирующих структур района — Калиновской и Гайской зон разломов. Если первое обстоятельство не позволяет отрицать возможности выявления глубокозалегающих (свыше 500—1000 м) рудных тел в связи с моно- и биэлементными аномалиями Cu, Zn, Pb, то второе — указывает на связь большинства аномалий обедненного элементного состава и низкой (<Ca<sub>2</sub>) интенсивности с рассеянной вкрапленностью пирита в зонах крупных разрывных нарушений. Последнее подтверждается результатами поисковых работ в зо-

нах таких нарушений (фиг. 2). Как видно на приводимых геохимических разрезах, обедненный элементный состав аномалий сохраняется до глубины свыше 500—1000 м; при этом четко проявлена вертикальная зональность строения аномалий, которая выражается прежде всего в закономерной смене полей одних ассоциаций элементов по падению другими (на фиг. 1а)  $Cu+Zn, Pb+Mo \rightarrow Mo, Co$ ; б)  $Zn \rightarrow Cu+Co, Cu$ ; в)  $Cu+Pb+Co \rightarrow Co+Cu, Cu$ ) и хорошо согласуется с известными закономерностями зонального строения ореолов колчеданных месторождений. Таким образом, основным признаком связи геохимических аномалий с зонами рассеянной колчеданной минерализации является обедненность их элементного состава и низкая интенсивность, а не слабая контрастность зональности или практически ее полное отсутствие, как указывает С. В. Григорян (1973) для зон рассеянной минерализации в условиях Карамазара (Средняя Азия).

Особое положение занимают геохимические аномалии, связанные с массивами габбро-диабазов. Они характеризуются в основном обедненным моно- и биеlementным составом (медь, цинк, свинец, иногда кобальт) и низкой интенсивностью ( $<Ca_2$ ). Наблюдается приуроченность полей более комплексного состава и повышенной интенсивности к зонам гематитизации туфогенно-осадочных пород улутауской свиты в экзоконтактах габбро-диабазовых интрузий. На примере Калиновского массива установлено, что с зонами гематитизации тесно связаны также аномалии марганца. Избирательная приуроченность рассматриваемых аномалий к эндо- и экзоконтактам массивов и, в особенности, к экзоконтактовым зонам гематитизации пород, их ассоциация с аномалиями марганца, дают основание связывать возникновение этих аномалий в основном с процессами контактового метаморфизма около интрузий габбро-диабазов. Но при этом в связи с возможным пострудным возрастом габбро-диабазов не исключена гетерогенная природа части аномалий повышенной комплексности состава — возникновение их в результате регенерации рудного вещества под воздействием контактового метаморфизма габбро-диабазов.

**Геохимическая прогнозная оценка района.** Переходя к ее рассмотрению, следует кратко осветить имеющийся опыт геохимического прогноза на флангах и глубоких горизонтах Гайского месторождения. По материалам изучения глубокими скважинами ореолов месторождения на основании выработанных критериев оценки уровня пересечения ореолов (надруд-



ного или подрудного) в 1968 г. была дана следующая прогнозная оценка перспектив глубоких горизонтов северной части месторождения: а) на продолжении рудных тел Четвертой залежи по падению рудные тела отсутствуют; б) глубокими скважинами в лежащем боку Восточного разлома вскрыты верхние части рудных тел, следует ожидать их продолжения по падению; в) прогнозируется выявление новых рудных тел на восточном фланге месторождения, на глубинах свыше 700—800 м (Баранов, 1971). Последующие буровые работы подтвердили эти прогнозы: выявлена и разведывается Восточная рудная зона месторождения, прослеженная по падению до глубины 2 км. Эти результаты указывают на высокую надежность и эффективность геохимического прогноза скрытого медноколчеданного оруденения в условиях Гайского района.

Основным результирующим документом для оценки перспектив района в отношении скрытого медноколчеданного оруденения явилась прогнозно-геохимическая карта. На ней в соответствии с рассмотренными выше принципами выделены площади различной перспективности (см. фиг. 1).

Геохимические аномалии, которые по своим параметрам (высокой комплексности состава, интенсивности, соотношениям элементов) могут уверенно оцениваться как надрудные ореолы скрытых рудных залежей, в пределах обширного аномального геохимического поля района распространены весьма локально (составляют около 6% его площади). К ним, помимо ореолов Гайского месторождения, Вишневого и Новочеркасского рудопроявлений, отнесены аномалии (ореолы) в пределах Новочеркасской и Камейкинской построек. Все они по своим размерам резко уступают ореолу Гайского месторождения. Последнее дает основание утверждать, что в пределах изученной площади на глубинах до 500 м нет рудных объектов, соизмеримых по масштабам с Гайским месторождением. Следовательно, поиски скрытого оруденения в районе должны быть ориентированы в основном на выявление месторождений на больших глубинах — свыше 500 м.

Как площади I степени перспективности выделены ореолы на восточном и западном флангах Гайского месторождения, в связи с которыми можно ожидать выявление глубокозалегающих (до 1 км) рудных тел, и ореол Вишневого рудопроявления. На положительной оценке перспектив последнего необходимо остановиться особо, так как на участке рудопроявления было пройдено несколько профилей поисковых скважин глубиной 300—600 м, не вскрывших рудных тел. Анализ

геохимических данных по этим скважинам показал, что часть из них вскрыли типичные надрудные ореолы, в связи с которыми на более глубоких горизонтах возможно выявление рудных тел.

Ореолы надрудного типа на северном и южном флангах Гайского месторождения и в пределах Новочеркасской и Камейкинской вулканических построек ввиду малых площадных размеров, указывающих на ограниченные масштабы скрытого оруденения, или большой — около 1 км — глубины залегания рудовмещающей толщи кислых вулканитов (северный фланг Гайского месторождения) отнесены к площадям II степени перспективности.

Значительное количество аномалий по своей характеристике (комплексу элементов-индикаторов,  $K_3$ ) приближается к ореолам надрудного типа. Однако положительная оценка перспектив таких площадей неоднозначна. Причинами этого являются: а) слабая геохимическая изученность аномалий (выявлена по редкой сети опробования, не оконтурены и т. д.); б) неопределенность геохимических параметров аномалии (ограниченное число элементов-индикаторов в составе аномалии, низкая интенсивность, незначительные размеры аномалий и т. д.), которая не позволяет дать уверенную оценку уровня среза аномалии; в) слабая геологическая изученность участков распространения аномалий и, прежде всего, их глубоких горизонтов. В частности, неоднозначность положительной оценки геохимических аномалий в улутауских отложениях обусловлена в основном большой (до 1 км и более) глубиной залегания рудовмещающей толщи кислых вулканитов и слабой изученностью надрудных ореолов в таких условиях. Площади распространения аномалий данной группы отнесены к площадям III степени перспективности.

Площади распространения аномалий моно- и биеlementного состава (медь, цинк, реже свинец, кобальт) и низкой интенсивности получают отрицательную оценку в отношении возможности выявления скрытого оруденения на глубинах до 500 м (IV степень перспективности). На участках, сложенных вулканитами кислого и основного состава, эта оценка практически однозначна, а на площади развития улутауских туфогенно-осадочных отложений — менее определена в связи со слабой изученностью ореолов в таких условиях. Отрицательную оценку в целом получают аномалии обедненного элементного состава, сопровождающие массивы габбро-диабазов, но возможность проявления среди них регенерированных ореолов

вносит элемент неопределенности в эту оценку и позволяет относить эти аномалии к площадям IV степени перспективности, а местами в связи с повышением комплексности состава и интенсивности — и к III степени перспективности (Круторожинский массив).

Уверенную отрицательную оценку (V степень перспективности) получают площади без геохимических аномалий; аномалии, соответствующие подрудным уровням ореолов колчеданных проявлений, и ореолы известных месторождений и рудопроявлений, бесперспективные на выявление новых рудных тел на глубоких горизонтах и флангах. Если бесперспективность площадей первых двух категорий очевидна, то для ореолов месторождений и рудопроявлений она требует пояснений. В центральной части Гайского месторождения подрудные ореолы прослежены ниже рудных тел на расстоянии 300—600 м. При этом степень их «подрудности» с глубиной усиливается, что выражается в уменьшении концентраций цинка и меди (вплоть до фоновых и ниже) и в существенно молибденово-кобальтовом составе ореолов. Это однозначно указывает на бесперспективность глубоких горизонтов в центральной части Гайского месторождения и подтверждает правомочность использования критерия «подрудного ореола» для отрицательной оценки. Особенности ореола Новочеркасского рудопроявления, определяющими отрицательную оценку его перспектив на глубину, являются резкое, почти до полного выклинивания, уменьшение его размеров, снижение концентраций меди и цинка по падению и типично подрудный — молибденово-кобальтовый, медно-кобальтовый состав ореола в наиболее глубоко вскрытых сечениях.

По геохимическим данным, в связи с обедненностью элементного состава и низкой интенсивностью аномалий на поверхности и вскрытием поисковыми скважинами на глубоких горизонтах аномалий, соответствующих подрудным сечениям ореолов, отрицательно оцениваются перспективы вулканических построек: Орской, Северо-Калиновской, г. Полковник, — хотя по геологическим данным они рассматриваются как перспективные на выявление скрытого оруденения структуры (Саглов и др., 1972).

Результаты геохимической оценки перспективности района, отраженные на прогнозно-геохимической карте, хорошо сопоставляются с данными геологических и геофизических исследований и вытекающими из них предпосылками для поисков скрытого оруденения. Геохимические данные в комп-

лексе с геологическими предпосылками позволяют не только рассматривать перспективы рудоносности тех или иных площадей или геологических образований по результатам оценки конкретных аномалий, но и часто дают основу для новых представлений об их потенциальной рудоносности. Последнее в условиях Гайского района отнесется к площадям развития улутауских и зилаирских отложений.

Широкое проявление геохимических аномалий меди, цинка, свинца в улутауских отложениях, в особенности на участках перекрытых ими вулканических построек живетского возраста, дает основание, по аналогии с Подольской структурой в Башкирии, ожидать наличие глубокозалегающих (до 1 км и более) колчеданных залежей в нижележащих вулканитах живетского возраста. Это резко расширяет общие перспективы Гайского района, в особенности за счет его восточной части, где поисковые, в том числе геохимические работы, до последнего времени практически не проводились. Для более определенной оценки перспектив площадей, перекрытых улутаускими отложениями, необходимо форсировать поисково-структурное бурение на участках тех погребенных вулканических построек (Шарыповской, Южно-Богдановской, Западно-Тереклинской и др.), где проявлены геохимические аномалии.

Интенсивные геохимические аномалии комплексного состава (медь, цинк, свинец, иногда серебро, кобальт, молибден) установлены в терригенных отложениях зилаирской свиты на севере района. Спорадическая изученность этих отложений (по единичным картировочным скважинам) не позволила проследить указанные аномалии, но особенности состава последних указывают на возможность их рудогенной природы в связи с процессами формирования возможного в этих отложениях эксгальционно-осадочного колчеданного оруденения или эпигенетического оруденения типа медистых песчаников. Перспективы рудоносности зилаирских отложений до сих пор оценивались отрицательно. Полученные геохимические данные указывают на их потенциальную рудоносность и диктуют необходимость проведения поисковых работ на площадях их развития.

Заканчивая рассмотрение опыта геохимического прогнозирования в Гайском рудном районе, следует подчеркнуть то положение, что квалифицированное, соответствующее современному уровню разработки методики, использование геохимических методов прогнозирования позволяет радикально изменить методику поисков скрытого оруденения в рудных райо-

нах: отказаться от проведения глубокого пискowego бурения по сети на больших по площади перспективных участках, выделяемых по геологическим предпосылкам, и перейти к целенаправленной проверке локальных надрудных геохимических ореолов. Как показывает опыт работ в Гайском рудном районе, разбуривание крупных площадей по поисково-структурным профилям, без учета данных по распределению геохимических аномалий, приводит к неоправданным затратам средств и времени и не исключает пропуска месторождений.

Проверка геохимических прогнозов в Гайском рудном районе уже начата. Авторы надеются, что будущее даст новые подтверждения ведущей роли геохимических методов при крупномасштабном прогнозировании скрытого колчеданного оруденения.

## ЛИТЕРАТУРА

Баранов Э. Н. Геохимические поиски скрытых колчеданных месторождений по эндогенным ореолам. «Научные собрания ИМГРЭ», вып. 7, изд. ИМГРЭ, 1971.

Баранов Э. Н., Головин А. А., Лазарев В. Н., Шолванов В. В., Рыфтин В. М. Геохимические критерии поисков скрытых колчеданных месторождений. В сб. «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1974.

Бородаевская М. Б., Требухин В. С., Зубко Н. Ф. Геологическое строение Гайского рудного поля и условия локализации в нем медноколчеданного оруденения (Южный Урал).—Труды ЦНИГРИ, вып. 83, 1968.

Бородаевская М. Б., Требухин В. С., Зубко Н. Ф. Гайский рудный район.—Труды ЦНИГРИ, вып. 105, 1973.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений.—Советская геология, 1973, № 1.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1965.

Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений.—Геология рудных месторождений 1970, № 2.

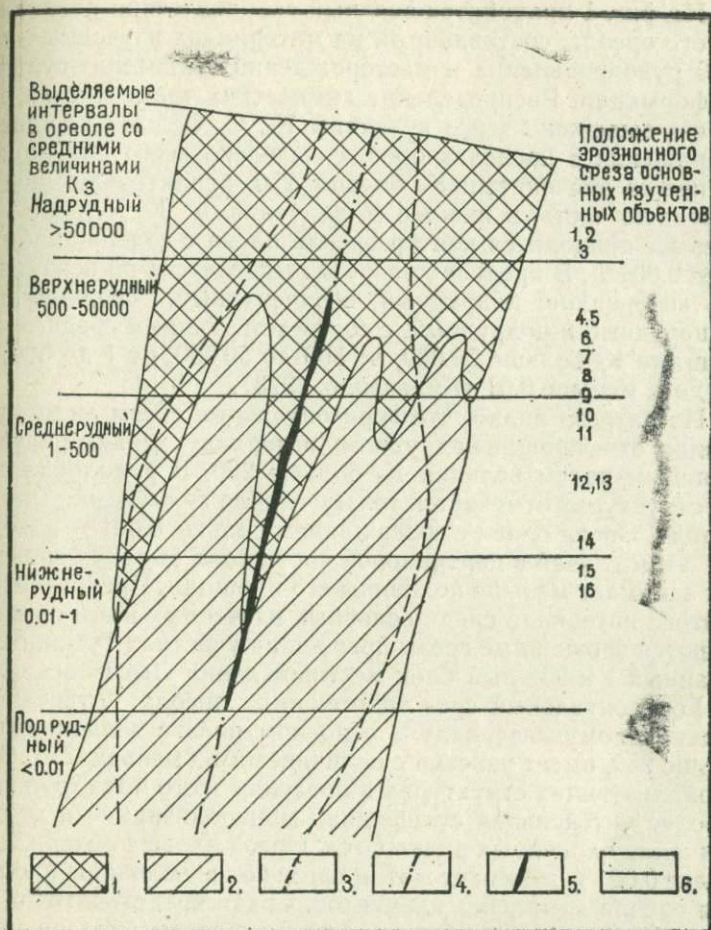
Рыфтин В. М., Баранов Э. Н., Карпухина В. С. Эндогенные геохимические ореолы Гайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал). В кн. «Рекомендательные месторождения, их генезис и методы исследования». Изд-во «Недра», 1972.

