

**В. А. Буланов, С. А. Сасин**

# **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

**ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА**

**2-е издание, переработанное и дополненное**

**Книга доступна в электронной библиотеке [viblibo-online.ru](http://viblibo-online.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

**Москва • Юрайт • 2019**

УДК 550.84(075.8)  
ББК 26.3я73  
Б90

**Авторы:**

**Буланов Владимир Александрович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заслуженный работник науки и образования, профессор кафедры полезных ископаемых геологического факультета Иркутского государственного университета, профессор Российской академии естественных наук;

**Сасым Сергей Александрович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой, заместитель декана по учебной работе кафедры полезных ископаемых геологического факультета Иркутского государственного университета.

**Рецензенты:**

**Лепунов С. П.** — доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых геологического факультета Иркутского государственного университета;

**Мехмишин А. С.** — кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры Иркутского национального исследовательского технического университета, старший научный сотрудник Института геохимии имени А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Буланов, В. А.

Б90

**Геологические методы поисков месторождений полезных ископаемых : учеб. пособие для академического бакалавриата / В. А. Буланов, С. А. Сасым. — 2-е изд., пер. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 165 с. — (Серия : Университеты России).**

ISBN 978-5-534-08015-5

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе издания (в том числе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам), подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии работы прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В учебном пособии рассмотрены основные черты применяемых геохимических методов поисков полезных ископаемых. Представлены не только общие теоретические данные, но и подробно освещена практическая сторона проведения исследований. Материал данного пособия поможет будущим специалистам усвоить основы практического применения геохимических методов, способствующих наиболее результативному поиску полезных ископаемых.

*Для студентов высших учебных заведений, обучающихся техническим направлениям, аспирантов, преподавателей.*

УДК 550.84(075.8)  
ББК 26.3я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельца авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

- © Буланов В. А., Сасым С. А., 2012
- © Буланов В. А., Сасым С. А., 2019,  
с изменениями
- © ООО «Издательство Юрайт», 2019

ISBN 978-5-534-08015-5

# Оглавление

Предисловие .....	5
Введение.....	7
<b>Глава 1. Основные положения и обоснование геохимических методов поисков.....</b>	<b>9</b>
1.1. Закон Вернадского .....	10
1.2. Миграция химических элементов .....	12
1.3. Формы нахождения химических элементов в природе .....	17
1.4. Соотношения между рассеянным и концентрированным состоянием элементов.....	19
1.5. Факторы и условия концентрации элементов.....	21
1.6. Геохимия ландшафтов.....	37
1.7. Геохимические барьеры.....	42
1.8. Оценка геохимических аномалий .....	45
<b>Глава 2. Характеристика геохимических методов поисков .....</b>	<b>49</b>
2.1. Литогеохимические методы поисков .....	49
2.1.1. Литогеохимические методы поисков по первичным ореолам .....	49
2.1.2. Литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам .....	59
2.1.3. Литогеохимические методы поисков по потокам рассеяния .....	68
2.2. Гидрогеохимические методы поисков .....	71
2.3. Биогеохимические методы поисков .....	80
2.4. Атмогеохимические методы поисков .....	84
2.5. Условия применения геохимических методов поисков.....	90
<b>Глава 3. Литогеохимические методы поисков .....</b>	<b>93</b>
3.1. Литогеохимические методы поисков по первичным ореолам .....	97
3.1.1. Условия применения.....	97
3.1.2. Опытные-методические работы.....	99
3.1.3. Отбор проб .....	100
3.1.4. Обработка проб.....	102
3.1.5. Анализ проб.....	102
3.2. Литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния.....	104
3.2.1. Условия применения.....	104
3.2.2. Опытные-методические работы .....	111
3.2.3. Отбор проб .....	114
3.2.4. Обработка проб.....	118
3.2.5. Анализ проб .....	120

<b>Глава 4. Гидрогеохимические методы поисков.....</b>	<b>122</b>
4.1. Условия применения .....	122
4.2. Опытные-методические работы.....	125
4.3. Отбор проб.....	126
4.4. Анализ проб.....	130
<b>Глава 5. Биогеохимические методы поисков .....</b>	<b>131</b>
5.1. Условия применения .....	131
5.2. Опытные-методические работы.....	134
5.3. Отбор проб.....	134
5.4. Обработка и анализ проб.....	139
5.5. Интерпретация результатов.....	142
<b>Глава 6. Атмогеохимические методы поисков .....</b>	<b>144</b>
6.1. Условия применения .....	144
6.2. Опытные-методические работы.....	145
6.3. Отбор и анализ проб .....	145
<b>Глава 7. Требования к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим работам.....</b>	<b>149</b>
7.1. Требования к проекту.....	151
7.2. Требования к отчету о геохимических работах.....	153
<b>Заключение.....</b>	<b>157</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>159</b>
<b>Приложение 1 .....</b>	<b>161</b>
<b>Приложение 2 .....</b>	<b>162</b>
<b>Приложение 3 .....</b>	<b>165</b>
<b>Приложение 4.....</b>	<b>165</b>

## Предисловие

При подготовке к изданию данного пособия использовались известные методические рекомендации, учебники, монографии и учебные пособия. Их перечень помещен в рекомендуемом списке литературы. В соответствии с задачами, стоящими перед авторами учебного пособия, вопросы теории любого раздела освещались в минимальном объеме и только в тех случаях, когда это необходимо для усвоения практических навыков работы. Данное пособие составлено в соответствии с ныне действующими: отраслевым стандартом ОСТ 41-15-291-89 «Отчет о геологическом изучении недр»; «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1983); «Требованиями к содержанию отчетных материалов по результатам завершенных геохимических работ на твердые полезные ископаемые» (1989); «Инструкцией по учету геологической, гидрогеологической, геофизической, эколого-геологической и геохимической изученности территории Российской Федерации» (1996); «Временными требованиями к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим работам при опережающих геохимических поисках, прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работах на твердые полезные ископаемые» (2007) и адаптированы к современным условиям ведения работ.

В данной работе рассмотрены лишь основные черты применяемых геохимических методов поисков, дающие общее знакомство с этими методами и позволяющие студентам ознакомиться с практической стороной проведения этих исследований. Изложенный выше материал по геохимическим методам поисков дает представление о применяемых методах и способствует общему ознакомлению с этими методами и успешному решению стоящей перед студентами в будущем задачи по расширению сырьевой базы полезных ископаемых.

В результате изучения данной дисциплины студент должен:

**знать**

- общетеоретические представления об основах геохимических методов поисков;
- схему технологии ведения работ по геохимической оценке территорий;
- требования к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим методам, предъявляемые действующим нормативным документам;
- факторы и условия концентрации химических элементов при рудообразовании в различных геологических средах;

— методику и требования к проведению работ по геохимическим методам поисков;

— методы отбора, обработки, анализа проб и статистической обработки результатов анализа;

**уметь**

— применять методы проведения и диагностики результатов геохимических поисков;

— определять основные породообразующие и рудные минералы;

— анализировать полученные элементные ассоциации с целью выделения перспективных объектов;

— обосновать поисковую геохимическую модель возможного искомого объекта;

**владеть**

— самостоятельной научно-исследовательской деятельностью, требующей широкого геологического образования;

— методами оценки прогнозных ресурсов;

— технологией и организацией проведения работ по геохимическим методам поисков.

При подготовке учебного пособия к изданию значительную помощь оказал профессор А. И. Сизых, сделавший ряд ценных замечаний. Авторы пользуются случаем выразить ему глубокую признательность и благодарность.

## Введение

Основной и нередко единственной целью всех геологических работ, независимо от их конкретного содержания, является обеспечение промышленности запасами минерального сырья. Решается эта задача сочетанием геологических, геофизических и геохимических исследований с горными работами и бурением. На всех стадиях геологоразведочных работ (ГРР) важная роль принадлежит геохимическим методам поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Геохимические методы — один из наиболее широко используемых способов поисков полезных ископаемых во всем мире. Это объясняется как их высокой результативностью, так и универсальностью в отношении самых различных геологических обстановок. Практически любое рудное тело сопровождается ореолами основного элемента и элементов-спутников в различных природных средах и может быть обнаружено геохимическими методами поисков.

В основе геохимических методов поисков полезных ископаемых лежат фундаментальные труды В. В. Вернадского, Ф. Кларка, В. Гольдшмидта, А. Е. Ферсмана и их последователей.

Основоположником прикладной геохимии является Н. И. Сафронов, который в 1931—1932 гг. начал проводить поиски рудных месторождений по вторичным ореолам. Одновременно и независимо В. А. Соколовым был предложен метод газовой съемки для поисков месторождений нефти и газа. За рубежом геохимические методы поисков начали применяться только в 40—50 годы XX века.

Применительно к поискам нефти и газа геохимические методы поисков, несмотря на их успешное применение, так и не стали основным методом, уступив первенство геофизике. Что касается рудных месторождений, то здесь эффективность геохимических методов поисков с самого начала была очень высокой, несмотря на низкую чувствительность применявшихся методов анализа проб. Это объясняется тем, что в первый период изучения открывались рудные тела, непосредственно выходящие на поверхность в виде коренных обнажений и первичных ореолов рассеяния (ПОР) или вторичных ореолов (ВОР). К настоящему времени практически все такие месторождения выявлены и главной задачей геохимических методов поисков сейчас является обнаружение скрытого на глубине слепого оруденения. На решение этой задачи были направлены глубокие научные исследования связанные с именами А. П. Соловова, Л. Н. Овчинникова, А. А. Беуса, С. В. Григоряна,

А. И. Перельмана, Е. М. Квятковского, Э. Н. Баранова, В. И. Поликарпочкина, Л. В. Таусона, А. А. Кременецкого, В. И. Морозова, В. М. Питулько, П. А. Удогова, А. М. Спиридонова и др. Из зарубежных исследователей значительный вклад в совершенствование геохимических методов поисков внесли N. L. Daptes, F. M. Cameron, R. W. Boyle, J. S. Webb, P. P. Vguts и др.

Основными направлениями дальнейшего развития геохимических методов поисков являются:

1) разработка теоретических основ формирования аномальных геохимических полей ранга рудных районов, узлов и полей. В настоящее время детально обследован механизм образования и разработана методика количественной оценки первичных и вторичных ореолов на уровне рудных тел и месторождений. Для более крупных подразделений эти вопросы находятся в стадии разработки. Актуальность их решения определяется необходимостью выявления новых рудных районов и узлов в процессе средне- и мелкомасштабных исследований;

2) дальнейшая разработка теоретических основ и совершенствование методических приемов выявления труднооткрываемых «слепых» месторождений;

3) совершенствование аналитической базы. Постановка задачи выявления слабо проявленного скрытого оруденения диктует необходимость широкого внедрения высокоточных и экспрессных аналитических методик, прежде всего ICP MS, а также специальных методик селективного анализа;

4) совершенствование методики и качества проведения полевых геохимических работ с целью повышения их эффективности;

5) совершенствование методов интерпретации аномальных геохимических полей, в увязке с комплексом геолого-геофизических и космоструктурных данных, результатами топоминералогического картирования, изучения метасоматитов, с учетом ландшафтно-геохимической обстановки проведения работ;

6) широкое использование и совершенствование компьютерных технологий обработки геохимических данных и построения специализированных карт.