Сагло В. В., Зубко Н. Ф., Контарь Е. С., Сибирская Н. А., Голоконников В. И., Требухин В. С. Строение вулканогенных толщ и условия локализации колчеданного оруденения в Гайском районе.—Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала, вып. 5, Уфа, 1972.

Скрипиль В. И., Недождогин М. С., Сибирская Н. А. Гайский рудный район.—Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала, вып. 3. Госгеолтехиздат, 1962.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ПРОГНОЗУ СКРЫТОГО ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРИМОРЬЕ

В настоящее время для Приморья разработан и внедряется в производственную практику новый методический прием выявления скрытого оловянного оруденения (в пределах рудных полей), а также оценки глубоких горизонтов месторождений касситерит-сульфидной формации. Основой метода является выражение строения геохимического ореола оловорудных тел через величину коэффициента зональности ( $K_3$ ). Этот коэффициент (Кравченко, 1971) представляет собой отношение мультипликативных значений содержания элементов-индикаторов верхней части эндогенного ореола (свинец, цинк, серебро) к элементам-индикаторам нижней части этого ореола (медь, висмут и молибден). Такой способ количественного выражения зонального строения ореолов, выявленных в виде геохимических аномалий в коренных породах или в почвах, позволяет значительно упростить фиксирование закономерностей распределения комплекса основных элементов-индикаторов рудоносности, которые в основном определяют интерпретацию и оценку геохимических аномалий. При этом обеспечивается достаточная информативность геохимических данных для определения положения выявленного среза ореола по отношению к уровню различных частей скрытых оловорудных тел, а также выделения перспективных рудолокализирующих структур. Обязательным условием является рассмотрение строения комплексного геохимического ореола, выраженного в величинах  $K_3$ , в тесной пространственной связи со строением геохимического ореола олова.



Фиг. 1. Сводный схематический разрез эндогенных геохимических ореолов месторождений касситерит-сульфидной формации. Дано распределение коэффициента зональности  $K_z$ .

Изученные месторождения (цифры на фигуре): 1—Туманный I; 2—Туманный II; 3—Южный блок Лысогорского; 4—Краснореченский; 5, 6—северные блоки Лысогорского и Ноябрьского; 7—южный блок Янтариного; 8—Верхнегорский; 9—Арсеньевский; 10—Лифудзин; 11—Тернистый; 12—Южный блок Ноябрьского; 13—Новогорский; 14—Ветвисто-Рогатый; 15—Перевальный; 16—Центральный блок Ноябрьского. 1— $K_z > 250$ ; 2— $K_z < 250$ ; 3—контур ореола олова ( $\geq 0,001\% Sn$ ); 4—надрудные и подрудные части рудолокализирующей структуры; 5—рудное тело; 6—условные границы интервалов,

На фиг. 1 приводится сводный схематический разрез первичного ореола, составленный на материалах изученных нами ~ 30 рудопоявлений и месторождений касситерит-сульфидной формации. Распределение химических элементов на этом разрезе выражено через величины  $K_3$ . С целью упрощения изображения в пределах ореола выделено всего два поля — верхнее со значениями  $K_3$  больше 250, характеризующее его надрудную часть, и нижнее со значениями  $K_3$  меньше 250. Здесь же приводится контур ореола олова с содержанием его более 0,001%. В пределах разреза выделяется (по вертикали) пять интервалов: надрудный, верхнерудный, среднерудный, нижнерудный и подрудный, с соответствующими средними величинами  $K_3$  больше 50 000, от 500 до 50 000, от 1 до 500, от 0,01 до 1, меньше 0,01 (Кравченко, 1973).

Из разреза видно, что горизонтальные срезы эндогенных ореолов, отвечающие надрудному интервалу, характеризуются сплошным полем величин  $K_3$  больше 250. В рудолокализирующих структурах отмечается только слабая сульфидная минерализация. Ореол олова с содержанием больше 0,001% находится в этом случае в центральной части поля высоких значений  $K_3$  и занимает меньше половины его площади. Представителями этого интервала среди основных изученных нами объектов являются эрозионные срезы ореолов на участках Туманный II, Туманный I и Южный блок месторождения Лысогорское.

Горизонтальный срез эндогенного ореола, отвечающий верхнерудному интервалу в основном поле с величинами  $K_3$  больше 250, имеет участки с величинами  $K_3$  меньше 250. В рудолокализирующих структурах в пределах этого поля отмечаются более интенсивная сульфидная минерализация и верхние окончания оловянных рудных тел. Ореол олова с содержанием больше 0,001% занимает в этом срезе более половины площади поля ореола комплекса элементов. Среди представителей этого интервала нами изучены эрозионные срезы ореолов месторождения Краснореченское, северные блоки Лысогорского и Ноябрьского месторождений, южный блок месторождения Янтарное, месторождение Верхнегорское и Арсеньевское.

В среднерудном интервале горизонтальные срезы характеризуются примерно равной представительностью полей ореола с величинами  $K_3$  как больше 250, так и меньше 250. В центральных рудолокализирующих структурах этого поля развиты проявления собственно оловянных рудных тел. Ореол олова с содержанием больше 0,001% на данном интервале имеет максимальные размеры. Эрозионные срезы ореола, отвечаю-

щие этому интервалу, изучены нами на месторождениях Лифудзин и Тернистое, южном блоке месторождения Ноябрьское и рудопроявлениях Новогорское, Таборное, Синанчинское и др.

Горизонтальный срез эндогенных ореолов оловорудных месторождений, отвечающий нижнерудному интервалу, характеризуется явным преобладанием величин  $K_3$  меньше 250, образующих здесь основное ореольное поле, в пределах которого отмечаются отдельные участки с величинами  $K_3$  больше 250. В рудолокализирующих структурах, развитых в центральной части ореола, проявляется оловянная минерализация или нижние окончания оловянных рудных тел. Площадь распространения ореола олова с содержанием больше 0,001% еще достаточно большая. Эрозионные срезы ореола, отвечающие данному интервалу, изучены на месторождении Перевальном, рудопроявлении Ветвисто-Рогатом и в центральном блоке месторождения Ноябрьское.

Наконец, горизонтальные срезы эндогенных ореолов, отвечающие подрудному интервалу, характеризуются сплошным полем величин  $K_3$  меньше 250. В рудолокализирующих структурах проявляется лишь слабая рудная минерализация. Ореол олова с содержанием больше 0,001% значительно меньше полиэлементного ореольного поля. Характеристика данного интервала основывалась на фактическом материале глубоких горизонтов месторождений Перевальное, Хрустальное, Лифудзин, Ивановское, Тернистое, на которых фиксируется выклинивание рудных тел на глубину.

Таким образом, из рассмотренных особенностей горизонтальных срезов комплексного эндогенного ореола месторождения, свойственных выделенным интервалам, устанавливается преобладание полей больших значений величин  $K_3$  в надрудном и верхнерудном интервалах, а для нижнерудного и подрудного — характерно преобладание полей малых значений этого коэффициента. При этом размеры и расположение полей высоких и низких значений величин  $K_3$  имеют закономерную пространственную связь с положением и размерами ореола олова (конгур  $\geq 0,001\%$  Sn). Следует при этом отметить, что величина  $K_3$  геохимического фона рудовмещающих пород находится в пределах 1—200.

Месторождения касситерит-сульфидной формации, где медь имеет промышленное значение (типа Лысогорского, Тернистого, Янтарного), имеют некоторые особенности в деталях распределения величин  $K_3$ , однако это не отражается на рас-

смотренных здесь закономерностях строения общей вертикальной зональности эндогенных ореолов месторождений касситерит-сульфидной формации.

Выражение строения оцениваемого комплексного ореола по более дробной шкале пределов величин коэффициента зональности ( $> 50\ 000$ ;  $500—50\ 000$ ;  $1—500$ ;  $0,01—1$ ;  $< 0,01$ ) в сочетании с изучением распределения повышенных (более  $0,01\%$ ) содержаний олова позволили установить, что рудолокализирующие структуры выделяются в виде линейно вытянутых полей иных значений величин  $K_3$ , отличающихся от величин основного поля ореола. Примеры этих случаев будут показаны ниже при разборе конкретных объектов.

Характерным для Сихотэ-Алинской части Приморья является широкое распространение рыхлых элювиально-делювиальных отложений, перекрывающих коренные породы чехлом мощностью  $3—5$  м. Учитывая это, были проведены значительные объемы опытно-методических работ, которыми было установлено, что при такой мощности рыхлого покрова распределение величин  $K_3$  в эндогенных ореолах и сопряженных с ними вторичных ореолах рассеяния хорошо коррелируется в разнообразных ландшафтно-геохимических условиях в почвенном горизонте ВС. Установление этой закономерности позволило при оценке геохимических аномалий определять уровень эрозийного среза эндогенного ореола по данным геохимического опробования почвенного горизонта ВС.

В настоящей работе будет рассмотрено несколько конкретных примеров использования разработанного методического приема при оценке перспектив на скрытое оловянное оруденение на основе геохимических данных, а также некоторые вопросы методики сбора фактического геохимического материала в процессе проведения прогнозных и поисковых работ с использованием геохимических методов в условиях Приморья.

*Месторождение Ноябрьское*, на котором были проведены прогнозные работы, расположено в центральной части Главного синклинория Сихотэ-Алиня, в районе водораздела рек Большая Уссурка-Серебрянка. На площади месторождения широко развиты терригенные песчано-алевролитовые отложения нижнего мела. Структурное положение месторождения определяется его приуроченностью к сложнодислоцированному крылу антиклинали, разбитой многочисленными дизъюнктивными нарушениями различных направлений. Рудовмещающими являются нарушения преимущественно субмеридионального направления. На месторождении выделяются три разоб-

ценных участка: Северный, Центральный и Южный. Несколько подробней остановимся на первом. Здесь известны две крупные рудные зоны: Северная и Западная. Зона Северная прослежена по простиранию на 1300 м, мощность ее изменчивая и колеблется от первых десятков сантиметров до 8 м. Падение зоны — запад-юго-запад 70—80°. Вмещающие зону песчаники и алевролиты интенсивно окварцованы, серицитизированы и хлоритизированы. Зона Западная менее протяженная и меньшей мощности.

Ранее здесь было проведено так называемое металлометрическое опробование и выявлены геохимические аномалии. Из-за недостаточной информативности геохимических данных эти аномалии не получили однозначной оценки. Для получения дополнительной информации и более полной характеристики выявляемых ореолов рассеяния в почвенном покрове, а также для оконтуривания и определения уровня среза эндогенного ореола, обусловившего их образование, было проведено геохимическое опробование почв по горизонту ВС по семи профилям. Принятое расстояние между профилями было около 400 м, при шаге опробования 10—20 м. Профиля ориентировались перпендикулярно простиранию выявленных ранее металлометрических аномалий. Как показала обработка полученных материалов, такая сеть опробования обеспечила получение необходимой информации для решения поставленной задачи.

В результате было установлено, что контур общего ореола совпадает с контурами поля значений  $K_3$  в пределах от 500 до 50 000 единиц, размеры которого больше ореола олова (контур  $\geq 0,001\% \text{ Sn}$ ). Местоположение основных рудных зон подчеркивается небольшими полями с величинами  $K_3$  больше 50000. Таким образом, здесь имеет место четко выраженный пример вскрытия эрозионным срезом эндогенного ореола в верхнерудном интервале (см. фиг. 1), что и было подтверждено дальнейшими работами.

Кроме этого, на Северном участке месторождения Ноябрьское решался вопрос о глубине залегания среднерудного интервала. С этой целью прежде всего определялся градиент  $K_3$  по падению зоны, для чего были использованы геохимические данные по разрезу буровых скважин, пробуренных до глубины 300 м от поверхности на северном фланге зоны.

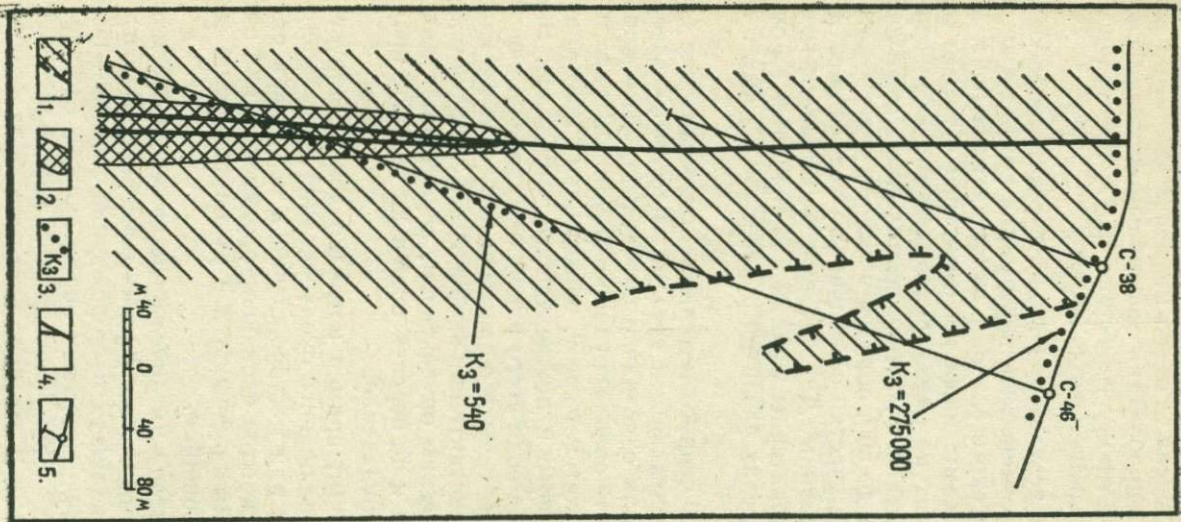
С помощью рассчитанного по этому разрезу градиента  $K_3$  глубина залегания среднерудного интервала в районе профилей, располагающихся в центральной части участка (X и XII геохимические профиля), была определена в 600—650 м.

На основе этого и была рекомендована проходка скважины соответствующей глубины. Необходимо подчеркнуть, что здесь зона Северная на глубине 230 м (фиг. 2) была уже вскрыта буровой скважиной № 38. По данным этой скважины ее мощность на этой глубине достигает 0,85 м при практическом отсутствии олова, свинца и цинка. В соответствии с результатами геохимических работ по этой зоне и данной на их основе рекомендацией в 1973 г. была пробурена скважина № 46 с расчетом пересечения зоны на глубине 600—650 м. В связи с искривлением скважины она вскрыла зону Северную на глубине 540 м. Мощность рудной зоны на этом горизонте составляет 0,9 м и имеет промышленное содержание олова, свинца и цинка. Средняя величина  $K_3$  с глубиной изменилась более чем в 500 раз: если на поверхности она составляла 275 000 единиц, то на глубине 540 м (см. фиг. 2) величина этого коэффициента составила всего 540. Таким образом, ранее сделанные расчеты градиента  $K_3$  и определенная на его основе глубина залегания среднерудного интервала, по разработанному эталону, полностью подтверждены.

*Рудопроявление Ветвисто-Рогатое* (бассейн реки Арму) расположено в сводовой части крупной антиклинальной складки, в ее северном крыле, сложенном песчано-сланцевой толщей, образование которой условно относится к нижне-среднеюрскому времени. Эти отложения несогласно перекрыты верхнеюрскими-нижнемеловыми песчаниками и флишоидами. Осадочные породы биотитизированы, хлоритизированы и окварцованы. На площади рудопроявления отмечаются отдельные дайки спессартитов субширотного простирания.

Разрывная тектоника изучена слабо. Наибольшее развитие имеют северо-восточные и субширотные нарушения, представленные мощными (до 10 м) зонами дробления. Основными рудо локализирующими структурами является серия субпараллельных трещин северо-западного простирания. Трещины выполнены обогащенными касситеритом прожилками кварц-турмалинового состава с арсенопиритом, галенитом, буланжеритом и пирротиним. Обнажающиеся на поверхности рудоносные зоны, несмотря на высокие содержания олова в отдельных пробах, в целом характеризуются убогой оловоносностью.

Кроме этого, в северо-западной части площади рудопроявления известно несколько жил (жила Константина и др.) с чисто полиметаллической минерализацией, перспективы которых на скрытое оловянное оруденение были не ясны.



Фиг. 2. Результаты проверки глубины залегания среднерудного интервала зоны Северной. Содержание олова в эндогенном ореоле: 1—0,001—0,01%; 2—более 0,01%. 3—средняя величина коэффициента зональности для интервала, указанного точечным пунктиром; 4—зона Северная; 5—буровая скважина

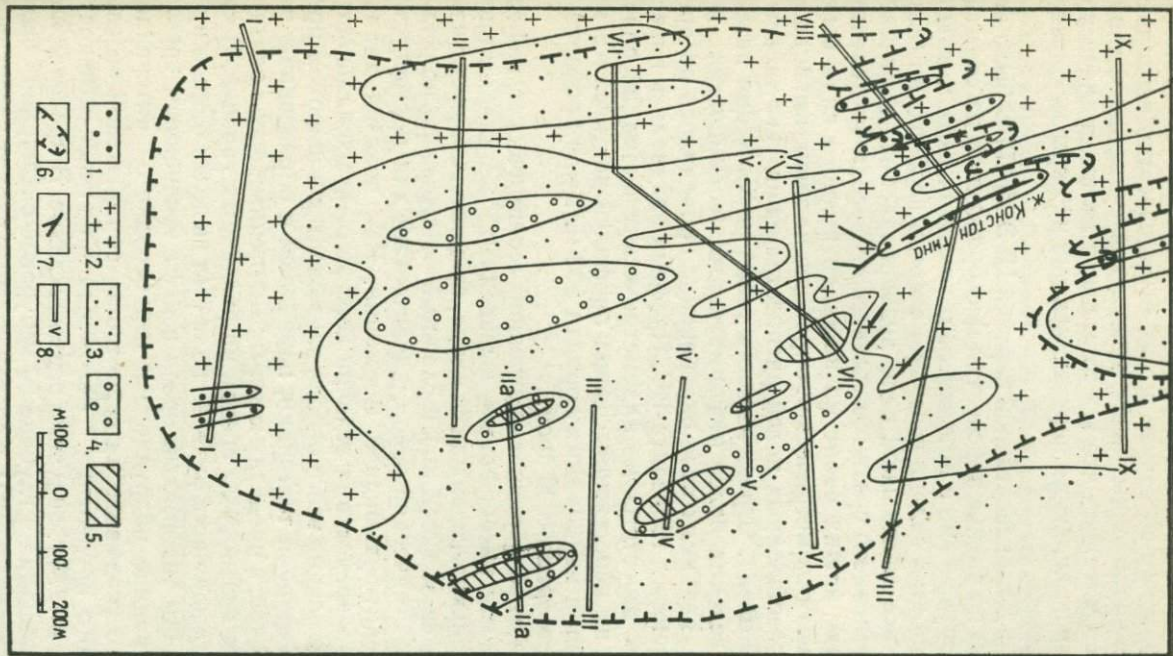
С целью оценки перспектив этой площади на скрытое оловянное оруденение по восьми профилям было проведено геохимическое опробование элювиально-делювиальных отложений (по почвенному горизонту ВС). Расстояние между профилями составляло около 500 м.

Обработка результатов геохимического опробования показала, что геохимическая информация получена по основной части геохимического ореола рудопроявления (фиг. 3). Ореол олова за пределами профилей оконтурен с учетом ранее полученных данных по металлометрическому опробованию. В пределах выделенного контура ореола олова преобладают величины  $K_3$  от 1 до 500, образуя основное поле, в котором отмечаются также участки с величинами коэффициента зональности менее единицы. Для флангов выявленного геохимического ореола характерны участки с величинами  $K_3$  от 500 до 50 000, а в пределах развития рудных зон  $K_3$  имеет величину более 50 000.

Анализ полученного материала, сопоставление его с эталонными горизонтальными срезами эндогенных ореолов (см. фиг. 1) позволили однозначно определить, что эрозионный срез эндогенного ореола рудопроявления Ветвисто-Рагатов вскрыт и соответствует срезу, проходящему примерно по границе среднерудного и нижнерудного интервалов. В связи с этим аномальное поле этого рудопроявления не перспективно для обнаружения скрытого промышленного оловянного оруденения. Жила Константина и аналогичные ей являются жилами с полиметаллическим оруденением, характерным для фланга рудопроявления и не перспективным на скрытое промышленное оловянное оруденение.

Рассмотренный пример наглядно демонстрирует необходимость наиболее полного оконтуривания эндогенного ореола рудопроявления или месторождения в целом при оценке его перспектив на скрытое оловянное оруденение, при оценке же ореолов отдельных рудных тел и рудовмещающих зон могут быть допущены ошибки.

*Рудопроявление Янтарное* расположено в пределах Главного синклинория Сихотэ-Алиня (бассейн р. Бикин). Центральную часть площади месторождения занимает шток верхнемеловых субвулканических пород кислого состава, прорывающий нижнемеловые песчаники и алевролиты. Размеры штока  $700 \times 900$  м. В северной части штока залегает несущая оруденение зона Янтарная, представленная сложной формы



Фиг. 3. Вторичный ореол рассеяния, выраженный в величинах  $K_3$  на рудопроявлении Ветвисто-Рогатом  
 Значения  $K_3$ : 1— $> 50\,000$ ; 2— $500-50\,000$ ; 3— $1-500$ ; 4— $0,001-1$ ; 5— $< 0,01$ ; 6—ореол олова (контур  $\geq 0,001\% \text{ Sn}$ );  
 7—рудные зоны; 8—профили геохимического опробования и их номера.

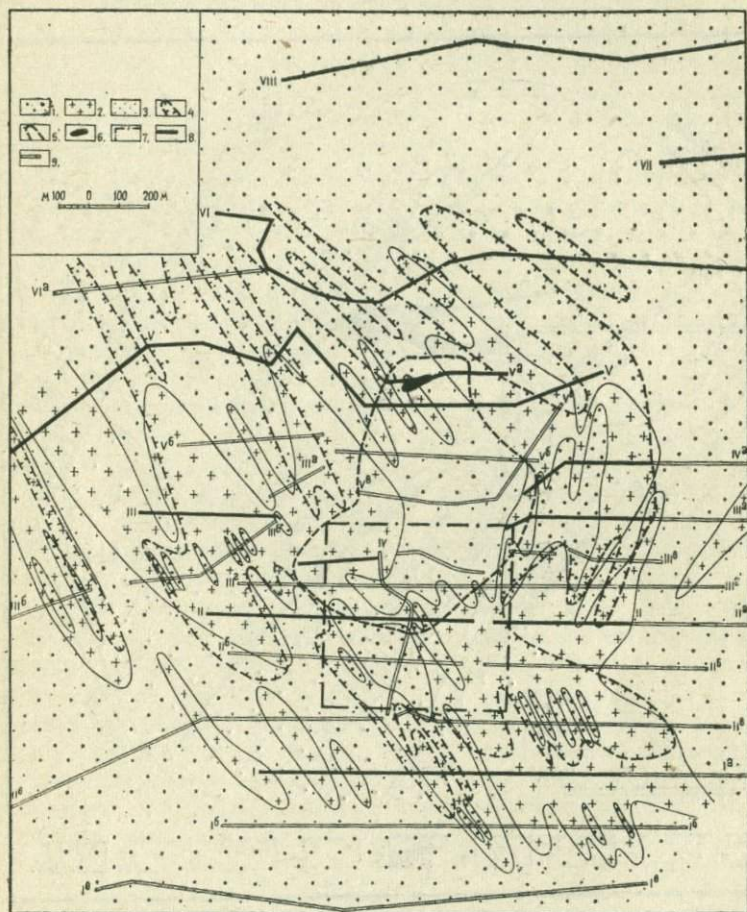
телом метасоматитов кварц-хлоритового состава с касситеритом. Южнее и юго-восточнее штока было известно несколько прожилково-вкрапленных зон с окисленной сульфидной минерализацией. Считалось, что эти зоны несут полиметаллическое оруденение и не являются перспективными на скрытое оловянное оруденение.

В 1971 г. Дальневосточной партией ЦГЭ ИМГРЭ были начаты работы по оценке перспектив месторождения на скрытое оловянное оруденение с применением геохимических методов. Для решения этой задачи в первую очередь необходимо было оконтурить все аномальное поле рудопроявления и оценить уровень эрозионного среза геохимического ореола оруденения.

К началу наших работ на площади рудного поля было проведено металлотрическое опробование почв, выявившее несколько разобщенных полей распространения аномальных содержаний олова. Ограниченность такой информации потребовала проведения более информативных геохимических исследований. Геохимическое опробование проводилось по профилям почвенного горизонта ВС. Профили задавались вкрест простирания известных металлотрических аномалий олова до полного их пересечения. Длина профилей достигала 2 км при расстоянии между ними порядка 500 м. Было пройдено 8 профилей; отобрано 1600 проб.

В результате изучения полученной геохимической информации на месте разобщенных, выявленных металлотрических полей аномальных содержаний олова, был выявлен значительный по размерам (2×2 км) и сложный по строению полиэлементный геохимический ореол, характерный для месторождений касситерит-сульфидной формации. Как показал анализ характера распределения величин коэффициента зональности, сложность строения этого ореола заключается в широком проявлении пострудной тектоники, приведшей к образованию отдельных блоков, в пределах которых эндогенный ореол оказался вскрытым эрозионным срезом на различных уровнях. В частности, в южной части рудного поля был выделен блок, в пределах которого эндогенный ореол вскрыт эрозионным срезом где-то на границе надрудного и верхнерудного интервалов (фиг. 4), что указывало на вероятность обнаружения на глубине скрытого оруденения. Рекомендация перспективности этого блока в 1973 г. получила подтверждение. В пределах выделенной площади на глубине 80 м буровой скважиной были вскрыты оловянные руды, в состав которых входят касситерит, сфалерит, халькопирит, пирротин.

Дальнейшие геохимические исследования на площади этого рудного поля были направлены на более полное оконтуривание ореола и выделение в пределах перспективной площади конкретных рудолокализирующих структур. С этой целью проводилось дополнительное более детальное геохимическое опробование с расстоянием между профилями 100—150 м.

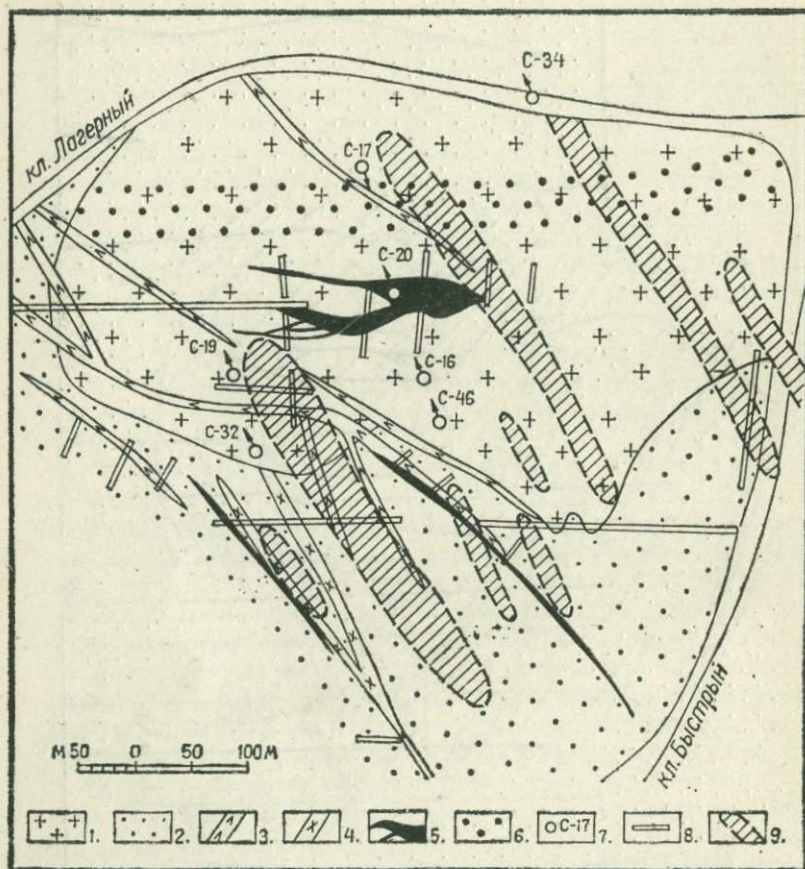


Фиг. 4. Вторичный ореол рассеяния, выраженный в величинах  $K_2$  на участке Янтарином

Значения  $K_2$ : 1—  $> 50\ 000$ ; 2—  $500-50\ 000$ , 3—  $1-50$ ; 4— ореол олова (контур  $\geq 0,001\ \% \text{ Sn}$ ); 5— контур штока субвулканических пород кислого состава; 6— зона Янтариная; 7— участок с перспективными на олово структурами; 8— профиль опробования 1971 г.; 9— профиль опробования 1973 г.

В результате этих детальных работ были выделены три крупных рудолокализирующих структуры северо-западного простирания.

Между тем, местные геологи на этой площади выделяют рудные зоны, с которыми связывают оруденение широтного простирания (фиг. 5). Пройденные, согласно их представле-



Фиг. 5. Структуры южного блока участка Янтарного, выделенные полями развития олова

1—шток субвулканических пород кислого состава; 2—песчаники с прослоями гравелитов; 3—диабазовые порфиры; 4—гранит-порфиры; 5—контуры рудной зоны Фельзитовой, на которые было ориентировано бурение; 6—предполагаемые выходы на поверхность прожилково-вкрапленных зон сфалерит-пирит-халькопнитового состава; 7—скважины и их номера; 8—каналы; 9—концентрация олова  $> 0,01\%$

ниям, скважины, по нашему мнению, оказались пресбуренными в промежутках между рудолокализирующими структурами и параллельно их простиранию.