# Глава 1

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ

Научной основой геохимических методов поисков является учение о миграции, рассеянии и концентрации химических элементов в земной коре, заложенное трудами В. И. Вернадского, В. М. Гольдшмидта и А. Е. Ферсмана, а также учение о рудных месторождениях, определяющее геологические условия формирования месторождений полезных ископаемых различных генетических типов. Понятие об ореолах рассеяния элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых впервые было сформулировано Н. И. Сафроновым (1936 г.). Современная горная промышленность извлекает разнообразные химические элементы из их природных скоплений, предъявляя к соответствующим рудам вполне определенные требования в части содержания ценных компонентов, масштаба запасов и геолого-экономических условий их залегания. Это определяет общую направленность геологосъемочных, поисковых, оценочных и разведочных работ к обнаружению локальных концентраций химических элементов с целью выбора объектов для промышленной разработки. Прямой метод выявления таких концентраций — геохимические поиски.

При помощи геохимических методов изучают закономерности распределения химических элементов в горных породах, почвах, природных водах, растениях и атмосфере с целью выделения участков, перспективных на обнаружение оруденения.

В основе геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых лежат четыре важнейших положения геохимии, имеющие первостепенное прикладное значение и подтвержденные бесспорными опытными данными:

- 1) повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах;
- 2) непрерывная миграция (перемещение) элементов во времени и пространстве;
- 3) многообразие видов и форм существования элементов в природе;
- 4) преобладание рассеянного состояния элементов над концентрированным, особенно для рудообразующих элементов.

## 1.1. Закон Вернадского

Особенности распределения химических элементов в коренных горных породах, в рыхлых отложениях, водах, растениях и атмосфере, не затронутых какими-либо рудообразующими или техногенными процессами, определяют местный геохимический фон (нормальное поле).

Согласно закону Вернадского о всеобщем рассеянии элементов в любых природных образованиях содержатся все химические элементы. Отражением всеобщей распространенности элементов служат цифры их кларков — средних процентных содержаний химических элементов в доступных для изучения геосферах. Участие отдельных элементов в составе этих геосфер существенно различно (табл. 1).

Таблица 1

Основной химический состав геосфер

Геосферы	Главнейшие элементы	Число химических элементов	Сумма кларков, %
Литосфера	O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti	9	99,48
Гидросфера	O, H, Cl, Na, Mg	5	99,58
Атмосфера	N, O, Ar	3	99,94
Биосфера	O, C, H, Ca, K, N, Si, Mg, P, S	10	99,96

Кларки большинства химических элементов, в частности важных для промышленности цветных и редких металлов оцениваются только тысячными или миллионными долями процента (табл. 2).

Таблица 2

Кларки химических элементов верхней части континентальной коры (гранитно-метаморфической оболочки), г/т

Атомный номер	Элемент	Кларк	Атомный номер	Элемент	Кларк
1	H	1600	46	Pd	0,01
2	He	—	47	Ag	0,07
3	Li	27	48	Cd	0,2
4	Be	3,5	49	In	0,1
5	B	12	50	Sn	2,5
6	C	2700	51	Sb	0,2
7	N	20	52	Te	0,001
8	O	479 000	53	I	0,5
9	F	500	54	Xe	—
10	Ne	—	55	Cs	4
11	Na	20 100	56	Ba	580

Атомный номер	Элемент	Кларк	Атомный номер	Элемент	Кларк
12	Mg	17 900	57	La	34
13	Al	81 400	58	Ce	69
14	Si	295 000	59	Pr	7,7
15	P	700	60	Nd	31
16	S	1000	62	Sm	6,3
17	Cl	200	63	Bu	1,25
18	Ar	—	64	Gd	5,6
19	K	24 000	65	Tb	0,97
20	Ca	27 000	66	Dy	5,3
21	Sc	16	67	Ho	1,2
22	Ti	3200	68	Er	3,1
23	V	110	69	Tm	0,48
24	Cr	99	70	Yb	3
25	Mn	770	71	Lu	0,44
26	Fe	43 700	72	Hf	4
27	Co	23	73	Ta	2,5
28	Ni	58	74	W	1,2
29	Cu	46	75	Re	—
30	Zn	76	76	Os	—
31	Ga	19	77	Ir	—
32	Ge	1,5	78	Pt	—
33	As	1,7	79	Au	0,004
34	Se	0,05	80	Hg	0,08
35	Br	2	81	Tl	0,7
36	Kr	—	82	Pb	16
37	Rb	110	83	Bi	0,3
38	Sr	290	86	Rn	—
39	Y	28	88	Ra	0,000001
40	Zr	170	89	Ac	—
41	Nb	16	90	Th	12
42	Mo	1	91	Pa	—
44	Ru	—	92	U	3
45	Rh	—			

Примечание. Кларки элементов определены разными авторами, исходя из расчетов А. П. Виноградова и С. Р. Тейлора, определивших состав верхней части континентальной коры как смесь базальтов и гранитов в пропорции 0,33:0,67. В настоящее время не опубликованы кларки второстепенных элементов континентальной коры. Кларк радия рассчитан по равновесию с ураном.

Среднее содержание химических элементов в горных породах, почвах, природных водах, в приземной атмосфере и растениях в удалении от месторождений является относительно низким, характеризуя местный геохимический фон ( $C\phi$ ), близкий к величине кларков элементов земной коры. В залежах полезных ископаемых и вблизи них содержания соответствующих элементов ( $Cn$ ) существенно выше ( $Cn > C\phi$ ), благодаря чему они и фиксируются. Образующиеся геохимические аномалии включают как сами рудные залежи, так и связанные с ними первичные ореолы химических элементов, возникающие в процессе образования месторождений, а также вторичные ореолы и потоки гипергенного рассеяния рудного вещества. Наличие геохимических ореолов значительно превышающих по размеру рудные залежи существенно облегчает обнаружение рудных месторождений геохимическими методами, определяя их высокую эффективность.

В результате геологических процессов эндогенного или экзогенного характера, сопровождающихся приносом одних и выносом других химических элементов, в коренных горных породах, рыхлых отложениях и почвах могут возникать локальные участки, характеризующиеся аномальными по сравнению с геохимическим фоном содержаниями химических элементов — так называемые *литохимические аномалии*.

Локальные участки, отличающиеся аномальными содержаниями химических элементов в подземных и поверхностных водах, называются *гидрохимическими аномалиями*, а участки, характеризующиеся аномальными содержаниями выделяющихся из земных недр газов, — *атмохимическими аномалиями*. Наличие аномально повышенных содержаний химических элементов в породах, почвах, водах и газах вызывает появление аномальных содержаний химических элементов в растениях, произрастающих на этой площади. В результате образуются *биогеохимические аномалии*, в контурах которых все растения или только отдельные их виды отличаются повышенными содержаниями некоторых элементов. Соответственно характеру геохимических аномалий различают литохимические, гидрохимические, атмохимические (газовые) и биогеохимические методы поисков.

Сырьевую базу современной горной промышленности образуют рудные месторождения, залегающие в литосфере и, следовательно, принадлежащие к разряду своеобразных крупных геохимических аномалий. В результате поступательного развития литосферы рудные месторождения и их первичные ореолы подвергаются выветриванию и денудации, образуя гипергенные геохимические аномалии в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере, в различной степени связанные между собой и с коренным оруденением.

## 1.2. Миграция химических элементов

Миграция химических элементов находит отражение в гигантских тектономагматических процессах, преобразующих земную кору,

и в тончайших химических реакциях, протекающих в живом веществе, в непрерывном поступательном развитии окружающего мира, характеризуя химическое движение как форму существования материи. Миграция химических элементов определяется многочисленными внешними факторами, в частности, энергией солнечного излучения, внутренней энергией Земли, действием силы тяжести и внутренними факторами, зависящими от свойства самих элементов. Различия в миграционной способности (подвижности) химических элементов приводят к их дифференциации и к возникновению природных образований с различными количественными соотношениями между элементами. Результатом этого являются, при качественном единообразии, различия и непостоянство содержаний химических элементов в любых точках земного пространства. Процессы концентрации и рассеяния химических элементов характеризуют две взаимосвязанные и взаимно противоположные стороны единого процесса миграции элементов.

Большой цикл геологической миграции химических элементов иллюстрирует схема, показанная на рис. 1. Отражая внедрение подкоровых магматических расплавов, этот цикл не является замкнутым и характеризует поступательное развитие литосферы. Важно отметить, что эндогенные месторождения формируются в процессе магматической и постмагматической деятельности, разнообразные экзогенные месторождения — в процессе седиментогенеза. Область суши во все геологические времена была ареной развития процессов выветривания и денудации, основной результат которых — разрушение и ликвидация ранее сформированных месторождений полезных ископаемых.



Рис. 1. Схема геологического цикла миграции химических элементов

Рассмотрим некоторые геохимические особенности основных геологических процессов, приводящих к конкретной геохимической спе-

специализации изучаемых магматических, осадочных и метаморфических породных комплексов.

Геохимические особенности магматических пород в значительной степени зависят от химического состава и минералогии родоначальных пород или расплавов (рис. 2). Содержание главных и примесных элементов в расплаве определяется типом и степенью плавления, хотя состав магмы может существенно изменяться по мере продвижения к поверхности. Наиболее важной характеристикой источника магм является соотношение радиогенных изотопов, так как оно не изменяется в процессе плавления и последующих процессов в магматической камере.

В свою очередь, состав этого источника зависит от соотношения различных типов пород в регионе. Наиболее важным здесь является изучение мантии. Большое влияние на состав магматических выделений, кристаллизующихся в последствии в виде разнообразных магматических тел, играют P-T-условия выделений и степень плавления. В зависимости от температуры и давления состав расплавов может изменяться в широких пределах. Степень плавления также может быть причиной достаточно широкого разнообразия состава выплавленных магм.



Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая главные процессы, контролируемые химический состав магматических пород

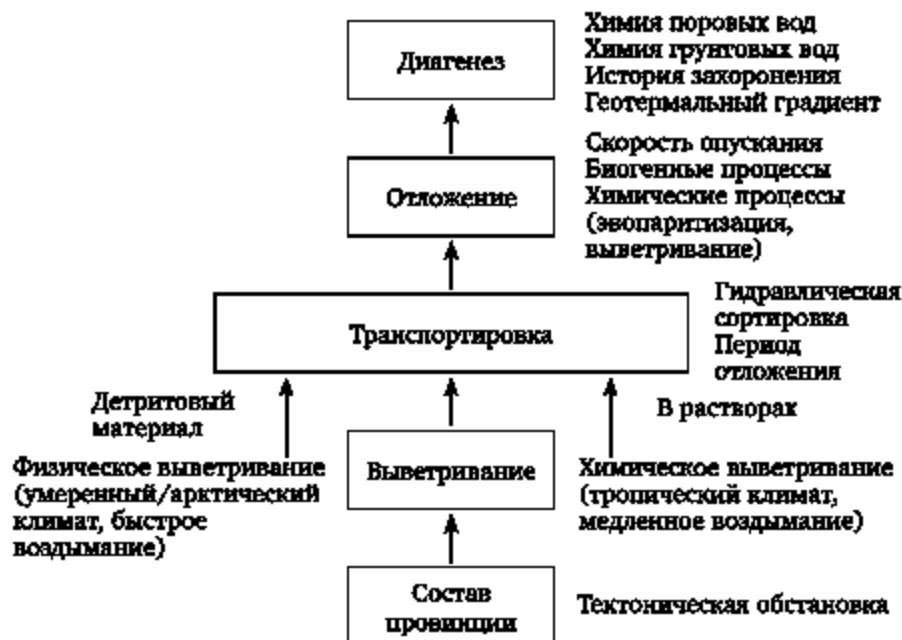
Большинство магматических пород обязаны разнообразием своих составов процессам в магматической камере до внедрения в близповерхностные уровни. Эти процессы могут значительно изменять состав родоначальных магм, образующихся при парциальном плавлении первичного источника, в результате фракционирования кристаллов, смешения магмы, контаминации, ассимиляции или различных комбинаций этих процессов. Оценка роли различных процессов в образовании име-

ющихся составов требует анализа главных и примесных элементов, а также определения радиогенных и стабильных изотопов.

При последующем внедрении или извержении магматические породы могут изменять свой состав как в результате дегазации, так и при взаимодействии с флюидами. При дегазации изменяется главным образом соотношение стабильных изотопов, в то время как при флюидной переработке могут изменяться концентрации всех элементов. В идеальном случае анализируемые магматические породы должны быть абсолютно свежими, но нередко это не возможно. Например, образцы базальтов океанического дна претерпели изменения в процессе подводного выветривания (гальмиролиза) или гидротермальной переработки с участием морской воды. Многие интрузивные тела при внедрении инициируют гидротермальную циркуляцию грунтовых вод во вмещающих породах, которая в свою очередь приводит к изменению состава самих магматических пород. При метаморфизме магматических пород также может происходить изменение их состава при взаимодействии с флюидом, что будет более подробно обсуждено ниже.

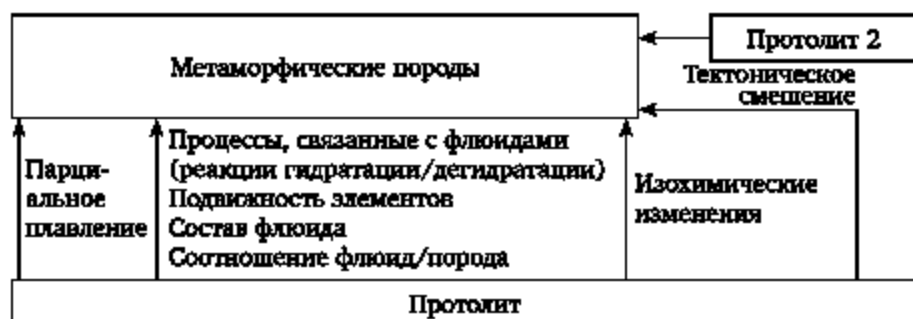
*Геохимическая специализация осадочных пород* определяется многими факторами, главные из которых показаны на рис. 3. Химический состав питающих провинций является, вероятно, наиболее важным в контроле состава осадочных пород. В свою очередь состав провинции напрямую зависит от геодинамической обстановки. Условия выветривания также могут вносить свою лепту в геохимические особенности осадочных пород, и в некоторых случаях при изучении последних можно выявить геохимические характеристики, связанные именно с этим фактором. Значительные изменения химизма пород могут иметь место в процессе переноса осадочных частиц: некоторые примесные элементы концентрируются в глинистой составляющей и во фракции тяжелых минералов с соответствующим обеднением существенно кварцевой фракции. Эти процессы также зависят от продолжительности перерыва между эрозией и отложением.

Изменения химизма будут также определяться обстановкой осадконакопления, которая в большей степени контролируется скоростью опускания. Химические и биохимические процессы, контролирующие растворимость элементов в морской воде и подводное выветривание, также важны в изменении составов некоторых типов осадков. При изучении процессов, воздействующих на осадочные породы после их отложения, необходимы соотношения стабильных изотопов. Так, стабильные изотопы кислорода и водорода являются индикаторами особенностей морской воды при седиментации. Изотопы углерода и кислорода используют при изучении процессов диагенеза известняков. Зависящее от температуры фракционирование изотопов кислорода можно использовать для расчета геотермальных градиентов при диагенезе и реконструкциях условий захоронения осадочных пород.



**Рис. 3. Диаграмма, иллюстрирующая главные процессы, контролирующую химический состав осадочных пород**

Определяющую роль в геохимических особенностях метаморфических пород играет состав протолита (породы, подвергшейся процессам метаморфизма). Иногда процесс метаморфической рекристаллизации является изохимическим, но гораздо чаще при метаморфизме происходят изменения химического состава горных пород. Эти изменения определяются главным образом воздействием флюида и P-T-условиями метаморфизма. Поступление или удаление воды при метаморфизме в результате реакций гидратации и дегидратации вызывают изменение общего состава вследствие различной подвижности элементов. Процесс изменения контролируется составом флюидной фазы, температурой метаморфизма и долей флюида в породе (рис. 4).



**Рис. 4. Диаграмма, иллюстрирующая главные процессы, контролирующую химический состав метаморфических пород**



При высоких степенях метаморфизма в присутствии воды нередко наблюдаются процессы частичного плавления. Сегрегация и обособление расплава приводит к дифференциации родоначальной породы на респит и вышлавку. В этом случае природа химических изменений состава будет определяться степенью и особенностями плавления.

Изменения химизма метаморфических пород при отсутствии флюидной фазы контролируются диффузией ионов в твердофазном состоянии, определяемой стабильностью минералов и характером метаморфических реакций — функцией  $P$ - $T$ -условий метаморфизма.

### 1.3. Формы нахождения химических элементов в природе

Вопрос об основных видах и формах существования элементов в природе, кроме научного, имеет и чисто прикладное значение. Они определяют выбор методов и средств исследования состава геохимических проб при поисках. Разнообразие форм и видов существования химических элементов находит отражение во множестве тех природных химических соединений, механических смесей и растворов, которые они образуют в различных агрегатных состояниях и многообразии физико-химических связей между элементами. Все формы существования химических элементов можно условно разделить на минеральные (существование в виде собственных минералов) и безминеральные. В земной коре установлено около 4 тыс. минеральных форм. Между числом собственных минеральных видов  $N$  и кларком элемента  $C_k$  существует корреляционная связь  $N = 200 \sqrt{C_k} \cdot 2^{\pm 1}$ . Элементы, образующие большее количество минеральных видов, нежели это следует из данной формулы, могут быть названными минералофильными, меньше — минералофобными. Почти все минералофильные элементы относятся к группе халькофильных, а минералофобные — к группе литофильных, как и подавляющее число элементов породообразующих минералов.

Весьма существенна роль микроминеральных форм нахождения элементов в природе, причем формирование микроминералов может идти как одновременно с кристаллизацией макроминералов, так и позднее при распаде твердых растворов, а также в процессе «самоочищения» макроминералов от примесей микроэлементов. В конкретной физико-химической и термодинамической обстановке формируются минералы оптимальных для данной среды размеров, причем с течением времени возможно укрупнение минералов за счет растворения более мелких зерен.

Под безминеральным существованием понимается существование элементов в виде тех или иных примесей в минералах чуждого ему состава. Наиболее характерны следующие безминеральные формы нахождения элементов в природе (для большинства элементов гидросферы, атмосферы и биосферы — господствующие): природные истинные и коллоидные растворы, газовые смеси, органическое вещество,

изоморфные примеси; структурные и неструктурные включения в минералах; скопление в межминеральных плоскостях: скрытокристаллические (аморфные) соединения: квазигазообразное состояние; сорбированное состояние в минеральном поглощающем комплексе; растворы во внутрикристаллических, пленочных и гравитационных водах; пары и газы в порах и трещинах; хелаты (металлоорганические соединения). Провести четкую границу между минеральной и микрокристаллической формой практически невозможно. С практической позиции удобно все безминеральные формы нахождения элементов в литосфере объединить в два подвида: подвижные и прочносвязанные по признаку извлекаемости элементов-примесей механически измельченных пород и руд простым выщелачиванием, не разрушающим кристаллическую решетку минералов, хотя такое деление в значительной мере условно.

Соотношение минеральной и безминеральной форм существования элементов в литосфере (в обобщенном виде) приведено в табл. 3. Относительная роль минеральной формы падает с уменьшением кларка элементов с некоторым отклонением в сторону завышения для минералофильных (Cu, Ag, Pb, U и др.) и занижения для минералофобных элементов (Se, Ga, Re, TR и др.).

В рудах для главных рудных элементов характерна минеральная форма существования. Для элементов-примесей с уменьшением их содержания в рудах сначала возрастает роль микроминеральных, а затем безминеральных форм. В первичных ореолах наблюдается аналогичная картина с удалением от рудных тел минеральные формы сменяются микроминеральными, а затем безминеральными.

Таблица 3

Минеральная и безминеральная формы нахождения элементов

Группа	Число элементов	Элементы	Минеральный вид		Безминеральный вид	
			Макроформы	Микроформы	Прочносвязанные формы	Подвижные формы
I	8	O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg	95—98	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 1$	$n \cdot 10^{-1}$
II	6	Ti, P, Ba, Sr, Zn, Cu	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 5$	$n \cdot 1$
III	5	H, F, S, C, Cl, B	$n \cdot 1$	$n \cdot 1$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$
IV	12	Li, Be, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Sn, Pb, U	$n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10$	$n \cdot 5$	$n \cdot 5$
V	13	Ce, Nb, Mo, Ag, Sb, Se, Ta, W, Au, Hg, Bi, Pt, Te	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 5$	$n \cdot 10$	$n \cdot 5$

Группа	Число элементов	Элементы	Минеральный вид		Безминеральный вид	
			Макроформы	Микроформы	Прочносвязанные формы	Подвижные формы
VI	18	Su, Ga, Ge, Br, Ru, Rh, Pd, Cd, In, Tl, Cs, I, La, Y, Re, Os, Ir, Th	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10$	$n \cdot 5$
VII	13	Rb, TR, Hf	0	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10$	$n \cdot 5$

В гипергенных литохимических аномалиях роль безминеральных форм рудных элементов возрастает, особенно во вторичных аккумуляциях на восстановительном, кислотно-щелочном и сорбционном барьерах, в солевых наложенных ореолах и потоках рассеяния.

Закономерности миграции химических элементов в земной коре находят отражение в минеральных видах и формах их нахождения в нормальном геохимическом поле и его локальных первичных и вторичных геохимических аномалиях. Поэтому с усложнением задач поисков все чаще прибегают к изучению форм нахождения рудных элементов в геохимическом поле, к избирательному анализу или к выявлению комплексных полиэлементных геохимических аномалий, оптимальное проявление которых наблюдается в различных формах нахождения основных элементов-индикаторов месторождений.

#### 1.4. Соотношения между рассеянным и концентрированным состоянием элементов

В процессе миграции химических элементов, с учетом многообразия видов и форм их существования, возможно возникновение природных образований с практически любым (весьма низким или очень высоким) содержанием конкретного элемента. Противоречащими закону Вернадского являются содержания элемента, равные 0 и 100 %. При этом нельзя установить какую-либо объективную границу между низкими содержаниями элемента, отвечающими его рассеянному состоянию, и высокими содержаниями, соответствующими концентрированному состоянию. В ряду непрерывных содержаний элемента любая подобная граница была бы произвольной, поскольку двум сколь угодно близким содержаниям элемента, лежащим по разные стороны от граничного, приписывались бы различные качественные состояния. Поэтому уместно ограничиться определением двух крайних состояний, понимая под рассеянным состоянием элемента содержания, близкие к его кларкам, а под концентрированным — близкие к его содержаниям в полезных ископаемых, из которых этот элемент извлекается в про-

мысленных целях. Примеры, характеризующие содержания некоторых элементов в состоянии рассеяния и концентрации приведены в табл. 4, в последнем столбце даны примерные цифры отношений между содержаниями элемента в рудах  $C_p$  и его кларком  $C_x$  для соответствующей геосферы. Эти цифры принято называть «кларками концентрации», обозначая их  $K_x$ .

Таблица 4

Соотношения между рассеянным и концентрированным состоянием элементов

Химический элемент	Рассеянное состояние		Концентрированное состояние		Кларк концентрации $K_x = C_p/C_x$
	Геосфера	$C_p$ , %	Объект	$C_p$ , %	
Fe	Литосфера	4,65	Рудное тело	45,0	10
Cu	Литосфера	$4,7 \cdot 10^{-3}$	Рудное тело	1,0	200
Pb	Литосфера	$1,6 \cdot 10^{-3}$	Рудное тело	1,5	1000
Hg	Литосфера	$8,3 \cdot 10^{-3}$	Рудное тело	0,2	24 000
Br	Гидросфера	$6,5 \cdot 10^{-3}$	Минеральные воды	0,4	60
Ne	Атмосфера	$5,2 \cdot 10^{-4}$	Газовая залежь	1,0	2000
H	Литосфера	0,1	Нефтяная залежь	12,0	120

Обширные геохимические данные показывают, что при массовом опробовании геохимическое поле характеризуется преобладанием относительно низких и сравнительно постоянных содержаний химических элементов, определяемые их кларками, и только в редких случаях существенно превышает этот уровень. Для многих хозяйственно важных элементов эти фоновые содержания составляют только  $10^{-4}$ ...  $10^{-6}$  %, что делает их извлечение экономически нецелесообразным. При добыче минерального сырья современная промышленность преимущественно ориентируется на природные скопления химического элемента (месторождения), по содержанию ценных компонентов, многократно превышающих средний уровень. Соответственно в практических целях принято различать рассеянное и концентрированное состояние элементов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере.

*Рассеянное состояние* характеризуется повсеместными содержаниями химических элементов, близкими к их кларкам для соответствующих геосфер, и в современную эпоху признается недостаточным для промышленного извлечения большинства элементов. *Концентрированное состояние* отвечает промышленным содержаниям элементов, близким к требованиям промышленности для соответствующих полезных ископаемых. Концентрированное и рассеянное состояние элементов связаны непрерывными переходами, и объективных границ между ними не существует. Для количественной характеристики этих состояний служит кларк концентрации ( $K_x$ ). Величина  $K_x$  может быть больше и меньше 1, указывая в последнем случае на вынос элемента. Степень

концентрации элементов в месторождениях полезных ископаемых охарактеризована в табл. 5 ориентировочными величинами  $K_k$  по состоянию на 1985 г. Для большинства элементов, образующих месторождения твердых полезных ископаемых, значения  $K_k$  рассчитаны как отношение средних содержаний элемента в добываемых рудах к его кларку в литосфере. Дополнительно в табл. 5 включены Br, добываемый из рассолов, и He, для которых  $K_k$  рассчитаны соответственно по отношению к кларкам гидросферы и атмосферы. Значения  $K_k$  для H приведены для нефти по отношению его к кларку в литосфере.

Таблица 5

Кларки концентрации элементов в полезных ископаемых

$K_k$	Химические элементы	Число элементов
$n \cdot 1$	Si, Al, Sc, K, Ti, Fe, Ca	7
$n \cdot 10$	Zr, Mg, Na, Hf, Tl, P, Y, Rb, Li, Br	10
$n \cdot 10^2$	Nb, C, Co, Ba, La, TR, V, Se, Ta, Th, Sr, Mn, Ni, U, Cu, F, S, Zn, H	31
$n \cdot 10^3$	In, B, Sn, Cr, Au, Cs, Cl, Mo, Pb, Pt, Ge, Be, W, Te, He	15
$n \cdot 10^4$	Ac, Cd, As, Sb, Hg, Bi	6

## 1.5. Факторы и условия концентрации элементов

Все геологические процессы ведут к разделению химических элементов, рассеянию одних и концентрированию других, в том числе с образованием залежей полезных ископаемых. Факторы и механизмы концентрирования и рассеяния в различных процессах весьма разнообразны.

В магматических процессах наиболее существенное перераспределение химических элементов связано с пространственным разделением фаз различного химического состава. При формировании рудных месторождений, связанных с ультраосновными породами, происходит кристаллизация и накопление рудного хромита, а также ликвация — отделение от силикатного расплава в результате несовместимости сульфидной жидкости, концентрирующей в своем составе халькофильные и сидерофильные элементы (Cu, Ni, платиноиды, Au, Ag, Se, Te и др.). Условием концентрирования этих фаз является раннее их появление в ходе кристаллизации магмы. И возможность существенного перераспределения в объеме магматической камеры. Концентрирование рудных элементов, не входящих в главные и акцессорные фазы, происходит в результате их нахождения в остаточных расплавах (Ti, V в основных магматических породах; P, TR, Zn, Nb, Th, U — в щелочных породах; Be, Li, TR, Y, Zr, Hf, Nb, Ta, Sn, W и др. — в кислых породах).

В гидротермально-метасоматических процессах условия концентрирования элементов связаны с изменением растворимости соединений элементов на различных физико-химических барьерах. Резкие изменения термодинамических параметров растворов связаны с изменением их температуры, кислотности, окислительно-восстановительного потенциала в результате взаимодействия с породами, отличающимися по основности или содержащими, например, сильные восстановители (органическое вещество). Большое значение имеют явления смешения разных растворов, явления автосмещения различных порций одного и того же раствора, претерпевших различное по масштабам взаимодействие с породами, изменение давления и температуры при адиабатическом расширении или вскипании растворов, а также изменение динамики фильтрации растворов.

Масштабы возникающих концентраций рудных элементов определяются контрастностью геохимического барьера, объемом и составом фильтрующих растворов. Закономерные ассоциации химических элементов в таких концентрациях и зональность их перераспределения в пространстве зависят от конкретных форм переноса элементов и типа геохимического барьера. Огромное разнообразие геохимических типов рудных месторождений и их масштабов определяется пестротой и разнообразием геологических условий (типом вмещающих пород, характером их смены в пространстве, распределением пористости и зон повышенной проницаемости, составом гидротермального раствора, соотношением объемов раствора и взаимодействующих с ним пород) и многофакторностью процесса.

В условиях выветривания и осадочной дифференциации концентрирование элементов обусловлено их разделением в зависимости от растворимости (подвижности) в водных растворах, механической дифференциации взвешенных твердых фаз, процессами осаждения и соосаждения из водных растворов. Наименее растворимые в водных растворах соединения и ничтожно растворимые продукты гидролиза силикатов и алюмосиликатов концентрируются в остаточных корах выветривания. Масштабы накопления элементов здесь зависят от интенсивности выщелачивания и выноса растворимых соединений, что, в свою очередь, определяется интенсивностью водообмена и, в меньшей степени, вариациями кислотности поверхностных вод. Концентрирование химически и физически устойчивых минералов, обладающих, как правило, повышенной плотностью, определяется гидродинамикой текучих вод и бассейнов седиментации. Разделение и концентрирование элементов в конечных водоемах стока определяются фаціальными условиями осадконакопления, важнейшими из которых являются гидродинамика водоема и активность живого вещества. Определяющее значение для формирования значительных локальных концентраций рудных элементов в осадочных породах имеют постседиментационные процессы (диагенез и эпигенез), в которых распределение элементов контролируется локальными вариациями

окислительно-восстановительных условий, распределением органического вещества, пористости пород и зависят от условий, определяющих возможность концентрирования и масштабы фильтрации поровых вод.

Концентрирование элементов, образующих легкорастворимые соединения (соли Na, K, Mg, Ca, Sr, а также Cl, S, Br, I), обусловлено процессами сгущения морской воды, локализация и масштабы которых определяются тектоническими и климатическими факторами. При этом формируются, с одной стороны, отложения солей (концентрации Na, K, Mg, сульфатов), с другой — остаточная рапа, в которой в промышленных масштабах могут концентрироваться Sr, Li, Br и некоторые другие компоненты.

В соответствии с положениями В. И. Вернадского о состоянии рассеяния в любом природном объекте содержатся все химические элементы. Однако довольно часто на отдельных участках земной коры — в коренных породах, почвах, растениях, водах, атмосфере — ряд элементов накапливаются совместно. В таких случаях говорят об ассоциациях элементов, подразумевая при этом, что их содержание превышает обычное, характерное для изучаемых объектов (табл. 6).