В заключение следует отметить, что опыт, полученный на основе проведенных геохимических работ по оценке перспектив рудных полей на скрытое оловянное оруденение в Приморье, показал целесообразность следующей последовательности геохимических работ. На первой стадии геохимических работ для определения общих перспектив рудоносности исследуемого участка достаточно проведения геохимического опробования по сетке применительно к масштабу 1:50 000. Как показала практика, такая сеть достаточно информативна для того, чтобы определить состав и оценить уровень эрозионного среза выявленных аномалий. В случае, когда эндогенный ореол вскрыт эрозионным срезом в надрудном или верхнерудном интервалах, при геохимических работах, проводимых для оценки рудопроявления (аномалии), необходимо осуществление второй стадии геохимических исследований. На этой стадии главными задачами являются выделение конкретных рудолокализирующих структур и определение глубины залегания среднерудного интервала, т. е. глубины, на которой вероятно залегание максимальной концентрации оруденения. Решение этих задач требует более детальной сети опробования по профилям, располагающимся применительно к масштабу 1:10000, и с соответствующим шагом отбора проб. Определение глубины залегания среднерудного интервала производится через установление градиента коэффициента зональности на глубину. С этой целью необходимо вкрест простирания рудолокализирующих структур пройти профиль скважин перекрытого бурения.

Достоверность геохимических работ, проводимых для решения поставленных задач, будет существенно повышена, если параллельно с ними будут проводиться геологические наблюдения, направленные на уточнение геологического строения изучаемых площадей и объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Кравченко Э. С., Морозова Т. А. Геохимическая зональность эндогенных ореолов касситерит-сульфидных месторождений как критерий оценки геохимических аномалий. — В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений». М., Изд. ИМГРЭ, 1971, вып. 6.

Кравченко Э. С. Геохимические критерии, используемые при поисках скрытого и перекрытого оловянного оруденения в условиях Приморья. В сб. «Геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных месторождений». М., Изд. ИМГРЭ, 1973.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ КОНТАКТОВО-МЕТАСО- МАТИЧЕСКИХ МАГНЕТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА УРАЛЕ

Основными объектами добычи железных руд на Урале являются в настоящее время контактово-метасоматические магнетитовые месторождения. Для обеспечения черной металлургии Урала необходимо постоянное пополнение и расширение ее сырьевой базы, прежде всего за счет открытия новых скрытых месторождений и рудных тел в районах действующих горнодобывающих предприятий. За последние годы на Урале выявлен ряд глубокозалегающих (до 1 км и более) контактово-метасоматических магнетитовых месторождений и рудных тел (Южно-Лебяжинское, северный фланг Гороблагодатского, Талкульское, Кужайское и др.), что указывает на большие перспективы глубоких горизонтов известных железорудных районов. В связи с этим на Урале и в других железорудных провинциях Советского Союза большое внимание уделяется повышению эффективности прогнозирования и поисков месторождений железных руд.

В настоящее время основным методом прогнозирования и поисков скрытых контактово-метасоматических железорудных месторождений является магнитометрический. Однако возможности этого метода ограничиваются практически глубиной 200—300 м. При больших глубинах залегания магнетитовых тел напряженность магнитного поля на поверхности резко уменьшается. Так, Е. М. Ананьева и др. (1972) показали, что магнетитовая залежь шарообразной формы с запасами 250 млн. т, залегающая на глубине 700—800 м (по верхней кромке), создает на поверхности аномалию с напряженностью 500Г. Аномалии над такими телами широкне, расплывчатые и не выделяются по своим параметрам среди множества аномалий подобной же интенсивности, но имеющих неруд-

ную природу и создаваемых обычно магматическими породами основного состава. Отсюда возникает необходимость выделения среди многочисленных магнитных аномалий слабой интенсивности тех, которые связаны с глубокозалегающими рудными телами. На необходимость разработки надежных критериев разбраковки магнитных аномалий слабой интенсивности указывалось в решениях Уральской сессии отделения наук о Земле АН СССР и Министерства геологии СССР (июль 1968 г.).

Принципиальное решение проблемы поисков глубокозалегающих железорудных месторождений контактово-метасоматического типа может быть получено только в результате привлечения новых методов исследований в дополнение к магнитометрическому. Как показал опыт работ на других типах рудных месторождений, высокоэффективным методом глубинного прогнозирования и поисков являются поиски по эндогенным геохимическим ореолам. Несмотря на длительную историю изучения контактово-метасоматических магнетитовых месторождений Урала (Заварицкий, 1927; Овчинников, 1960; Коржинский, 1969; Баклаев, 1973 и многие другие), возможности использования закономерностей распределения микроэлементов в околорудном пространстве этих месторождений для целей прогнозирования и поисков стали рассматриваться лишь в последнее время (Овчинникова, Туголесов, 1971; Рябов, Павлов, 1971; Павлов, Фоминов, 1972; Овчинников и др. 1972).

В настоящей статье на основании данных обобщения результатов многолетних (с 1967 г.) исследований эндогенных геохимических ореолов контактово-метасоматических месторождений Урала, проводимых в Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ, рассмотрены основные закономерности состава и строения ореолов и вытекающие из них критерии интерпретации и оценки геохимических аномалий, связанных с железорудными проявлениями. Для этого также привлекались данные изучения ореолов из магнетитовых месторождениях Тургая (Г. С. Головков, Ю. М. Фоминов, 1967—1969 гг.) В конце статьи кратко рассмотрен опыт геохимического прогнозирования глубокозалегающего магнетитового оруденения в Магнитогорском рудном поле.

### **Методика работ по изучению эндогенных ореолов**

Объектами опытно-методических работ служили месторождения в основных железорудных районах Урала: Высокогорское, Лебяжинское, Южно-Лебяжинское, рудопроявление

аномалии А-1-55 — в Тагило-Кушвинском районе, Березки, Подотвальное — в Магнитогорском рудном поле, Теченское — в Теченском рудном поле, Талкульское, Сорское и др. — в Гургае. Для разработки методики геохимических поисков особо важными явились данные изучения надрудных зон ореолов над глубокозалегающими рудными телами (Южно-Лебяжинское, Талкульское месторождения).

Изучение ореолов месторождений производилось обычно по серии глубоководных разведочными и поисковыми скважинами поперечных разрезов. Основным видом полевых работ служило геохимическое опробование керна скважин, которое производилось способом пунктирной борозды. Интервал опробования определялся, исходя из мощности и типа геологических образований, и колебался от десятков сантиметров до 10—20 м, составляя в среднем 5—6 м. Вес геохимических проб — 150—200 г.

Пробы анализировались в лаборатории Бронницкой ГГЭ ИМГРЭ спектральным приближенно-количественным методом (способ просыпки на ДФС-13) на широкий круг элементов (до 31): Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Ge, As, Sb, Hg, Bi, Sc, Y, Zr, Mo, Ce, La, W, B, P, Ba, Sr, Be, Li, Rb, Cs.

Выделение ореолов производилось в границах минимально-аномальных содержаний, соответствующих 97,7% вероятности. В связи с широким развитием на магнетитовых месторождениях процессов выноса элементов выделялись как положительные геохимические аномалии — ореолы накопления элементов, так и отрицательные аномалии — ореолы выноса элементов. Определение параметров фонового распределения элементов и соответственно — минимально-аномальных содержаний производилось отдельно для основных типов пород.

Для характеристики уровня аномальных концентраций элементов (интенсивности их ореолов) использовались величины минимально-аномальных содержаний элементов различной вероятности:  $Ca_1$ —84,1%,  $Ca_2$ —97,7%,  $Ca_3$ —99,9% и соответственно как низкоаномальные рассматривались концентрации в пределах  $Ca_1$ — $Ca_2$ , среднеаномальные —  $Ca_2$ — $Ca_3$  и высокоаномальные —  $\geq Ca_3$ .

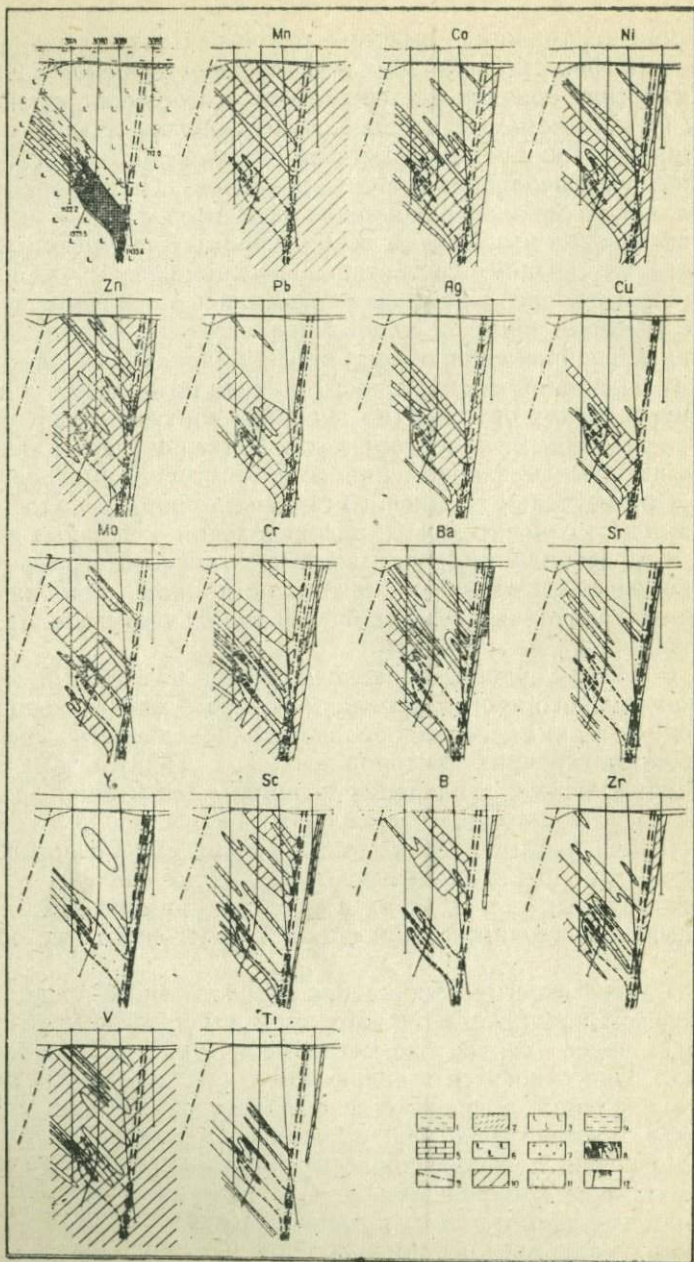
При обработке полученных аналитических материалов в связи с полиэлементным составом ореолов оказалось необходимым отстраивать наряду с моноэлементными ореолами комплексные геохимические ореолы, отражающие распределение 3—6 ореолообразующих элементов. Для этого был применен метод полей естественных ассоциаций элементов. С целью по-

лучения наглядного и вместе с тем объективного представления о морфологии, размерах и внутреннем строении общих геохимических ореолов месторождения, которые включают ореолы 16—17 элементов и более, использовался способ изображения ореолов в полях различной комплексности состава (по количеству ореолообразующих элементов). Общие ореолы выделялись по ореолам накопления элементов, так как использование ореолов выноса для всех изучаемых элементов затруднено ввиду низкой чувствительности анализа на ряд элементов. Поэтому ореолы выноса учитывались в основном при анализе строения общих ореолов. Использование способа выделения и изображения общих многокомпонентных ореолов в полях различной комплексности состава позволяет установить размеры общих ореолов (по внешним контурам ореолов наиболее удаленных элементов) и, как будет показано ниже, выявить интересные закономерности их внутреннего строения.

При изучении зонального строения общих ореолов, помимо анализа относительного распределения отдельных элементов и их ассоциаций, использовались такие интегральные количественные показатели зональности, как аддитивные и мультипликативные коэффициенты зональности (Голод, 1967; Овчинников, Григорян, 1970).

В объеме, удовлетворяющем целям разработки методов геохимического прогнозирования скрытого магнетитового оруденения, геохимические ореолы удалось изучить только на глубокозалегающих месторождениях — Талкульском и Южно-Лебяжинском, в пределах которых достаточно вскрыты надрудные зоны общего ореола, тогда как на других месторождениях рудные тела выходят на эрозионную поверхность коренных пород и практически их ореолы изучены лишь на уровне рудных тел. Поэтому в качестве примера ниже кратко описывается геохимический ореол Талкульского месторождения.

Талкульское месторождение расположено в пределах Соколовско-Сарбайского рудного поля в Тургайском (Зауральском) поясе контактово-метасоматических месторождений Урала. Оно относится к скарновому подтипу магнетитовых месторождений и представлено пластовой магнетитовой залежью, мощностью до 300 м, залегающей на глубинах 750—1250 м в гранатовых и пироксен-гранатовых скарнах (фиг. 1). Структура месторождения определяется наличием благоприятного для рудоотложения горизонта известняков и крутопадающих разломов, ограничивающих рудный блок месторож-



дения. Надрудная часть разреза месторождения сложена андезит-базальтовыми и базальтовыми порфиридами и их туфами, которые интенсивно изменены: альбитизированы, хлоритизированы, эпидотизированы, карбонатизированы и гематитизированы. Эпидотизация и хлоритизация затрагивают также и скарны.

Геохимические ореолы месторождения изучались в вертикальном поперечном разрезе по профилю глубоких скважин и в плане на поверхности палеозойского фундамента — по керну картировочных скважин. В околорудном пространстве месторождения исследовано распределение Mn, V, Ti, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, Mo, B, Ba, Sr, Y, Zr и Sc. Все эти элементы встречаются в аномальных концентрациях, образуя общий геохимический ореол месторождения. При этом для Mn, Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, Ag, Mo установлены только аномалии накопления, а для Ti, Cr, B, Ba, Sr, Y, Zr и Sc — аномалии как накопления, так и выноса.

Прослеженная вертикальная протяженность общего геохимического ореола превышает 1400 м, в том числе над рудным телом — 1000 м. Площадь распространения ореола на поверхности палеозойских пород превышает  $4,5 \times 2,3$  км. Морфология общего ореола месторождения и слагающих его ореолов отдельных элементов характеризуется сочетанием пологих полей, развитых согласно с залеганием горизонтов вулканитов и осадочных пород, и крутопадающих полей, приуроченных к зоне разлома (см. фиг. 1).

Наиболее широко распространены на месторождении ореолы накопления Mn, Zn и V. Они в полях  $Ca_2$  и  $Ca_3$  развиты фактически по всему изученному разрезу, включая подрудные сечения, и в пределах изученной поверхности коренных пород. Максимальные концентрации цинка приурочены к рудам, марганца — к скарнам, а ванадий относительно равномерно распределен в разрезе.

Близкое распределение имеют ореолы накопления Co, Ni, Ag, Pb, Cu и Mo. Они развиваются преимущественно в

*Фиг. 1. Геологическое строение и эндогенные геохимические ореолы Mn, Co, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu, Mo, Cr, Ba, Sr, Y, Sc, B, Zr, V и Ti в поперечном разрезе Талкульского месторождения*

1—глины и суглинки; 2— кора выветривания; 3—андезит-базальтовые порфириды и их туфы; 4—туффиты; 5—известняки; 6—андезитовые порфириды и их туфы; 7—скарны; 8—магнетитовые руды: а) на геологическом разрезе, б) на разрезах с ореолами; 9—разрывные нарушения; 10—ореолы накопления элемента в контурах  $+Ca_2$ ; 11—ореолы выноса элемента в контурах  $-Ca_2$ ; 12—геохимически опробованные скважины

висячем боку рудно-скарновой зоны, на расстоянии до 200—350 м от рудной залежи и в зоне крутопадающего нарушения — до поверхности коренных пород.

Максимальные концентрации ( $>Ca_2$ ) почти всех этих элементов устанавливаются в рудах, только медь и молибден концентрируются преимущественно в скарнах.