Таблица 6

Ассоциация элементов, находящиеся в повышенных концентрациях в коренных породах на месторождениях полезных ископаемых

Тела полезных ископаемых	Ассоциация элементов, находящиеся в повышенных содержаниях
<b>1. Магматические месторождения</b>	
Хромитовые	Cr, Fe, Mg, (Pt, Al)
Платиновые	Cr, Fe, Pt, (Os, Ir), Mg
Титано-магнетитовые	Fe, Ti, V
Апатит-магнетитовые	Fe, F, P, Ca, (Zr)
Редких земель	Ti, Nb, Zr, Na, Ge, P, Al, F, (TR), Na
Медно-никелевые (сульфидные)	Ni, Cu, (Pt, Pd, Co)
Алмазные (кимберлиты)	C, Cr
Апатитовые	P, Ti, Li, Zr, Th, Be, F, Cl, Sr, Nb, Ta, TR
<b>II. Карбонатитовые месторождения</b>	
Редких земель	Na, Ca, Ge, La, Nb, Ti, Ta, (TR), Mg, Zr, F, Ca
Апатитовые	P, Ca, Mg, Fe, Sr, Ba, TR, Ti, Zr, Nb, Ta, Cu, Mo
<b>III. Пегматитовые месторождения</b>	
Вольфрамо-литиевые	W, Li, Sn
Монацитовые	TR цериевой группы, Th
Верилло- и топазоносные	F, B, Cl, Li, Pb, Cs, Ti, Nb, Ta, TR

Тела колчаных ископаемых	Ассоциация элементов, находящихся в повышенных содержаниях
<b>IV. Скарновые месторождения</b>	
Железорудные	Fe, Ca, Al, Si
Медные	Cu, Pb, Ca, Al, Si (Mo, Co), (Pb, Zn)
Молибденово-вольфрамовые	Mo, W, Fe, Ca, Al, Si
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Fe, Cu, Ag, Bi, Al, Si
Оловорудные	Sn, Fe, Cu, (Mo, As, Zn, Pb, Bi, Ag, W), Si
Берилловые	Be, Fe, Mn, Si, Al, (Sc), W
Борные	B, Mg, Fe
<b>V. Альбитит-грейзеновые месторождения</b>	
Редких земель, альбититовые	Be, Li, Rb, Ta, Nb, Zr, TR иттриевые и цериевые, Na, K, Al, Si
Грейзеновые	Sn, W, Li, Be, Si, Al
Грейзеновые не сульфидные	Sn, W, Mo; Mo, Be, Li; W, Mo, Be, F; Si
Грейзеновые сульфидные	Al, (Fe, Cu, As, Bi, Zn, Pb)
<b>VI. Гидротермальные месторождения</b>	
Кварцевого парагенезиса	Au, As, Fe, Bi, Mo, W, U, Si, Cu
Сульфидного парагенезиса свинца и цинка	Pb, Ba, Zn, Cu, Fe, U, Mo
Сульфидного парагенезиса пьитазментной формации	Co, Bi, Ni, Ag, U, As, Ca, Ba, F, Fe, (Pb, Zn, Cu)
Сульфидного парагенезиса касситерита	Sn, Pb, Zn, Fe, W
Карбонатного парагенезиса железа	Fe, Mg, Ca, (Cu, Pb)
Карбонатного парагенезиса марганца	Mn, Mg, Ca, (Fe, Ba)
Карбонатного парагенезиса магния	Mg, Ca
Колчеданные	Fe, Cu, S, Zn, Pb, (Au, Ba)
Графитсодержащие	C, Mg, Fe, Ti, Y, (Cu, Zn)
<b>VII. Стратифицированные месторождения</b>	
Медные	Cu, Fe, (Pb, Zn, Ag)
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Fe, Mg, (Ba, F)
<b>VIII. Осадочные месторождения</b>	
Борные	B, Mg, K
Железные	Fe, Mn



Тела полезных ископаемых	Ассоциация элементов, находящихся в повышенных содержаниях
Марганцевые	Mn, Fe
Алюминиевые (бокситовые)	Al, Fe
IX. Метаморфогенные месторождения	
Марганцевые	Mn
Железистые кварциты	Fe
Титановые	Ti, Fe
X. Месторождения выветривания	
Остаточные силикатно-никелевые	Ni, Mg, Al, (Cr, Mn)
Остаточные железистые	Fe, Mg, Mn, Co, Ni, Cr
Остаточные алюминиевые	Al, Fe, Mn
Инфильтрационные урановые	U, Re, V, Cu

Совместное накопление элементов может объясняться общностью условий миграции, обусловленных внутренними и внешними факторами. В тех случаях, когда на концентрацию определенных элементов решающее влияние оказывают сходные внутренние факторы, ассоциации элементов, находящихся в повышенных содержаниях, сохраняются в широком диапазоне различных геологических и ландшафтно-геохимических условий. Так, устойчивы ассоциации: уран — свинец — гелий, торий — свинец — гелий, калий — аргон, образование которых связано с радиоактивным распадом. Если же на образование ассоциаций основное влияние оказывают внешние факторы, совместное нахождение элементов ограничено комплексом определенных условий. Ассоциация золото — медь — мышьяк — свинец — цинк — железо типична только для золотосульфидных руд, при выветривании которых могут возникнуть новые ассоциации: золото — мышьяк — железо, медь — мышьяк — цинк — золото — железо и т. д.

Наиболее часто при геохимических исследованиях приходится иметь дело с ассоциацией минералов, слагающих магматические, метаморфические и осадочные горные породы, гипергенные образования, различного типа месторождений и ореолы рассеяния. Совместная концентрация элементов в горных породах отражена в геохимических классификациях химических элементов В. И. Вернадского, В. М. Гольдшмидта, А. Е. Ферсмана, А. А. Заварицкого. Основные ассоциации элементов различных месторождений полезных ископаемых, полученные из данных документаций химического состава месторождений различного генезиса приведены в табл. 6.

Применение гидрохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых предполагает знание ассоциаций элементов, находящихся в повышенных содержаниях в водах и пределах месторож-

дений различного типа (табл. 7). В подземных водах на месторождениях почти всех типов (см. табл. 7) встречаются в повышенных содержаниях медь, цинк и молибден, являющиеся «проходящими» металлами. Их содержание не свидетельствует об оруденении; только значительная концентрация этих элементов может иметь поисковое значение. Среди элементов рассматриваемых ассоциаций значительная часть представлена прямыми индикаторами. Однако часто большей «поисковой значимостью» обладают находящиеся в этой ассоциации косвенные элементы-индикаторы. Так, одним из лучших гидрохимических индикаторов полиметаллического оруденения является кадмий. Гидрогеохимические поиски кимберлитовых трубок могут вестись по повышенным концентрациям Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga и Cu.

Таблица 7

Ассоциации элементов, характерные в повышенных содержаниях в подземных водах на месторождениях различных типов

Тип месторождений	Гидрохимические ассоциации элементов	Содержание мг/л
Магматические медно-никелевые	Cu, Ni, Co, Fe, Ag, Cr, Zn, Pb, Sb, Sn, Ti, V	0,01—100
Магматические хромитовые	Cr, Ni, Co	(?)
Магматические титаномагнетитовые	Ti, Fe, Ni, Co, F, Li, Be, Nb	(?)
Редкометалльные апограниты	Li, Bi, Nb	(?)
Редкометалльные пегматиты	W, Sn, Bi, Ni, Zr, Sb, (Cu, Zn, Pd, Cr	(?)
Пегматиты олововольфрамовые	W, Sn, Bi, Ni, Sr, Sb, (Cu, Zn, Pd, Cr	0,01—1,0
Пегматиты бериллиевые	Mo, Sn, W, Zn, Bi, Zr, (Cu, Pb, Ni)	0,01—0,1
Скарновые железорудные	Fe, (Mn)	(?)
Скарновые медные	Cu, Mo, (Zn, Pd, Co)	0,01—1,0
Скарновые молибденовольфрамовые	Mo, Zn, W, Fe, (Pb, Sn)	(?)
Скарновые свинцово-цинковые	Zn, Pb, Cu, Mo, (As, Ag, Mn, Ni, Ba, Co, Sr, Sn)	1—3000
Скарновые боровые	B, F, Li, As, Cu, Zn, Hg, Pd	(?)
Грейзеновые сульфидные	Mo, Cu, Mn, Ti, Sr, Ni, V, Zr, W, As, Co	(?)
Грейзеновые кварц-вольфрамитовые	Mo, Mn, (Ti, Ni, V, Zr, Bi, Zn, Ag, Cu, Sr)	1—600
Гидротермальные медно-молибденовые	Mo, Sn, Mn, Ti, Ni, V, Pb, Zn, Ag, Co	Сл.; для Mo: 1—10

Тип месторождений	Гидрохимические ассоциации элементов	Содержание мг/л
Гидротермальные медно-кобальтовые	Cu, Co, As, Fe, Ni, Zn, Ag	0,01—100
Гидротермальные сурьмяные	Sb, As, Pb, Zn, Ag, Bi, Cu, Ni, Co	0,01—1,0
Гидротермальные ртутные	Hg, Sb, As, Zn, Pb, Cu	0,01—0,1
Гидротермальные свинцово-цинковые	Zn, Pb, Cu, Mo, Ag, (Cr, Cd, V, Bi, Sb)	0,1—10
Гидротермальные оловорудные	Zn, Sn, Pb, Cu	(?)
Гидротермальные золоторудные	As, Au, Bi, Pb, Cu, Zn, (Mo, Ag, Sb)	0,01—1,0
Гидротермальные урановые	As, U, Cu, Zn, Pb, Ni, Mo	До 10,0
Медно-колчеданные	Cu, Zn, Pb, Mo, Fe, (As, Ag)	0,1—6000
Остаточные силикатно-никелевые	Ni, Co, Ti, Cu	(?)
Циркон-ильменитовые россыпи	Ti, Zr, Cr, V, (Sn, Ag, Ni, Co)	0,01—0,5
Касситерит-вольфрамитовые россыпи	Sn, W, Mo, Cu, Zn	0,0001—0,001
Алмазоносные кимберлиты	Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga, Cu	(?)
Пегматитовые берилл и топазодержащие	F, B	(?)
Магматические апатитовые	Cu, Zn, Ba, P	0,01—0,05
Залежи нефти	I, Cu, Mo, Ag (диоксид углерода, сероводород, бензол)	

Особое место занимают ассоциации элементов, возникающие при биогеохимических процессах. Их образование с одной стороны, обусловлено физиологическими потребностями живой материи. А с другой — химическим составом окружающей (и питающей среды). С изменением состава окружающей среды (коренных пород и почв) изменяется содержание в растениях металлов. Особенно резкие изменения происходят над месторождениями. Выделяются специфические ассоциации основных элементов, находящиеся в повышенных содержаниях в золе растений над различными типами месторождений (табл. 8).