Для хрома характерны ореолы накопления, широко развитые в висячем и лежащем боках рудной залежи и вдоль зоны разлома. Низкоаномальные ( $<Ca_2$ ) поля выноса хрома установлены только в пределах рудной залежи.

Цирконий и скандий выносятся из рудной залежи (со стороны лежащего бока) и образуют ореолы накопления преимущественно в надрудной толще пород и в зоне разлома, вдоль которой последние достигают поверхности коренных пород.

Из рудно-скарновой зоны интенсивно выносятся, с образованием ореолов выноса, Ba, Sr, B, Y и Ti. Их концентрации в рудах и скарнах значимо ниже, чем в исходных известняках и вулканитах. Ореолы выноса Ba, Sr, Y, Ti установлены также во вмещающих измененных вулканитах. Ореолы накопления этих элементов имеют в основном низкую интенсивность ( $<Ca_2$ ) и пользуются ограниченным распространением на удалении от рудных тел, преимущественно в зоне разлома. Исключение из этого составляет бор, ореолы накопления ( $>Ca_2$ ), которого развиты в 350—700 м выше рудной залежи.

Таким образом, по особенностям распределения в вертикальном разрезе общего ореола Талкульского месторождения отчетливо выделяются две группы элементов, проявляющих отчетливо выраженный антагонизм: а) Mn, Zn, Co, Ni, Ag, Pb, Cu и Mo концентрируются в рудах и скарнах; б) Ba, Sr, B, Y, Ti, Zr, Sc, Cr выносятся из руд и скарнов.

Ванадий в условиях Талкульского месторождения не обнаруживает отчетливой приуроченности к той или иной группе, но на других месторождениях он выносятся из скарнов и соответственно является характерным элементом второй группы.

Закономерная дифференциация ореолов элементов двух выделенных групп в общем ореоле получает наглядное выражение в распределении полей различной комплексности состава (фиг. 2а, б). Если элементы первой группы образуют поля высокой комплексности состава (совмещения ореолов пяти элементов и более) на расстоянии до 250 м над рудной залежью и в зоне рудоконтролирующего разлома, то ореолы на-

копления элементов второй группы, наоборот, образуют поля комплексного элементного состава (три элемента и более) за пределами рудно-метасоматической зоны, на расстоянии до 1000 м над рудной залежью. Все это позволяет выделять в строении общего ореола, по меньшей мере, две зоны: внутреннюю и внешнюю. Внутренняя зона охватывает околорудную часть разреза на расстоянии до 250 м над рудной залежью; для нее характерны ореолы накопления элементов первой группы (Mn, Zn, Co, Ni, Ag, Pb, Cu, Mo), а также V, Cr и ореолы выноса элементов второй группы (Ba, Sr, B, Y, Ti, Zr, Sc, за исключением Cr). Внешнюю зону общего ореола на удалении от 250 м до 1000 м и более над рудной залежью образуют ореолы накопления элементов второй группы, а также Mn, Zn, V. Для внутренней зоны характерны поля более высокой комплексности состава (7—8 элементов и более), чем для внешней зоны (3—4, реже 5—6 элементов).

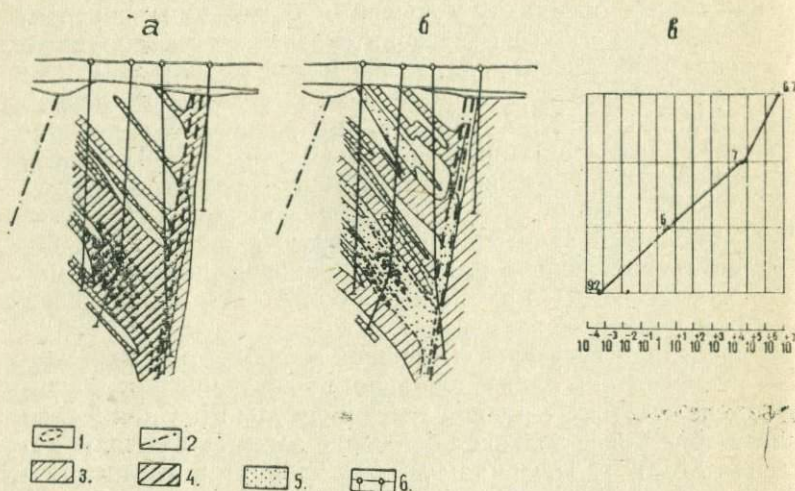
В пределах внутренней и внешней зон общего ореола элементы распределены также зонально: во внутренней зоне наиболее тесно тяготеют к рудной залежи ореолы Pb, Cu, и Ag, во внешней зоне более верхнее положение занимают ореолы накопления Sc, B, Y, Ti. Зональный ряд элементов, установленный на основании изменения величин парных соотношений средних (для интервалов по 200 м) содержаний элементов, в направлении снизу вверх имеет следующий вид: Ag—Zn—Ni—Cu—Pb—Mn—Co—Mo—Cr—Zr—V—Sr—Ba—Y—Sc—B—Ti.

Вертикальная зональность ореола подтверждается закономерным изменением по вертикали величин  $K_3$ , рассчитанных в различных вариантах. Наиболее стабильно и контрастно изменяется величина мультипликативного  $K_3 = \frac{C_{Ti} \cdot C_V \cdot C_{Cr} \cdot C_B}{C_{Mn} \cdot C_{Co} \cdot C_{Ni}}$

$\frac{C_{Ba} \cdot C_{Sr} \cdot C_{Cs} \cdot C_{Zr}}{C_{Zn} \cdot C_{Cu} \cdot C_{Pb} \cdot C_{Ag} \cdot C_{Mo}}$  — от  $9,2 \cdot 10^{-3}$  на уровне рудной залежи до  $6,7 \cdot 10^{-7}$  в наиболее удаленных надрудных сечениях внешней зоны ореола.

Геохимические ореолы, близкие по элементному составу и особенностям зонального строения ореолу Талкульского месторождения, выявлены и на других контактово-метасоматических магнетитовых месторождениях. Вместе с тем очевидным являются и значительные различия некоторых особенностей ореолов отдельных месторождений.

Это обуславливает необходимость краткого сравнительного рассмотрения общих особенностей состава, строения и формирования ореолов железорудных месторождений Урала.



Фиг. 2. Комплексные эндогенные геохимические ореолы Mn, Co, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu, Mo (а) и V, Cr, B, Ba, Sr, Zr, Sc (б) в поперечном разрезе и график изменения средних значений  $K_3$  по вертикали (в), (Талкульское месторождение)

1—контуры рудного тела; 2—разрывные нарушения; 3—5 — комплексные ореолы в полях совмещения; 3—ореолов накопления 3—4 элементов, 4—ореолов накопления 5 элементов и более; 5—ореолов выноса 3 элементов и более; 6—геохимически опробованные скважины

### Общие особенности состава, строения, и формирования геохимических ореолов

**Состав ореолов.** В формировании общих геохимических ореолов контактово-метасоматических магнетитовых месторождений принимает участие следующий комплекс элементов: Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, Mo, Ge, Sn, B, P, Ba, Sr, Y, Zr, Sc. Подавляющее большинство этих элементов образует как ореолы накопления, так и ореолы выноса. Только для тех элементов, фоновые содержания которых во вмещающих породах ниже порога чувствительности анализа (Ag, Ge, на некоторых месторождениях Sc) или незначительно превышает его (Ni на некоторых месторождениях), не устанавливается аномалий выноса. При существующей чувствительности ана-

лиза в околорудном пространстве магнетитовых месторождений практически не обнаружены аномалии Be, W, As, Sb, Bi.

На большинстве изученных месторождений широко проявлены ореолы накопления Mn, Zn, Co, Cu и незначительно Sn, Y, Zr, Ge. Интенсивность ореолов относительно невысокая: для большинства элементов характерны среднеаномальные концентрации ( $Ca_2-Ca_3$ ) и только для Mn, реже Cu, Co и других элементов устанавливается широкое проявление высокоаномальных концентраций ( $\geq Ca_3$ ).

По масштабам и интенсивности проявления ореолов отдельных элементов могут существенно различаться месторождения в разных рудных полях, а иногда месторождения одного рудного поля. Так, для месторождений Магнитогорского рудного поля характерно постоянное и относительно широкое развитие ореолов серебра и германия. На месторождениях Тагило-Кувшинского района ореолы германия выявляются редко, серебро образует узкие слабоконтрастные ореолы, но здесь более широко и интенсивно проявлены ореолы марганца.

Масштабы и интенсивность проявления ореолов накопления или выноса тех или иных элементов находятся в определенной зависимости от того, как широко развиты на месторождениях метасоматиты различного типа — скарны, штоксен-полевошпатовые породы и магнетитовые руды. Тесная связь ореолов ряда элементов с метасоматитами или рудами отчетливо проявляется на всех месторождениях, для других элементов она менее определена.

В связи с рассмотрением соотношений геохимических ореолов с метасоматитами необходимо сделать следующие общие замечания. Согласно общепринятым представлениям (Коржинский, Овчинников, Жариков и др.), на контактово-метасоматических скарновых магнетитовых месторождениях скарны и сопутствующее им магнетитовое оруденение являются образованиями единой ранней (щелочной) стадии постмагматического метасоматического процесса. Закономерности взаимосвязанного распределения ореолообразующих элементов в общем геохимическом ореоле, как показано выше на примере Талкульского месторождения, указывают на его принадлежность к единой целостной и упорядоченной системе, подтверждая тем самым генетическую сопряженность скарно- и рудообразования. Поэтому попытки разделения ореолов скарнов и ореолов магнетитовых руд следует считать искусственными, не соответствующими природным соотноше-

ниям этих образований. Наличие определенной геохимической специализации скарнов, пироксен-полевошпатовых пород и магнетитовых руд в отношении ореолообразующих элементов не противоречит генетическому единству общих ореолов контактово-метасоматических магнетитовых месторождений, а наоборот, отражает это единство.

Связи ореолообразующих элементов с метасоматитами и рудами достаточно четко выявляются при анализе распределения полей аномальных концентраций элементов в пределах руднометасоматических зон месторождений. Для более объективного анализа связей отдельных элементов и их ассоциаций с определенными типами метасоматитов и магнетитовыми рудами на основании количественных параметров распределения элементов были рассчитаны их средневзвешенные содержания в рудах и метасоматитах, не затронутых последующими изменениями. На месторождениях, где высокотемпературные метасоматиты значительно переработаны поздними паложенными гидротермальными процессами, для этих целей выбиралась наименее измененные разновидности метасоматитов. Значительное (выше уровня  $\pm Ca_1$ ) отклонение средних содержаний в рудах и метасоматитах от фоновых содержаний в исходных породах служило основанием для вывода о привносе или выносе элементов в процессе метасоматоза и рудообразования.

В результате проведенных исследований установлено, что на всех месторождениях наиболее устойчивые ассоциации элементов, образующих аномальные концентрации, присущи магнетитовым рудам. Для них характерно, по сравнению с первичными породами, накопление Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Ag, реже Pb, V, Y и вынос Ti, Sc, Ba, Sr, B, реже Cr, Sn. При сравнении концентраций элементов в рудах и вмещающих их метасоматитах выявляется, что руды относительно метасоматитов на большинстве месторождений обеднены свинцом и оловом. Учитывая, что магнетитовые руды развиваются по метасоматитам, есть основание относить свинец и олово к группе элементов, выносимых из участков рудоотложения. Руды обычно обеднены марганцем по сравнению со скарнами, но магнетитовые залежи внутри пироксен-полевошпатовых пород отличаются от последних резко повышенным содержанием марганца.

Ассоциации ореолообразующих элементов, присущих скарнам и пироксен-полевошпатовым породам, менее стабильны. Для скарнов характерно накопление Mn, Sn, Ge, реже Co, Ni, Zn, Pb, Cu, Ag и вынос Ti, Ba, Sr, реже V,

Sc, Cr, Y, Zr. В пироксен-полевошпатовых метасоматитах накапливаются Ba, Sr, Ni, Mo, Pb и выносятся Y, Sc, Sn, B, Zr, а распределение Mn, Co, V, Zn закономерно: устанавливается как накопление, так и вынос.

Необходимо отметить существенные различия геохимических особенностей метасоматитов на крупных и мелких месторождениях. В скарнах крупных месторождений (Высокогорское, Талкульское, Лебяжинское) накапливается более обширная гамма элементов, в частности Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, тогда как для скарнов мелких месторождений (Березки, Теченское, Южно-Лебяжинское) характерно накопление только Mn и Sn, а на месторождении Березки также Ge. В пироксен-полевошпатовых метасоматитах на крупных месторождениях (Восточно-Ревдинский участок Высокогорского месторождения, Лебяжинское) накапливаются Mn, Co, V, Zn, которые выносятся при образовании этих метасоматитов на мелких месторождениях (Теченское, Ново-Медиорудянский участок Высокогорского месторождения, рудопроявление аномалии А-1-55). Эти различия геохимических особенностей метасоматитов получают свое объяснение в том, что на крупных месторождениях процессы средне- и низкотемпературных гидротермальных изменений (эпидотизации, хлоритизации, карбонатизации) скарнов и пироксен-полевошпатовых пород проявлены более широко и интенсивно, чем на мелких месторождениях. Кроме того, на крупных месторождениях в пироксен-полевошпатовых породах широко распространены прожилки и вкрапленность граната и магнетита, а в скарнах — вкрапленность магнетита. Соответственно в скарнах крупных месторождений накапливаются элементы, характерные для магнетитовых руд, а в пироксен-полевошпатовых породах — элементы руд и скарнов. Иными словами, в геохимических особенностях метасоматитов отчетливо проявляется наложение скарнирования на пироксен-полевошпатовые породы, магнетитовой минерализации — на скарны и пироксен-полевошпатовые породы.

Суммируя данные по всем изученным месторождениям и учитывая рассмотренные выше осложнения геохимической специализации метасоматитов, можно выделить следующие ассоциации элементов-индикаторов, типоморфных для метасоматитов и магнетитовых руд (табл. 1).

Накопление элементов в ореолах за пределами метасоматических образований ранней щелочной стадии (пироксен-полевошпатовых пород, скарнов, магнетитовых руд) связано с

Типоморфные ассоциации элементов-индикаторов  
магнетитовых руд и метасоматитов  
на контактово-метасоматических месторождениях железа

Типы рудно-метасоматических образований	Ассоциации элементов	
	Накопление	Вынос
Пироксен-полевошпатовые породы	<u>Ba</u> , <u>Sr</u> , Ni, Mo, Pb	<u>Ti</u> , Sc, B, Sn, Mn, Co, Zr, V, Y, Zr
Скарны	<u>Mn</u> , <u>Sn</u> , Ge	<u>Ti</u> , <u>Ba</u> , <u>Sr</u> , B, V, Y, Zr
Магнетитовые руды	<u>Co</u> , <u>Ni</u> , <u>Zn</u> , <u>Cu</u> , Ag	<u>Ti</u> , <u>Sc</u> , <u>Ba</u> , <u>Sr</u> , B, Cr, Sn

Примечание: подчеркнуты элементы, наиболее характерные для данного типа метасоматитов и магнетитовых руд.

альбитизацией, эпидотизацией, хлоритизацией, карбонатизацией и гематитизацией вмещающих пород.