Обобщая изложенное выше, А. П. Соловов пришел к выводам, что содержание любых химических элементов в доступных для изучения сферах в среднем характеризуется цифрами соответствующих кларков, они всегда больше нуля, зависят от координат и непостоянны во времени. Образование локальных концентраций химических элементов требует затраты внешней энергии и наличия совокупности благоприятных условий. В геологическом цикле миграции химических элементов

подобные условия возникают неоднократно, и результатом их является образование месторождений полезных ископаемых различных генетических типов. Одновременное возникновение комплекса благоприятных условий, необходимых для концентрации элементов, принадлежит к числу редких геологических событий и только малая доля глобальных концентраций химических элементов сосредоточена в соответствующих месторождениях. Поэтому обнаружение новых месторождений, удовлетворяющих промышленным требованиям, составляет относительно трудную геологическую задачу.

Таблица 8

Ассоциации элементов, находящиеся в повышенном содержании в растениях, над различными типами месторождений

Типы месторождений	Ассоциация элементов
Редкометалльные пегматиты	Li, Sr, Ta, Nb, (Rb, Be)
Танталовые апограниты	Rb, Li, (Sn)
Скарновые медно-кобальтовые	Co, Ni, Cu, As, (Ag, Pb, Zn)
Скарновые берилловые	Be
Скарновые медные	Mo, Cu
Скарновые молибдено-вольфрамовые	Mo, W, (Bi)
Грейзеновые сульфидные	Be, Mo, Bi
Грейзеновые редкометалльные	Be, F, Zr, (Cu, Mo, Pb)
Гидротермальные золотокварцевые	Zn, Au, (Pb, Cu)
Гидротермальные золотосульфидные	Au, Cu, As, (Ag, Pb, Mo)
Гидротермальные урановые	U, (Mo, Pd, Zn), Th, TR
Гидротермальные оловорудные	Sn, Pb, Cu, Zn
Гидротермальные медные	Mo, Cu, Zn
Гидротермальные молибденовые	Mo
Гидротермальные полиметаллические	Zn, Pb, (Ti, Mn)
Колчеданно-полиметаллические	Pb, Zn, Mo, Ag, (Sn, Cu)
Медно-колчеданные	Mo, Cu, Zn, Co, (Ag)
Стратифицированные свинцово-цинковые	Pb, Zn (Ag)
Никеленосные коры выветривания	Ni, (Co, Cu)
Алмазоносные кимберлиты	Ni, Cr, Ti
Эндемические бора	B
Залежи нефти и газа	Pb, Zn, Co, Mn, Ni, Ba, Cr

В современных условиях добыча полезных ископаемых ведется в основном из месторождений, которые залегают в литосфере и относятся к разряду литохимических аномалий. В пределах такой литохи-

мической аномалии выделяются контур промышленных руд и окружающая его зона горных пород с более низкими содержаниями ценных компонентов, недостаточными для их рентабельного извлечения. Зона повышенных содержаний рудных или сопутствующих элементов в околорудных (коренных) породах, образованная одновременно с рудным телом в результате тех же процессов эндогенного или экзогенного (первично-осадочного) или метаморфогенного рудообразования, именуется *первичным ореолом*.

Граница между рудным телом и его первичным ореолом часто имеет не геологический, а только временный, экономический смысл, отделяя промышленные руды от забалансовых. При пересмотре требований к среднему содержанию металла в рудах, и, следовательно, нижнего промышленного (бортового) содержания форма рудного тела в его границах с первичным ореолом соответственно изменится. Однако понятие о первичном геохимическом ореоле месторождения или рудного тела значительно шире существующего понятия о «забалансовых рудах», внешний контур которых определяется только более низким, нежели бортовое, содержанием ценного металла и которые в недалекой перспективе могут стать объектом промышленной отработки. Первичный ореол включает зону рудовмещающих пород с содержанием металлов, лишь в самой незначительной степени превышающих местные фоновые содержания, а также зоны аномальных содержаний элементов-спутников оруденения не являющихся ценными компонентами залежей. По периферии первичного ореола содержания рудных элементов постепенно приближаются к фоновым, что определяет сложную конфигурацию и условный характер его внешней границы. В контуре первичного ореола геометрические размеры месторождений в плане и разрезе значительно превышают размеры рудных тел. В простейшем случае первичный ореол основного рудного элемента повторяет в расширенных границах форму рудного тела (рис. 5). Контур первичных ореолов элементов-спутников могут существенно отличаться от формы рудных тел. Первичные ореолы существуют вокруг залежей любых полезных ископаемых, в частности, нефтяных и газовых месторождений.

Месторождения, образованные на глубине или захороненные в процессе осадконакопления в результате последующих тектонических поднятий и процессов денудации выходят к уровню земной поверхности. Возможные при этом последовательные положения относительно крутопадающей залежи схематически показаны на рис. 5. Положение дневной поверхности на уровне *А* отвечает условиям слепого залегания рудного тела, сопровождаемого нескрытым (слепым) первичным ореолом. Уровень *Б* вскрывает только надрудный первичный ореол, денудационная поверхность на уровне *В* вскрывает рудное тело и прилегающий к нему околорудный ореол. Уровень *Г* отвечает стадии, когда рудное тело уже уничтожено денудацией, и в коренных породах сохранился лишь подрудный интервал первичного ореола. Дальнейшее понижение денудационной поверхности до уровня *Д* отвечает стадии

полной ликвидации гипергенными процессами коренного месторождения и его первичного ореола. Обеспечивая горнопромышленную доступность глубоких горизонтов литосферы, выветривание и денудация одновременно ведут к постепенному уничтожению ранее образованных месторождений полезных ископаемых.

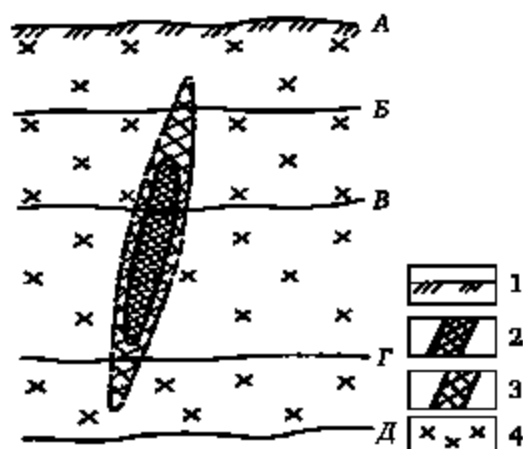


Рис. 5. Уровни денудационных срезов (Б—Д) крутопадающего рудного тела и его первичного ореола:

- 1 — первоначальная дневная поверхность (уровень А), отвечающая условиям «слепого» залегания рудного тела; 2 — рудное тело; 3 — первичный ореол основного рудного элемента; 4 — рудовмещающие породы

Минеральное вещество месторождения, подвергаясь выветриванию и денудации, смешивается с продуктами выветривания окружающих горных пород, растворяется атмосферными осадками и претерпевает разнообразные физико-химические превращения. Химические элементы, находящиеся в рудном теле, в состоянии концентрации, при этом рассеиваются в общей массе рыхлых новообразований и природных водах зоны гипергенеза, принимают участие в формировании твердого и гидрохимического стока с суши, поступающего в область осадконакопления, в самом общем случае в мировой океан.

Присутствующие в месторождениях или образовавшиеся в зоне выветривания газообразные продукты при этом рассеиваются в атмосфере. С этой точки зрения верхние горизонты современной суши, в которых протекают процессы выветривания и денудации, ведущие к разрушению и ликвидации ранее образовавшихся местных концентраций химических элементов, именуется *полем рассеяния месторождений полезных ископаемых*. Процессы, протекающие в поле рассеяния, могут сопровождаться образованием местных вторичных концентраций химических элементов. Примерами этого являются зоны вторичного сульфидного обогащения, промышленные россыпи или месторождения коры выветривания. Однако в процессах физико-химического, биогенного или механического переотложения вещества, которые

ведут к образованию разнообразных вторичных концентраций элементов, значительная часть полезных компонентов также подвергается рассеянию. Последующее поступательное развитие рельефа вовлекает эти вторичные концентрации в новый цикл выветривания и денудации, и поэтому в целом процесс всегда направлен в сторону рассеяния.

На всем интервале уровней Б—Г формирование элювио-делювиальных продуктов выветривания протекает с участием соответствующих интервалов полезного ископаемого. Возникающие при этом зоны повышенных (аномальных) содержаний ценных или сопутствующих элементов в окружающих природных образованиях, прилегающих к коренным залежам и обязанные своим происхождением гипергенной миграции химических элементов полезного ископаемого, именуются *вторичными ореолами рассеяния месторождений*. Содержания химических элементов во вторичных ореолах рассеяния обычно характеризуются промежуточными значениями между высокими содержаниями в полезном ископаемом и низкими содержаниями, отвечающих местному геохимическому фону. В плане вторичный ореол рассеяния, в первом приближении повторяет форму выхода промышленной залежи и ее первичного ореола на поверхность коренных пород, обычно значительно превышая их по площади.

Области повышенных содержаний ценных или сопутствующих им элементов на путях твердого, растворимого (водного) или газообразного, поверхностного или подземного стока суши, развивающиеся за счет вторичных ореолов рассеяния месторождений, принято называть *потоками рассеяния*. Аномальные содержания химических элементов в потоках рассеяния месторождений характеризуются промежуточными значениями между высокими содержаниями во вторичных ореолах рассеяния и местными фоновыми содержаниями. Потоки рассеяния вытянуты в направлении действующего стока, иногда на многие километры от месторождений и затухают постепенно по мере приближения содержаний химических элементов к уровню геохимического фона или ограничиваются размерами конечных водоемов стока. Вторичные ореолы и потоки рассеяния месторождений могут проявляться в различных геосферах — в химическом составе горных пород, в продуктах их выветривания и почвах, в поверхностных и подземных водах, в составе подземной и природной атмосферы, в растительности и живых организмах. Соответственно этому различаются литохимические, гидрохимические, газовые и биогеохимические вторичные (гипергенные) вторичные ореолы и потоки рассеяния. На рис. 6 показаны наиболее обычные взаимоотношения рудного тела с его вторичным ореолом и потоком рассеяния в условиях современного горного рельефа. В других случаях эти связи имеют более сложный характер.

Залегающее в толще горных пород промышленное или самое незначительное тело полезного ископаемого любого минерального сырья, само по себе являясь геохимической аномалией, способно в соответствующих условиях образовывать литохимические, гидрохимические,

биохимические и атмосферические ореолы и потоки рассеяния. В процессе гипергенной миграции элементов в любой из геосфер возможно появление различных вторичных аккумуляций химических элементов. Все эти геохимические аномалии взаимосвязаны вследствие непрерывного обмена между геосферами.