**Размеры и морфология ореолов.** Эндогенные геохимические ореолы изученных месторождений имеют весьма значительные размеры. Так, ширина общего ореола Высокогорского месторождения в поперечном направлении достигает 1200 м. На мелких месторождениях размеры ореолов меньше — их ширина составляет первые сотни метров. На Южно-Лебяжийском и Талкульском месторождениях вертикальная протяженность надрудных ореолов превышает 1,0 км. Таким образом, объемы общих геохимических ореолов контактово-метасоматических месторождений железа в десятки раз превышают объемы магнетитовых рудных залежей.

Вследствие резкой дифференциации элементов в пределах общего ореола моноэлементные ореолы, взятые в отдельности, не дают представления о морфологии и структуре общего ореола. Более объективно структурно-морфологические особенности ореолов выявляются в распределении полей различных ассоциаций элементов, и в частности, полей различной комплексности состава, выделенных по количеству элементов, образующих ореолы накопления (сравните фиг. 1 и фиг. 2).

Наиболее широко в общем геохимическом ореоле распространены поля трех-четырёх элементов, которые по периферии общего ореола сменяются полями моно- и биеlementного состава. Относительно локальное развитие имеют поля более комплексного состава — до 7—8, реже до 9—12 элементов.

Они обычно имеют отчетливую пространственную связь с участками рудоотложения, широко развиваясь в их всячем боку (Сорское, Талкульское, Высокогорское) или по восстанию рудоконтролирующих структур (Лебяжинское, Южно-Лебяжинское). Такие полиэлементные поля устанавливаются на продолжении рудных тел по простиранию после их выклинивания (Сорское, Лебяжинское).

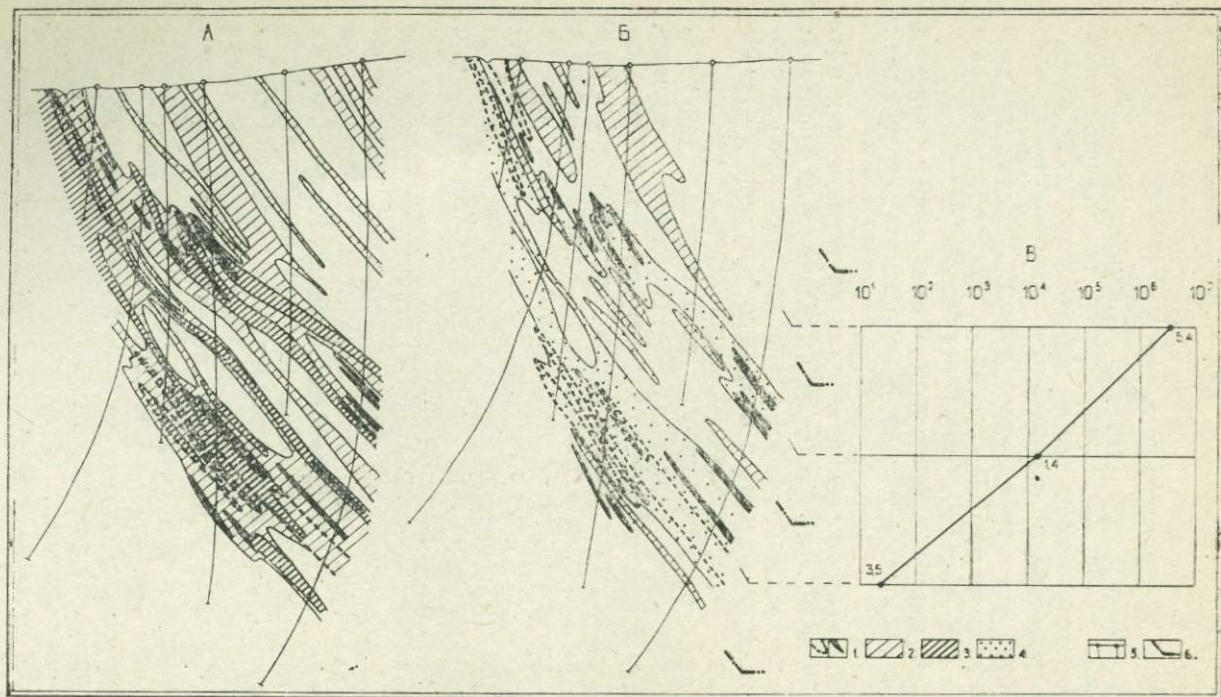
По особенностям геолого-структурных условий локализации и морфологии ореолы изученных месторождений разделяются на два структурно-морфологических типа.

1. Ореолы месторождений в пологопадающих слоистых вулканогенно-осадочных толщах с межпластовыми рудными телами.

2. Ореолы месторождений в зонах крутопадающих разрывных нарушений, среди которых выделяются два подтипа: а) ореолы с близпараллельным распределением полей различных ассоциаций элементов и б) ореолы с веерообразным распределением полей различных ассоциаций элементов.

Морфология ореолов первого типа определяется сочетанием пологих и крутопадающих полей высокой комплексности, развивающихся соответственно по напластованию вулканогенно-осадочных толщ и зонам крутопадающих разломов. Так, на Сорском месторождении, локализованном в известняках на экзоконтакте диоритового массива, ореолы имеют согласное субгоризонтальное залегание. На Талкульском месторождении ореолы развиваются согласно в толще вулканогенно-осадочных пород и проявляют тесную связь с крутопадающим разломом (см. фиг. 2).

Первый подтип ореолов второго структурно-морфологического типа, отличающийся близпараллельным распределением полей различных ассоциаций элементов, характерен для месторождений в крутопадающих вулканогенно-осадочных толщах, залегание которых осложнено крупными разрывными нарушениями, нередко имеющими межпластовый характер. Типичным представителем этого подтипа является ореол Соколовского месторождения, в пределах которого поля различной комплексности образуют крутопадающие близпараллельные полосы, залегающие согласно с падением ореолоконтролирующих структур. Несколько более сложное строение имеет ореол Высокогорского месторождения. В его пределах близпараллельные крутопадающие зоны высокой комплексности состава соединяются между собой менее крутыми зонами (фиг. 3).



Фиг. 3. Комплексные эндогенные геохимические ореолы  $Mn, Co, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu, Mo$  (а) и  $Ti, V, Cr, B, Ba, Sr, Zr, Sc$  (б) в поперечном разрезе и график изменения средних значений  $K_3$  в поперечном направлении—от лежащего бока к висячему (в). (Высокогорское месторождение, Восточно-Ревдинский участок).

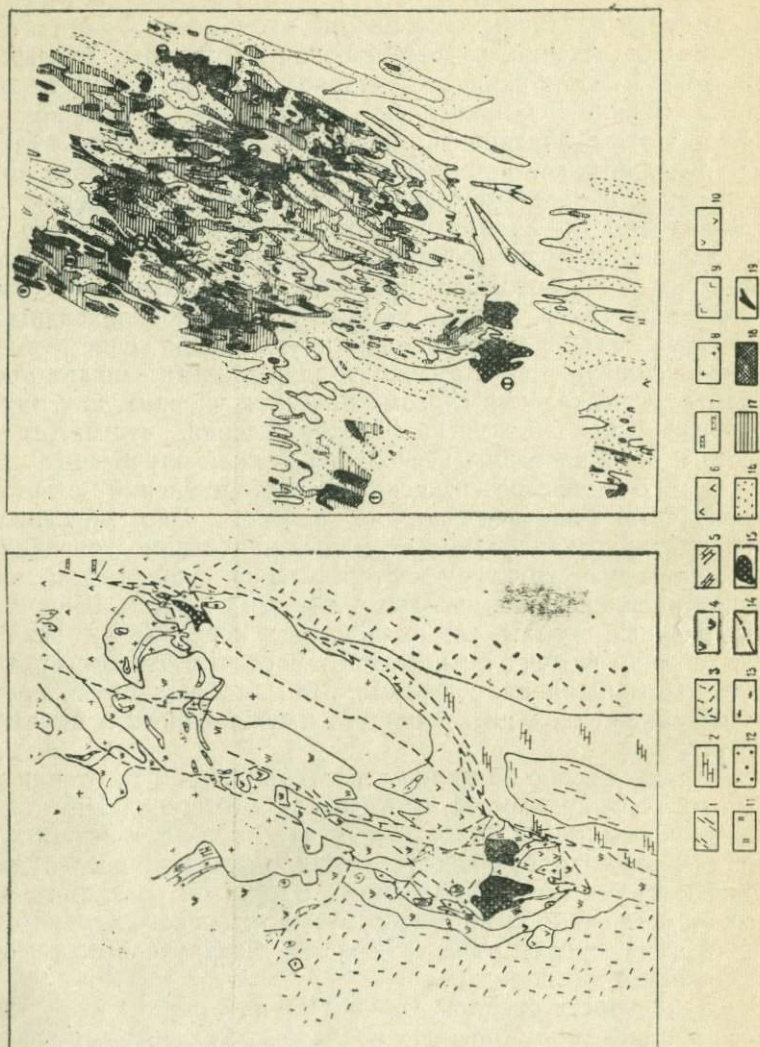
1—контуры крупных рудных тел и мелкие рудные тела; 2—4 — комплексные ореолы в полях совмещения; 2— ореолов накопления 3—4 элементов, 3—ореолов накопления 5—элементов и более; 4—ореолов выноса 3 элементов и более; 5—геохимически опробованные скважины; 6 — границы блоков для расчета среднего  $K_3$

Второй подтип ореолов — с веерообразным распределением полей различных ассоциаций элементов — характерен для месторождений, рудовмещающие структуры которых сопряжены с более крупными рудоконтролирующими нарушениями (Южно-Лебяжинское, Лебяжинское, Теченское). В ореолах этого подтипа устанавливается отчетливое сближение ореольных зон повышенной комплексности состава по падению к прикорневым частям рудно-метасоматических зон, что является, по-видимому, отражением веерообразного пучка, характерного для объемной структуры рудно-метасоматических зон некоторых контактово-метасоматических месторождений железа. Рудные тела могут быть локализованы как в крутых, так и в пологих зонах пучка. Сопряжение рудовмещающих нарушений с рудоконтролирующими может происходить на нескольких гипсометрических уровнях, как, например на Южно-Лебяжинском месторождении, что может привести к возникновению нескольких этажей оруденения.

На большинстве изученных месторождений отчетливо проявляется блоковое строение ореолов. Оно обусловлено тем, что крутопадающие разрывные нарушения, определяющие блоковую структуру месторождений, существенно влияют на распределение ореолов в смежных блоках. Широкие и интенсивные ореолы, установленные в пределах рудных блоков, обычно не прослеживаются в соседних блоках, отделенных разрывными нарушениями, где наблюдаются ореолы резко пониженной интенсивности и обедненного элементного состава.

Следует особо подчеркнуть, что при общем тяготении изученных контактово-метасоматических месторождений к экзо-контактовым зонам интрузивных массивов не отмечается существенного влияния конфигурации контактов последних на морфологию и строение ореолов. Вдоль зон разломов, как это хорошо видно на примере Магнитогорского рудного поля (фиг. 4), ореолы развиваются как в интрузивных, так и во вмещающих их породах.

**Зональность ореолов.** Сравнительный анализ относительного распределения ореолов различных элементов в поперечных вертикальных разрезах изученных месторождений позволил установить их следующую пространственную дифференциацию в общем ореоле (см. фиг. 1, 2, 3) : к нижней части (к околорудному пространству) приурочены ореолы накопления элементов-индикаторов магнетитового оруденения (Zn, Cu, Pb, Ag, Mo, Co, Ni), несколько выше их находятся поля мак-



Фиг. 4. Схематическая геологическая карта Магнитогорского рудного поля (по А. Д. Штейнбергу, Г. Б. Ферштатеру и др.) и карта комплексных геохимических аномалий Mn, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Ag, Mo, Ti, V, Cr, Ba, Sr

1—алевролиты, песчаники уртазымской свиты ( $C_2$ ); 2—известняки и доломиты кизильской свиты ( $C_1V_{2-3}$ ); 3—вулканогенные отложения кизильской свиты ( $C_1V_{2-3}$ ); 4—андезитовые, диабазовые и базальтовые порфириды, андезит-трахитовые

симальных концентраций марганца и ореолы олова, а наиболее высокое, удаленное от рудных тел положение занимают ореолы накопления элементов, выносимых из зон рудо- и скарнообразования (Ti, V, Cr, B, Ba, Sr, Y, Zr, Sc). Отсюда вытекает принципиальная возможность и необходимость выделения в общем геохимическом ореоле двух крупных зон, контрастно различающихся по комплексу ореолообразующих элементов: нижней, внутренней зоны, и верхней, внешней. Во внутренней зоне концентрируется комплекс элементов, присутствующих магнетитовым рудам и скарнам, а выносимые из нее элементы формируют внешнюю зону общего ореола.

Указанная особенность зонального строения общих ореолов — с разделением их на внутренние и внешние зоны — наиболее полно проявлена на глубокозалегающих Талкульском и Южно-Лебяжинском месторождениях (см. фиг. 1, 2). В общих ореолах других месторождений в связи с их изучением в основном на окологорудном уровне выявляются лишь фрагменты аналогичной зональности (см. фиг. 3).

Относительное пространственное расположение внутренней и внешней зоны закономерно: внешняя зона всегда занимает более верхнее положение относительно внутренней зоны, находясь выше ее по восстанию рудовмещающих и рудо-контролирующих структур (Южно-Лебяжинское месторождение) или в ее висячем боку (Талкульское, Высокогорское). В зависимости от конкретных геолого-структурных условий локализации ореолов и их пространственного положения относительно рудных тел разделение общего ореола на внутреннюю и внешнюю зоны проявляется как элемент продольной или поперечной вертикальной и горизонтальной зональности. Предельные размеры внешней зоны общего ореола на изученных месторождениях не установлены (ее ширина пре-

порфиры, их туфы, песчаники, кремнистые туффыты, сланцы и известняки березовской свиты ( $C_1t-V_1$ ); 5 — известняки березовской свиты ( $C_1t-v_1$ ); 6 — пироксен-плагиоклазовые порфирыты и туфы колтубанской свиты ( $D_2f_2$ ); 7 — кремнистые сланцы и яшмы мукасовского горизонта ( $D_2gv$ ); 8 — граниты, гранодиориты, граносyenиты; 9 — габбро-диориты, диориты; 10 — диабазовые порфирыты; 11 — альбитовые, кварц-альбитовые, кварц-ортоклаз-альбитовые породы; 12 — скарны и скарноиды; 13 — кварцсерцитовые породы, вторичные кварциты; 14 — разрывные нарушения, установленные и предполагаемые; 15 — магнетитовая руда; 16—19 — комплексные геохимические аномалии в полях совмещения: 16 — 1—2 элементов, 17 — 3—4 элементов, 18 — 5—8 элементов, 19 — 9 элементов и более. Месторождения: 1 — Магнитогорское, 11 — Малый Куйбас. Геохимические аномалии (цифры на фигуре): 1 — Приуральская, 2 — Южно-Московская, 3 — Колумбаевская, 4 — Южно-Куйбасовская, 5 — Зосточная, 6 — Жосовская, 7 — Восточно-Московская, 8 — Северо-Московская, 9 — Грань-Алексеевская

вышает 600 м), так как скважины, по которым производилось изучение ореолов, не выходят за ее пределы. Внутренняя зона распространяется до 600 м выше рудных залежей по их восстанию (Южно-Лебяжинское), ее минимальное удаление от рудных тел (80—100 м) установлено в висячем боку рудопроявления аномалии А-1-55.