Рис. 6. Блок-диаграмма гипергенного поля рассеяния:

- 1 — аллювий-дельтовый; 2 — аллювий; 3 — рудное тело и его первичный ореол;  
 4 — рудовмещающие породы; 5 — контур аномальных содержаний рудных элементов в продуктах выветривания в речной воде и в растительности;  
 6 — направление стока

В настоящее время следует считать доказанным неизбежное появление гидрохимических аномалий в составе речных или подземных вод вблизи рудных месторождений самых различных генетических типов. В равной мере, не вызывает сомнений реальность возникновения аномальных содержаний рудных элементов в составе растительности, произрастающей в зоне оруденения.

Взаимосвязанность и взаимообусловленность рудных геохимических аномалий в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере, а также характер возникающих при этом прямых и обратных связей схематично показаны на рис. 7.

Рудные тела и их первичные ореолы, залегая в литосфере, способны к прямому образованию вторичных ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных продуктах выветривания и перекрывающих породах, а также потоков рассеяния в аллювиальных отложениях гидросети. Эти геохимические аномалии являются соответственно первым и вторым удалением от объекта поисков рудного месторождения в литосфере. За счет эффузии и диффузии газов из глубины, по рудным зонам фор-





ментов из водных ореолов и потоков рассеяния, определяя образование биогеохимических аномалий. Это поглощение рудных элементов растениями не является безвозвратным. Доказана способность растительности в процессе респирации влаги испарять в атмосферу легколетучие металлоорганические соединения, образуя биогенную составляющую атмосхимических аномалий над рудными месторождениями. С выпадающими атмосферными осадками эти газовые компоненты возвращаются в литосферу и гидросферу.

По мере перехода от литохимических аномалий к гидрохимическим и от гидрохимических к биогеохимическим связи между рудным месторождением (целью геохимических поисков) и выявляемыми аномалиями становятся все более сложными и отдаленными, а результаты съемок трудно интерпретируемыми.

Высокая интенсивность геохимической аномалии в любой геосфере сама по себе не является гарантией того, что она сопровождает богатое оруденение. По данным многочисленных исследователей аномальные поля являются многоуровневыми, иерархически построенными конструкциями, в которых оруденение занимает вполне определенное положение. Выявленные аномалии являются неотъемлемой частью более обширных областей геохимического поля, имеющих свою структуру. Концентрация рудного вещества идет последовательно от уровня к уровню. Поэтому наличие промышленного оруденения, определяет обязательное наличие аномальных геохимических полей высших рангов: рудного поля, рудного узла, рудной провинции и т. д. В то же время обратной силы это утверждение не имеет, так как этот процесс концентрирования может остановиться на любом уровне. Поэтому наличие аномального геохимического поля ранга рудного поля отнюдь не определяет, что в его пределах находится промышленное месторождение (рис. 8).



**Рис. 8. Схема иерархии аномальных геохимических полей (по В. Г. Ворошилову):**

1 — Рудогенерирующий источник; 2—5 — геохимические поля: 2 — рудного узла, 3 — рудного поля, 4 — месторождения, 5 — рудного тела

Уже в начальный период геохимических исследований формируется представление о площадных ореолах значительного масштаба. В последующие годы основное внимание было сосредоточено на изучении окolorудных первичных ореолов, в то время как вопросы формирования ореолов площадного типа долгое время почти не рассматривались. Полнее ореолы этого типа стали рассматриваться в работах сотрудников Института геохимии им. А. П. Виноградова, выполняемых под руководством Л. В. Таусона. Авторами этих исследований были выделены ореолы рудных узлов, рудных полей и месторождений, указывалось также на вероятность выделения более крупных таксономических единиц.

В целом проведенные исследования свидетельствуют о длительности и сложности формирования первичных ореолов. Наметилось два подхода к классификации различных видов ореолов — морфологический и генетический. Деление ореолов по генетическим признакам несомненно очень важно для понимания рудного процесса. Однако на практике этот принцип не всегда может быть применен, так как образование ореолов различного генезиса обычно происходит в одном и том же объеме пород и поэтому часто невозможно провести четкие границы в пространстве между ними. В связи с этим представляется более целесообразно использовать в основном морфологические признаки. Тем более, что морфологические особенности ореолов зависят от условий отделения и миграции рудоносных флюидов, формы питающих их очагов и т. п. Это указывает на то, что морфологический тип содержит в себе элементы генетического типа, хотя полностью они не могут быть отождествлены из-за явлений конвергенции.

Н. И. Сафроновым ореолы по масштабу делятся на две группы — регионального и локального распространения.

В рамках первой группы по морфологическим признакам выделяются ореолы площадного и линейного типов, которые в свою очередь делятся на ореолы околоинтрузивные, рудных узлов, зон разломов и рудоносных зон.

Среди второй группы можно выделить ореолы месторождений, рудных тел и рудных столбов.

Околоинтрузивные ореолы образуются практически около всех гранитоидных интрузий, но масштабы их проявления различаются очень существенно и зависят, в общем случае, от типа гранитоидов и тектонических условий их становления. Наиболее интенсивные ореолы характерны для гиабиссальных интрузий редкометалльных гранитов с высоким уровнем накопления летучих.

Намечаются два этапа в формировании околоинтрузивных ореолов, принципиально различающихся между собой формами переноса рудных и сопутствующих компонентов. Первый этап, синхронный с образованием контактовых роговиков, обусловлен отделением эманаций апикальными частями интрузий в ранний период их становления. Второй этап связан с постмагматическими процессами, которые

вызваны растворами, поступающими из глубинных магматических очагов, что вытекает из-за несоответствия массы привнесенных компонентов во вмещающие породы с их массой во вскрытых частях интрузий.

Общим для ореолов эманационного этапа является преимущественный привнос во вмещающие породы летучих компонентов, в частности фтора. Характерно, что уровни концентрации фтора в купольных структурах разных районов отличаются не существенно, в то время как масштабы процессов различаются очень резко. В условиях хорошо выраженной эманационной дифференциации ореолы охватывают значительный объем пород, распространяясь на 2—1,5 км и более над кровлей интрузии, практически не зависимо от ее морфологии. В условиях угнетенности процессов эманационной дифференциации типичны локальные ореолы. Очень слабо проявлены эманационные ореолы в связи с крупными батолитоподобными интрузиями гранитоидов, формирование которых протекало на значительных глубинах. Неблагоприятными для развития эманационных процессов являются также малые глубины становления интрузий и их приуроченность к мобильным зонам, что предопределяет раннюю относительную дегазацию расплавов.

Для ореолов второго этапа, связанных с постмагматическими процессами, характерно резкое возрастание роли рудных элементов. Формирование их протекает, как правило, в несколько стадий, иногда значительно разорванных во времени, что наглядно иллюстрируется временными соотношениями в развитии метасоматических преобразований.

Металлогеническое изучение рудных узлов показало широкое развитие в их пределах мелких рудопроявлений и точек непромышленной минерализации, на фоне которых выделяются участки (рудные поля, месторождения) с высокой степенью концентрирования рудного вещества. Эта общая закономерность хорошо согласуется с геохимическими исследованиями, которые указывают на то, что рудные узлы и зоны выделяются общим повышением концентрации для целого ряда рудогенных элементов.

Ореолы месторождений отчетливо картируются резким повышением концентрации элементов на невысоком фоне ореолов регионального плана. Они отражают появление качественно новой флюидной системы, характеризующейся более высоким энергетическим потенциалом. Указанная соподчиненность в развитии ореолов согласуется с представлениями Г. Л. Поспелова о строении и развитии «фильтрирующихся гидротермальных систем». Им подчеркивается мысль о том, что необходимым условием, ведущим к формированию месторождений, является образование устойчивых длительно существующих термосистем, в пределах которых имеет место «фазового обособления обогащенных струй». Эта идея перекликается с пред-

ставлениями Ф. А. Летникова и Н. А. Нарсеева об эволюции термостатированных систем. Следствием таких длительно существующих систем является образование достаточно локальных ореолов месторождений.

Говоря об ореолах месторождений, нельзя не остановиться на соотношении их с околорудными ореолами в связи с точкой зрения о том, что они являются интегральным выражением последних. Несомненно, в генетическом отношении между ореолами месторождений и околорудными ореолами нет принципиальных различий, так как их формирование связано с развитием одной и той же флюидной системы. Ореолы рудных тел в качестве составной части входят в ореолы месторождений, отражая более высокий уровень развития рудного процесса в локальных благоприятных для этого участках. Временная соподчиненность между рассматриваемыми ореолами определяется более ранним образованием слабоконтрастных ореолов месторождений, на что указывают данные по метасоматическому преобразованию пород, последовательность формирования которых интерпретируется вполне определенно. Изучение метасоматитов на рудных полях свидетельствует о том, что наряду с околорудными изменениями в их пределах широкое распространение получают более ранние дорудные изменения пород, охватывающие значительные площади.

Характерной чертой ореолов месторождений является их площадное или линейно-площадное распространение аномальных концентраций невысокой контрастности. Контрастность их обычно на порядок и более отличается от контрастности околорудных ореолов. Формирование ореолов месторождений, как правило, начинается в дорудный период и часто сопровождается площадной предрудной метасоматической проработкой пород.

## 1.6. Геохимия ландшафтов

Геохимические съемки слепых и погребенных месторождений любого генезиса могут производиться на значительной глубине от дневной поверхности, относимой с точки зрения современных процессов к зоне сравнительного геохимического покоя. Значительно чаще геохимические поиски месторождений полезных ископаемых ведутся на земной поверхности, в области сочленения литосферы с атмосферой и гидросферой, в условиях активной современной механической, солевой и биогенной миграции химических элементов. В итоге методика этих геохимических поисков и оценка выявленных лито-, гидро-, атмос- и биогеохимических аномалий в большой мере определяются закономерностями гипергенной миграции элементов. Анализу этих процессов посвящено созданное Б. Б. Полюновым учение о геохимических ландшафтах. В его основе лежат представления об элементарных ландшаф-

тах — участках земной поверхности, характеризующихся единообразием условий гипергенной миграции химических элементов, с однородными климатическими и геологическими условиями, с определенным типом рельефа, растительности и почвы. Соответственно этому выделяются автономные (элювиальные) ландшафты плоских водоразделов с глубоким залеганием водоносного горизонта, трансэлювиальные (элювио-делювиальные) ландшафты горных склонов и супераквальные (надводные) элементарные ландшафты, характеризующиеся близким к поверхности залеганием грунтовых вод. Парагенетическая ассоциация элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов, образуют местный геохимический ландшафт. Важнейшими геохимическими факторами гипергенной миграции химических элементов являются характер рельефа, абсолютный уровень и колебания температуры, испарение воды и выпадение атмосферных осадков, физическая дезинтеграция и денудация горных пород, процессы растворения и осаждения, гидролиз, реакции окисления и восстановления, процессы развития и отмирания растительных и животных организмов. Различные соотношения этих факторов находят наиболее полное отражение в существовании на поверхности земли климатических и растительных поясов, закономерно сменяющихся с широтой и абсолютной отметкой местности. Соответственно этому классификация геохимических ландшафтов построена на биоклиматической основе.