В пределах внутренней и внешней зон общих ореолов также намечается тенденция к зональному распределению присущих им элементов. Обычно ореолы накопления Ti, Sc, V, W занимают во внешней зоне более верхнее положение, чем ореолы Ba, Sr, Cr, а во внутренней зоне ореолы Mn, Sn, Ag, Pb, Zn распространяются дальше, чем ореолы Cu, Co, Mo.

Характеризуя зональность общих ореолов, следует особо подчеркнуть то обстоятельство, что при рассмотрении моноэлементных ореолов она выделяется неотчетливо. Это обусловлено не только сложным, мозаичным, часто меняющимся от месторождения к месторождению распределением ореолов отдельных элементов в общем ореоле, но и тем, что ореолы некоторых элементов, присущих внутренней или внешней зоне, могут распространяться в пределах «чуждых» им зон общего ореола. В частности, характерно сквозное (в обеих зонах общего ореола) распределение ореолов накопления Mn, иногда Co, Cu, Zn (см. фиг. 1). Поэтому дифференциация общего ореола на внешнюю и внутреннюю зоны наиболее контрастно проявляется в резко обособленном распределении полей ассоциации элементов, накапливающихся в рудах и скарнах и выносимых из них (см. табл. 1, фиг. 2, 3).

Определяющее значение для расшифровки зонального строения ореолов не отдельных элементов, а их ассоциаций устанавливается и при исследовании количественных показателей зональности. Наиболее контрастно и стабильно (монотонно) изменяется мультипликативный коэффициент зональности ( $K_3$ ), в котором учитываются соотношения произведений концентраций практически всех элементов из ассоциации элементов-спутников магнетитового оруденения и элементов, выносимых при рудо-скарнообразовании:

$$K_3 = \frac{C_{Ti} \cdot C_V \cdot C_{Cr} \cdot C_W \cdot C_{Sr} \cdot C_{Ba} \cdot C_{Sc} \cdot C_{Zr}}{C_{Mn} \cdot C_{Co} \cdot C_{Ni} \cdot C_{Cu} \cdot C_{Zn} \cdot C_{Pb} \cdot C_{Ag} \cdot C_{Mo}}$$

Так, величина среднего  $K_3$  от околорудных к надрудным сечениям закономерно изменяется на Талкульском месторождении от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{+7}$  (фиг. 2), на Высокогорском —

от  $p \cdot 10^{-1}$  до  $p \cdot 10^{+6}$  (см. фиг. 3), Южно-Лебяжинском — от  $p \cdot 10^{-1}$  до  $p \cdot 10^{+4}$ . Следует учитывать, что на Высокогорском и Южно-Лебяжинском месторождениях внешние зоны ореолов сохранились лишь частично, вследствие чего контрастность изменения  $K_3$  не достигает значений, характерных для Талкульского месторождения, с достаточно полно сохранившейся внешней зоной общего ореола.

Для других вариантов  $K_3$ , учитывающих соотношения только части элементов внутренней и внешней зон, также устанавливаются закономерные, но менее контрастные и, главное, менее стабильные изменения их значений в разрезе общего ореола.

**Связи параметров ореолов с масштабами магнетитового оруденения.** Эти связи проявляются в различии масштабов распространения полей различных ассоциаций элементов, а также геохимических особенностей метасоматитов на мелких и крупных месторождениях.

Размеры общих ореолов не всегда соответствуют масштабу магнетитового оруденения. Например, мощность общего ореола в Западном блоке рудопроявления А-1-55 превышает 800 м, тогда как на Лебяжинском месторождении она составляет 450 м. Месторождения различного масштаба отличаются прежде всего по степени проявления в общем ореоле полей различной комплексности состава (табл. 2). На мелких месторождениях (А-1-55, Березки) подавляющая часть общего ореола слагается полями 1—4 элементов, поля 5—6 элементов распространены незначительно (менее 10%), а поля с участием более 6 элементов не установлены. На крупных месторождениях (Высокогорское, Талкульское) большую (>50%) часть общего ореола занимают поля 3—6 элементов, поля 7 и более элементов — более 10%, устанавливаются локальные поля, сложенные 9—12 элементами. При этом следует учесть, что на Высокогорском месторождении, в отличие от Талкульского, Южно-Лебяжинского, надрудные ореолы, имеющие наиболее комплексный состав, эродированы, что несомненно уменьшило их долю в приведенных расчетах.

Более отчетливая зависимость размеров от масштабов магнетитового оруденения устанавливается для ореола халькофильных элементов-спутников магнетитового оруденения (Cu, Zn, Ag, Pb, Mo). На мелких месторождениях они развиваются в виде узких (десятки метров), но имеющих значительную протяженность (сотни метров) полос, а на крупных

месторождениях их ширина достигает нескольких сотен метров.

Различие геохимических особенностей метасоматитов на мелких и крупных месторождениях выражается в том, что на мелких месторождениях метасоматиты, как правило, имеют отчетливую геохимическую специализацию с накоплением одних и выносом других элементов (см. табл. 1), а на крупных месторождениях вынос элементов из метасоматитов проявлен незначительно, и в скарнах и пироксен-полевошпатовых породах часто накапливаются почти все микроэлементы. Это проявляется и в отчетливой пространственной дифференциации элементов в ореолах мелких месторождений: ореолы типоморфных элементов-индикаторов магнетитовых руд и различных типов метасоматитов обычно разобщены, поля их совмещения локальны, тогда как на крупных месторождениях, наоборот, широко проявлено пространственное совмещение ореолов всех элементов, что ведет к образованию обширных полей повышенной комплексности состава.

#### **Критерии интерпретации и оценки геохимических аномалий**

Геохимическое прогнозирование глубокозалегающих железорудных месторождений контактово-метасоматического типа основано на выявлении геохимических аномалий, связанных с железорудными проявлениями данного типа, и их оценке в отношении уровня пересечения, глубины залегания и масштаба предполагаемого скрытого оруденения. Критерии интерпретации и оценки геохимических аномалий вытекают из рассмотренных выше общих закономерностей эндогенных геохимических ореолов железорудных месторождений.

**Интерпретация геохимических аномалий** заключается в определении типа рудной минерализации, обусловившей образование аномалии, а в каждом конкретном случае — в распознавании среди геохимических аномалий тех, которые связаны с железорудной минерализацией контактово-метасоматического типа.

Ореолы контактово-метасоматических месторождений железа, как показано выше, характеризуются сложным полиэлементным составом, относительно невысокой интенсивностью и широким проявлением наряду с ореолами накопления ореолов выноса. Этим они резко отличаются от ореолов других типов эндогенных месторождений на Урале. Преобладание в составе аномалий Cu, Zn, Pb, Ag, Ba, As, Mo, Co, Cd,

**Распространенность полей различной комплексности состава  
в пределах общих геохимических ореолов  
контактово-метасоматических месторождений железа**

Месторождение, разрез	Запасы месторождения в млн. т	Максимальная мощность руд- ных тел в изу- ченных раз- резах в м	Мощность общего гео- химического ореола в м	Распространенность полей различной комплексности состава в пределах общего ореола (в % по отно- шению к изученной площади общего ореола)			
				1—2 элемента	3—4 элемента	5—6 элементов	7 эле- ментов и более
Высокогорское, разрез 9	. 450	80	>1200	40	30	18	12
Талкульское, разрез 14	>100	200	1400	6	17	37	40
Лебяжинское, разрез 17а	70	60	450	24	63	12	1
Южно-Лебяжинское, разрез 39а . . . . .	Не оценено	40	>400	39	30	25	6
Березки, разрез 45 . . .	<10	15	150—200	65	27	8	0
Рудопоявление А-1-55 (Западный блок) . . . .	<10	10—15	>800	70	28,6	1,4	0

Примечание. Общие ореолы отстраивались по 17 элементам, их размеры определялись по контуру распространения ореола наиболее удаленного элемента.

Ві, Au указывает на возможность их связи с колчеданным оруденением (Овчинников, Баранов, 1970). По элементному составу к колчеданным месторождениям близки ореолы медно-порфировых месторождений, но они отличаются широким и интенсивным развитием ореолов меди и молибдена при подчиненной роли других элементов. Типоморфными элементами ореолов золоторудных месторождений (золото-сульфидных, золото-кварцевых) являются Au, As, W, другие элементы находятся в них в резко подчиненных количествах (Атабекьянц, 1972).

Анализ закономерностей распределения элементов в общих ореолах контактово-метасоматических магнетитовых месторождений однозначно выявил генетическую связь образования их аномальных концентраций с рудно-метасоматическим процессом. Поэтому все элементы, образующие общий геохимический ореол, могут рассматриваться как элементы-индикаторы проявлений магнетитовой минерализации контактово-метасоматического типа. Но индикаторная роль отдельных элементов и их ассоциаций вследствие отчетливой генетической связи ореолов определенных ассоциаций элементов с магнетитовыми рудами или метасоматитами того или иного типа различна. При оценке этой роли следует учитывать значительные размеры рудно-метасоматических зон и относительно локальное распространение в их пределах магнетитовых руд и, как следствие этого, практическую необходимость выделения в проблеме поисков скрытого магнетитового оруденения двух самостоятельных задач: а) обнаружения рудно-метасоматических зон и б) выявления рудных залежей в их пределах. В связи с этим поисковый комплекс элементов-индикаторов целесообразно разделить в соответствии с их ролью для выявления рудно-метасоматических зон и рудных залежей на две группы: а) элементы-индикаторы рудно-метасоматических зон и б) элементы-индикаторы собственно магнетитового оруденения. Первая группа включает элементы внешней зоны общего геохимического ореола: Ti, V, Cr, B, Ba, Sr, Sc, Zr, Y, вторая — элементы внутренней зоны: Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, Mo.

При интерпретации геохимических аномалий необходимо учитывать специфичность геолого-структурных условий локализации контактово-метасоматических месторождений железа, широкое проявление высокотемпературных метасоматитов (скарнов, пироксен-полевошпатовых пород) и эпидотизации, хлоритизации, карбонатизации пород, а также общее

повышение напряженности магнитного поля в железорудных полях. Привлечение указанной информации повышает надежность интерпретации геохимических аномалий в отношении их связей с железорудными проявлениями и делает ее часто однозначной.

**Оценка геохимических аномалий.** Как показывает опыт работ, в железорудных полях выявляется множество геохимических аномалий, которые необходимо разделить по степени перспективности, особо выделив среди них первоочередные, в связи с которыми наиболее вероятно выявление скрытых промышленных рудных залежей.

Общие ореолы контактово-метасоматических месторождений железа имеют крупные размеры — до 1 км и более по ширине и до нескольких километров по простиранию. Рудовмещающие структуры выделяются в них полями многокомпонентного состава (5 элементов и более), которые окружены полями обедненного элементного состава (1—4 элемента). Поэтому многокомпонентный, комплексный состав аномалии является признаком ее рудоносности.

Уровень пересечения аномалий, в частном случае их эрозийного среза, относительно рудных тел определяется, исходя из закономерностей зонального строения геохимических ореолов магнетитовых месторождений, среди которых наиболее общей является выделение внешних и внутренних зон. При этом необходимо учитывать тесную сопряженность ореолов с метасоматитами, которые также являются индикаторами уровня пересечения рудно-метасоматической зоны.

Особенности зонального распределения элементов в геохимических ореолах позволяют выделить следующие характерные особенности состава и строения аномалий на различных уровнях пересечения рудно-метасоматических зон.

1. Геохимические аномалии накопления следующего комплекса элементов: Ti, V, Ba, Sr, B, Cr, Y, Zr, Sc, нередко при участии Mn, Co и некоторых халькофильных элементов с мультипликативным  $K_3 = n \cdot 10^{+3} — n \cdot 10^8$  и более в гидротермально-измененных (эпидотизированных, хлоритизированных, карбонатизированных, гематитизированных) породах соответствуют уровню пересечения ореола выше (по восстанию или висячем боку) рудно-метасоматической зоны, на удалении до 1,0 км и более от рудных тел. Локализация ореолов, соответствующих по составу внешним зонам, в пироксен-полевошпатовых породах, указывает на вскрытие верхней части рудно-метасоматической зоны.

2. Геохимические аномалии накопления высокой комплексности состава (до 9—10 элементов), в которых интенсивно развиты аномалии Zr, Ba, Sr и наряду с элементами-индикаторами внешней зоны присутствуют Zn, Cu, Pb, Mo, Ag с  $K_3 = 10^1 - 10^4$  указывают на вскрытие ореола в экзоконтакте скарнов, на удалении свыше 200—600 м от рудных тел по восстанию рудно-метасоматической зоны и свыше 100—250 м — висячем боку пологопадающих рудных тел.

3. Геохимические аномалии комплекса Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Pb, Mo при подчиненном развитии или отсутствии аномалий накопления Ti, V, Ba, Sr, B, Cr, Y, Zr, Sc и  $K_3 \leq 10$  должны оцениваться как внутренняя зона общего ореола на удалении до 200—600 м от рудных тел по восстанию рудно-метасоматических зон, до 100—250 м — висячем боку пологозалегающих рудных тел. Они, как правило, локализованы в скарнах и скарнированных породах.

4. Геохимические аномалии обедненного элементного состава (Mo, Cu, Mn, Co, реже другие) при значительной роли выноса многих элементов указывают на возможность вскрытия подрудных частей общего ореола.

При оценке перспектив геохимических аномалий и прогнозе места залегания рудных тел необходимо учитывать возможный структурно-морфологический тип ореола. Можно выделить несколько типичных случаев структурных соотношений ореолов и рудных тел.

1. Выявление в разрезе или в плане близпараллельных узких полей комплексного состава в крутопадающих вулканогенно-осадочных толщах дает основание предполагать наличие крутопадающих рудных тел. Ореолы могут распространяться на значительные расстояния по простиранию рудовмещающих структур. Вертикальный размах надрудных ореолов превышает 1000 м.

2. Вскрытие в разрезе веерообразного пучка ореолов комплексного состава является показателем возможной локализации рудных тел в участках сочленения оперяющих нарушений с основным рудоконтролирующим нарушением.

3. Пологозалегающие ореолы в толще слабодислоцированных вулканогенно-осадочных пород, скорее всего, являются индикаторами пологих межпластовых залежей. Эти ореолы могут быть сопряжены с ореолами в зонах крутопадающих разломов, которые на отдельных участках являются рудовмещающими.

Благоприятной предпосылкой для выделения перспективных геохимических аномалий является пространственное совмещение с ними магнитных аномалий, интенсивность которых в данном случае не имеет определяющего значения. Здесь важен сам факт пространственной сопряженности геохимической и магнитной аномалий. При этом необходимо учитывать возможность некоторого пространственного разобщения геохимических и геофизических аномалий вследствие того, что геохимические аномалии могут выходить на эрозионную поверхность на различном удалении от проекций скрытых рудных тел в зависимости от положения ореоловыводящих структур (разрывных нарушений, зон смятия и дробления, контактов различных геологических образований).

Таким образом, основными признаками геохимических аномалий, перспективных на скрытое магнетитовое оруденение контактово-метасоматического типа, являются высокая комплексность их состава, благоприятная геолого-структурная обстановка и пространственная связь с аномальным магнитным полем.

Возможность прогнозной оценки масштабов предполагаемого магнетитового оруденения по параметрам геохимических ореолов вытекает из существования определенных связей между ними. Для ореолов крупных месторождений характерны значительные размеры внутренних зон (их мощность превышает 200 м), пространственная совмещенность ореолов накопления элементов внешних и внутренних зон, которая обуславливает относительно широкое распространение полей повышенной комплексности элементного состава (семь элементов и более), и накопление в метасоматитах преобладающего большинства элементов-индикаторов. Для ореолов мелких месторождений и рудопроявлений характерны незначительные размеры внутренней зоны и контрастная пространственная дифференциация ореолов накопления элементов внутренних и внешних зон, которая обуславливает отсутствие или локальное развитие полей повышенной комплексности элементного состава (семь элементов и более) и отчетливую геохимическую специализацию метасоматитов.

### **Опыт геохимического прогнозирования в Магнитогорском рудном поле**

Работы по геохимическому прогнозированию скрытого оруденения на основе изложенных выше критериев были про-

ведены в 1971—1973 гг. в Магнитогорском рудном поле (Южный Урал). Геохимическое опробование коренных пород в естественных обнажениях и керне картировочных скважин было проведено практически на всей площади рудного поля (320 км<sup>2</sup>). Сеть опробования была неравномерной и соответствовала масштабу 1:25000—1:100 000 (расстояние между профилями геохимического опробования 250 м, между пунктами отбора проб в зависимости от обнаженности от 50 м до сотен метров). Всего было отобрано около 6000 геохимических проб, которые спектральным приближенно-количественным методом анализировались на следующий комплекс элементов: Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr.

Геологическому строению Магнитогорского рудного поля и известных здесь месторождений, вещественному составу месторождений, физическим полям, а также прогнозной оценке скрытого оруденения посвящено большое количество работ (Заварицкий, 1927; Карасик, 1959; Ферштатер, 1966; Баклаев, 1973 и др.). Поэтому, не останавливаясь на геологическом строении рудного поля, отметим основные результаты геохимических работ.

подавляющая часть проб, отобранных в рудном поле, содержит аномальные концентрации хотя бы одного элемента. Это обусловлено широким развитием моно- и биеlementных аномалий, охватывающих преобладающую часть площади рудного поля (фиг. 4). Комплексные геохимические аномалии трех-четырёх элементов имеют более локальное распространение, значительно количество аномалий высокой комплексности, в контурах которых совмещается пять элементов и более, но большинство из них имеет небольшие размеры.

Линейная вытянутость аномалий, их упорядоченное распределение — в виде линейно вытянутых, ориентированных в определенных направлениях полос — дали основание предположить связь аномалий с зонами рудоконтролирующих разрывных нарушений. Эта связь подтверждается также пространственным совмещением дсей некоторых линейно вытянутых аномалий с зонами известных разрывных нарушений.

Как перспективные в отношении выявления оруденения рассматривались аномалии комплексного состава (три-пять элементов и более). По составу аномалии образуют две группы, которые с учетом особенностей геологической позиции аномалий, их связей с теми или иными метасоматитами, с магнитным полем интерпретируются как связанные с проявлениями эндогенного оруденения двух типов: магнетитового контакто-

во-метасоматического и медно-молибденового прожилково-вкрапленного.

К геохимическим аномалиям, связанным с контактово-метасоматическим магнетитовым оруденением, относится большинство выявленных аномалий. Наиболее крупными среди них являются: Южно-Мосовская, Колумбаевская, Приуральская, Южно-Куйбасовская, Западно-Жосовская, Грань-Алексеевская, Восточная (см. фиг. 4). Для последних характерна ассоциация большого круга элементов при преобладающем распространении аномалий Mn, Co, V, Cr, Ti, Ba, Sr по сравнению с аномалиями Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Ni, что дает основание для аналогии их с внешними зонами общих ореолов контактово-метасоматических или (при повышении роли халькофильных элементов) — с переходной зоной (от внешних зон к внутренним).

Связь геохимических аномалий данной группы с магнетитовым оруденением, помимо их состава, подтверждается минералого-петрографическими и геофизическими признаками: типами изменения пород (скарнирование, альбитизация, калишпатизация, эпидотизация), наличием магнитных аномалий и железорудных месторождений и рудопроявлений, геолого-структурным положением, сопоставимым с положением известных месторождений в рудном поле.

Разнообразие параметров геохимических аномалий и различное сочетание их с благоприятными геологическими и геофизическими предпосылками и признаками позволили разделить аномалии по степени перспективности. К перспективным аномалиям I очереди отнесены Южно-Мосовская, Колумбаевская, Приуральская — крупные геохимические аномалии высокой комплексности состава (до 11—12 элементов), как правило, пространственно совмещенные с магнитными аномалиями при благоприятном сочетании рудоконтролирующих факторов. Южно-Мосовская и Колумбаевская аномалии приурочены к структурным узлам в экзо- и эндоконтактах Мосовского и Куйбасовского массивов, в значительной мере охватывая также сами массивы. В районе Приуральской аномалии интрузивные породы неизвестны, однако не исключается их наличие на глубине. На участках всех трех аномалий развиты отложения березовской свиты, благоприятные для оруденения.

К перспективным аномалиям II очереди отнесены аномалии меньших размеров и более низкой комплексности состава, расположенные в благоприятной геолого-структурной обстановке и пространственно совмещенные с магнитными аномали-

ями. К этой группе аномалий принадлежат Южно-Куйбасовская, Грань Алексеевская, Западно-Жосовская, Восточная.

Все геохимические аномалии I и II очереди локализованы в зонах развития разрывных нарушений, в которых внешние зоны ореолов могут распространяться на большие (до 1 км и более) расстояния над рудными телами, а внутренние зоны — до 500—600 м. Поскольку выявленные аномалии по составу аналогичны внешним зонам общих ореолов, а в некоторых случаях — переходным зонам от внешних, то глубина залегания прогнозируемых рудных тел оценивается от 500 до 1000 м, что и определяет глубину рекомендуемых поисковых скважин — не менее 1000 м.

Геохимические аномалии, связанные с проявлениями медно-молибденового оруденения, отличаются резким преобладанием в их составе Mo, Cu, Ag и пространственной приуроченностью к полям кварцитов и кварцево-серицитовых пород. Наиболее перспективными для поисков скрытого медно-молибденового оруденения являются Северо-Мосовская и Восточно-Мосовская геохимические аномалии, локализованные в гранитоидах Мосовского массива.

Следует особо подчеркнуть, что несмотря на большой объем поискового и поисково-структурного бурения, проведенного в рудном поле, на площади перспективных аномалий глубокие скважины практически отсутствуют. Все это указывает, что перспективы Магнитогорского рудного поля не ограничиваются участками известных месторождений и рудопроявлений железа и требуют проведения глубинных поисков путем глубокого бурения (до 1000—1500 м) на участках перспективных геохимических аномалий, и прежде всего — Южно-Мосовской, Колумбаевской, Приуральской.

Данные проверки геохимических прогнозов в Магнитогорском рудном поле будут иметь большое значение и для других железорудных полей Урала, так как они послужат критерием эффективности методов геохимического прогнозирования глубокозалегающих магнетитовых месторождений. Поэтому на перспективных по геохимическим данным площадях Магнитогорского рудного поля необходимо ферсировать проведение глубинных поисков.

## ЛИТЕРАТУРА

Ананьева Е. М., Дорофеев Б. В., Пономарев В. И., Чурсин А. А. Геофизическое обоснование перспектив нахождения железорудных месторождений на Урале. В сб. «Рудная база Урала». Изд-во «Наука», 1972.

*Атабекьянц К. П.* Первичные ореолы золото-сульфидных месторождений. — Сов. Геология, 1972, № 1.

*Баклаев Я. П.* Контактво-метасоматические месторождения железа и меди на Урале. Изд-во «Наука», 1973.

*Голод А. И.* Коэффициент зональности первичных геохимических ореолов и их использование при прогнозировании скрытого колчеданного оруденения. Материалы 5 научной конференции молодых сотрудников ИМГРЭ. Изд. ИМГРЭ, М., 1967.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1965.

*Заварицкий А. Н.* Гора Магнитная и ее месторождения железных руд. — Труды Геолкома, 1927, вып. 122.

*Карасик М. А.* Постмагматические рудные поля и их классификация. Изд-во АН УССР. Киев, 1963.

*Коржинский Д. С.* Теория метасоматической зональности. Изд-во «Наука», 1969.

*Овчинников Л. Н.* Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. — Труды ГГИ УФАИ СССР, вып. 39, 1960.

*Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н.* Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — Геология рудных месторождений, 1970, №2.

*Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н., Григорян С. В., Вострокнутов Г. А.* Геохимические методы поисков рудных месторождений и их использование на Урале. В сб. «Рудная база Урала». Изд-во «Недра», 1972.

*Овчинников Л. Н., Григорян С. В.* Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. Труды II сессии Межведомств. Совета, Иркутск, 1970.

*Овчинникова Л. В., Туголесов Л. Д.* Некоторые особенности поведения элементов-примесей в метасоматических зонах Высокогорского месторождения. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений». СГПМ II сессия, часть II, Иркутск, 1971.

*Павлов Г. П., Фоминов Ю. М.* Эндогенные геохимические ореолы контактово-метасоматических месторождений железа на Урале и их поисковое значение. В сб. «Литохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, М., 1972.

*Рябов В. В., Павлов Г. П.* Некоторые геохимические особенности железорудных месторождений контактово-метасоматического типа. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений». Иркутск, 1971.

*Ферштатер Г. Б.* Магнитогорская габбро-гранитная формация, Свердловск, 1966.

УДК 553.64(55084)

**Геохимические особенности осадочных отложений как критерий прогнозирования и поисков фосфоритов желвакового типа.** Буренков Э. К., Зорин А. М., Лебедева Л. А. Сб. «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 5—31.

Кратко описано геологическое строение Егорьевского месторождения фосфоритов, его минералогический и гранулометрический состав. Рассматриваются основные вопросы методики геохимических работ. Приводятся данные о распределении пятиоксида фосфора и комплекса химических элементов в породах месторождения. На основании выявленных геохимических закономерностей показывается возможность применения геохимических методов при поисках фосфоритов желвакового типа.

Иллюстраций 7, табл. 4, библиография — 4 названия.

УДК 553.064.34:550.84(574.3)

**Опыт геохимических поисков скрытого оруденения в районе грейзенового месторождения Акчатау (Центральный Казахстан).** Ключев О. С. Сб. «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 32—53.

В статье изложены результаты опытных геохимических поисков скрытого редкометалльного оруденения, проведенных в районе грейзенового месторождения Акчатау в Казахстане. На основании данных о распределении рудообразующих и сопутствующих им химических элементов в первичных ореолах известных рудных тел месторождения обоснованы критерии оценки геохимических аномалий в условиях рассматриваемого района. На основе анализа данных геохимического опробования коренных пород, проведенного на площади рудного поля, рассмотрена возможность прогнозирования скрытых грейзеновых тел, локализованных в эндоконтакте рудоносной интрузии под экраном пород кровли и намечены участки для постановки поискового бурения. Последующая проверка буровыми скважинами рекомендованных к оценке перспективных структурных зон привели к выявлению на указанных глубинах новых грейзеновых тел с редкометалльным оруденением.

Иллюстраций 6, библиография — 6 названий.

УДК 553.435:550.84(470.55/57)

**Опыт геохимического прогнозирования скрытого медноколчеданного оруденения в Гайском рудном районе (Южный Урал).** Рыфтин В. М., Баранов Э. Н., Зубарев В. М. Сб. «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 54—71.

На основе разработанных критериев интерпретации и оценки эндогенных геохимических аномалий проведена оценка перспектив района на скрытое медноколчеданное оруденение. Выявленные геохимические аномалии разделены по минеральному типу оруденения, по уровню зрелости.

ного среза относительно вероятного оруденения и по ожидаемым его масштабам. В пределах района по геохимическим данным выделяются площади различной степени перспективности. Даны рекомендации по направлению глубинных поисков в районе.

Иллюстрации 2, библиография — 10 названий.

УДК 553.45:550.84(571.63)

**Результаты работ по прогнозу скрытого оловянного оруденения в Приморье.** Кравченко Э. С., Еремин Н. Ф., Рябов В. Н. Сб. «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 72—85.

В статье раскрывается методический прием выявления скрытого оловянного оруденения (в пределах рудных полей), а также оценки глубоких горизонтов месторождений касситерит-сульфидной формации. Основой приема является выражение строения геохимического ореола месторождения через величину коэффициента зональности. В результате для каждого интервала коренного оруденения (надрудного, верхнерудного, среднерудного и др.) были выделены свои «эталонные портреты» горизонтальных срезов, выраженные в величинах коэффициента зональности.

Сравнительное изучение первичных и вторичных ореолов рассеяния (почвенный горизонт ВС) установило, что при незначительной мощности рыхлых отложений (до 5 м) характер распределения величин коэффициента зональности коренного оруденения полностью наследуется в сопряженном с ним вторичном ореоле. Поэтому, используя данный методический прием определение уровня эрозийного среза коренного оруденения выявление рудолокализирующих структур возможно производить непосредственно по вторичному ореолу рассеяния.

В статье приведены примеры, показывающие результаты применения разработанных методических приемов.

Иллюстраций 5, библиография — 2 названия.

УДК 553.311.2:550.84(470.5)

**Геохимические критерии прогнозирования глубокозалегающих контактово-метасоматических магнетитовых месторождений на Урале.** Павлов Г. П., Баранов Э. Н., Фоминов Ю. М. Сб. «Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений». Изд. ИМГРЭ, 1976, стр. 86—115.

Рассматриваются основные закономерности строения эндогенных геохимических ореолов контактово-метасоматических месторождений железа на Урале. Показано большое распространение наряду с ореолами накопления элементов ореолов их выноса. Глубинность выявления скрытых месторождений по геохимическим ореолам достигает 1 км. Охарактеризованы критерии интерпретации и оценки геохимических аномалий связанных с железорудными проявлениями данного типа. Рассмотрен опыт геохимического прогнозирования месторождений этого типа в Магнитогорском рудном поле.

Иллюстраций 4, табл. 2, библиография — 16 названий.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

От редакции . . . . .	3
Э. К. Буренков, А. М. Зорин, Л. А. Лебедева. Геохимические особенности осадочных отложений как критерий прогнозирования и поисков фосфоритов желвакового типа . . . . .	5
О. С. Кловев. Опыт геохимических поисков скрытого оруденения в районе грейзенового месторождения Акчатау (Центральный Казахстан) . . . . .	32
В. М. Рыфтин, Э. Н. Баранов, В. М. Зубарев. Опыт геохимического прогнозирования скрытого медноколчеданного оруденения в Гайском рудном районе (Южный Урал) . . . . .	54
Э. С. Кравченко, Н. Ф. Еремин, В. Н. Рябов. Результаты работ по прогнозу скрытого оловянного оруденения в Приморье . . . . .	72
Г. П. Павлов, Э. Н. Баранов, Ю. М. Фоминов. Геохимические критерии прогнозирования глубокозалегающих контактово-метасоматических магнетитовых месторождений на Урале . . . . .	86

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Утверждено к печати Институтом минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Т. И. Нефелова, О. А. Новиков

Технический редактор Е. А. Хазанова

Т-00510. Подписано в печать 17.11.75 г. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Объем 7,5 п. л. Тираж 500. Заказ типогр. № 2017 Цена 53 коп.

Цена 53 коп.

18807