А. П. Перельман выделяет 4 группы геохимических ландшафтов, в соответствии с особенностями биологического круговорота воздушных мигрантов (С, О, Н, N): 1) лесные; 2) луговые и степные; 3) тундровые; 4) примитивно-пустынные. В каждой из этих групп, в зависимости от вида растительных сообществ, объема ежегодно продуцируемой массы, ее состава и скорости разложения растительного опада выделяются различные типы ландшафтов.

Деление геохимических ландшафтов на классы определяется составом типоморфных элементов и ионов водной миграции (Са, Mg, Na, Cl, S,  $\text{HCO}_3$  и т. д.). Ландшафтно-геохимическое районирование территории по характеру растительного покрова (группы, типы и семейства) с позиции методики геохимических поисков достаточно удобно. Этот признак отчетливо фиксирует условия проведения поисков, которые различны в залесенных или степных районах, в тундре или пустыне. Одновременно биоклиматическая характеристика предопределяет строение ландшафта, под которым понимается роль и мощность слагающих его ярусов — горизонтов, наземной растительности, современной коры выветривания, развитой по ней почвы и грунтовых вод. Наглядные примеры различного строения ландшафтов приводятся А. П. Соловьевым (рис. 9). Важное значение для методики геохимических поисков имеет классификация ландшафтов по составу компонентов минерализации природных вод. В табл. 9 приведена одна из последних обобщающих схем классификации геохимических ландшафтов А. И. Перельмана.

По величине рН природные воды ландшафта разделяются на 4 класса: 1) сильнокислые с рН < 3; 2) кислые и слабокислые с рН от 3,5 до 6,5; 3) нейтральные и слабощелочные с рН от 6,5 до 8,5; 4) сильнощелочные с рН > 8,5. В природных условиях зоны гипергенеза преобладающее значение имеют слабые кислоты (СО<sub>2</sub>, органические кислоты) и сильные основания (Na, K, Ca, Mg). Поэтому наибольшее распространение имеют ландшафты, характеризующиеся слабокислой реакцией (горно-лесные и горно-тундровые), нейтральной и щелочной реакцией (степные и пустынные).

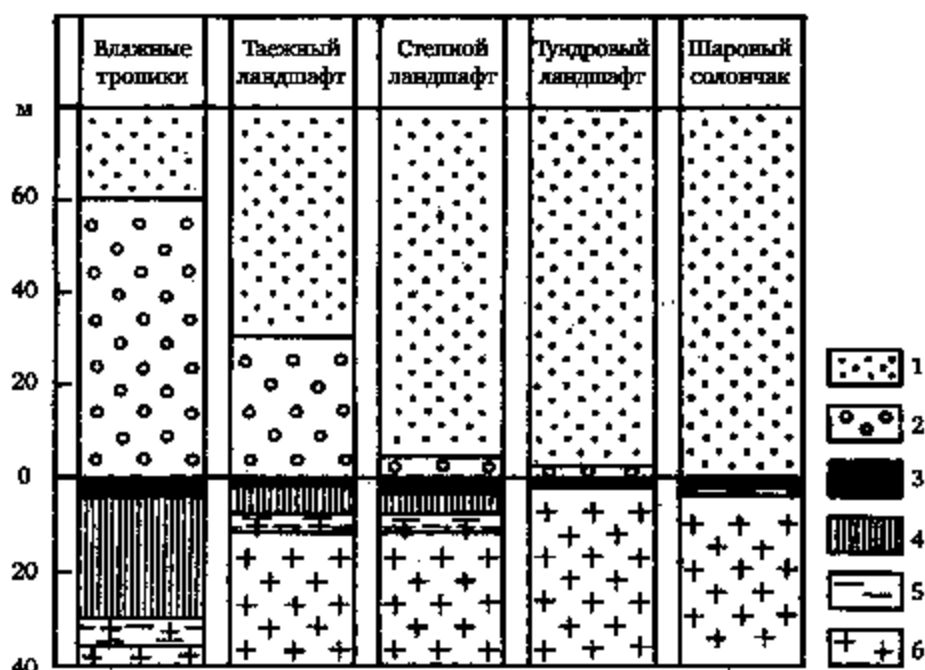


Рис. 9. Строение элементарных ландшафтов (по А. П. Соловьеву):

1 — надземная атмосфера; 2 — растительный покров и животный мир;

3 — почва; 4 — кора выветривания; 5 — горизонт грунтовых вод;

6 — коренные породы

Окислительно-восстановительные условия на поверхности Земли определяются господством окислительной обстановки, обязанной свободному кислороду атмосферы, его растворению в водах ландшафта и фотосинтезу растений. Чаще всего граница «кислородной поверхности», ниже которой среда уже не содержит свободного кислорода, совпадает с зеркалом грунтовых вод. Восстановительная обстановка возникает в условиях обилия разлагающихся органических остатков, главным образом растительного опада и под действием микроорганизмов.

Различают восстановительную обстановку без сероводорода (глеевую), характерную для болот и восстановительную обстановку с Н<sub>2</sub>S, имеющую локальное распространение.

Смена классов и классов ландшафтов суши (по А. И. Перельману)

		Ландшафты на каждом уровне					
Уров- ни	Ведущий признак	Биогенные		Техногенные			
I	Вид миграции						
II	Особенности миграции	<p>Ландшафты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Леса.</li> <li>2. Степи.</li> <li>3. Пустыни.</li> <li>4. Тундры и верховые болота.</li> <li>5. Промышлен- ные пустыни.</li> </ol>	<p>Тип каж- дого ланд- шафта (в при- меру, лег- койные, лиственные, ельные, сме- шанные)</p>	<p>Раститель- ные ассо- циации — широколи- ственные, кедровые, сосновые и так далее для каждого ландшафта</p>	<p>Ландшафты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сельскохозяйствен- ные.</li> <li>2. Промышленные.</li> <li>3. Лесотехнические.</li> <li>4. Населенных пун- ктов (селитебные).</li> <li>5. Дорожные.</li> <li>6. Военные ведомств.</li> </ol>	<p>Тип каждого ланд- шафта (в при- меру, сельскохозяйствен- ные):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Животноводство.</li> <li>2. Однолетние куль- туры.</li> <li>3. Многолетние куль- туры.</li> <li>4. Птицеводство.</li> </ol>	<p>Вид загрязне- ния (в при- меру — живот- новодство); свиноводство, овцеводство, и т. д.</p>
III	Характе- ристика почв (части ландшафтов с наибольшим напряжением геохимических процессов)	<p>По окислительно-восстановительному потенциалу</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. С окислительной обстановкой (сво- бодным <math>O_2</math>).</li> <li>2. С восстановительной глеевой обста- новкой (без свободного <math>O_2</math> и <math>H_2S</math>)</li> <li>3. С сероводородной обстановкой.</li> </ol>				<p>По рН почвенной:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сильнокислые (рН &lt; 3).</li> <li>2. Кислые (рН 3—6,5).</li> <li>3. Нейтральные и слабощелочные (рН 6,5—8,5).</li> <li>4. Сильнощелочные (рН &gt; 8,5).</li> </ol>	
		Всего 21 класс водной миграции по А. И. Перельману					



		Ландшафты на каждом уроне	
Уровни	Ведущий признак	По описательно-восстановительному потенциалу: 1. С окислительной обстановкой (свободным O <sub>2</sub> ). 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> S). 3. С сероводородной обстановкой.	По редокс потенциалу: 1. Сильнокислые (pH < 3). 2. Кислые (pH 3—6,5). 3. Нейтральные и слабощелочные (pH 6,5—8,5). 4. Сильнощелочные (pH > 8,5).
IV	Характеристика грунтовок и ледниковый вод	1. Подержанные воздушной миграции. 2. Не подверженные воздушной миграции. 3. С современным отложением золотого материала.	
V	Особенности воздушной миграции	1. С отсутствием многолетней мерзлоты. 2. С островным разангтем многолетней мерзлоты. 3. С разангтем прерывистой многолетней мерзлоты. 4. Со сплошным разангтем многолетней мерзлоты.	
VI	Наличие многолетней мерзлоты	1. Равнинные области. 2. Низкогорные и среднегорные. 3. Высокогорные.	
VII	Геоморфологические особенности	1. Матматические — ультраосновные (дулты, перидолты, пироксениты); основные (габбро, нориты, анортозиты, базальты) и другие группы пород. 2. Метаморфические — гнейсы (гранито-гнейсы, оловяные гнейсы, парагнейсы); сланцы (углисто-глинистые, серпентиновые, филлитовые) и другие группы пород. 3. Осадочные — терригенные (когломераты, брекчии, песчанки, глин); карбонатные (известняки, доломиты, мергели) и другие группы пород. Во всех случаях учитывается возраст почвоподстилатных пород.	
VIII	Почвоподстилающие породы		

## 1.7. Геохимические барьеры

Участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и как следствие, их концентрация, по предложению А. И. Перельмана, называются геохимическими барьерами. На этих барьерах образуются рудные и безрудные геохимические аномалии, в связи с чем теория геохимических барьеров является одной из методологических основ геохимических поисков месторождений. В почвах, илах озер, морей и океанов, коралл выветривания, водоносных горизонтах артезианских бассейнов и гидрологических массивов, протекают геохимически однотипные механические, физико-химические и биогеохимические процессы концентрации элементов.

Механические барьеры — участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции, на которых формируются золотые, оловянные, платиновые, монацитовые ильменитовые, алмазные и прочие россыпи. Физико-химические барьеры — участки резкого уменьшения интенсивности миграции элементов в результате изменения температуры, давления, Eh, pH и других характеристик. На биогеохимических барьерах образуются угольные залежи, торф, концентрации металлов в гумусовых горизонтах и т. д.

Физико-химические барьеры классифицируются по фактору, приводящего к концентрации элементов. Выделяется 7 основных типов барьеров, обозначаемых буквами латинского алфавита от А до G. В результате резкой смены восстановительных условий на окислительные, возникает кислородный барьер А. Если кислородные воды встречают восстановительную среду, то формируются сероводородный В или глеевый С барьеры. В местах резкого повышения pH образуется щелочной барьер D, при резком уменьшении pH кислый барьер Е. С аналогичных позиций выделяются испарительные F и сорбционные G барьеры.

При выделении типов барьеров имеет значение не только характер изменения условий (кислые — щелочные, окислительные — восстановительные и т. д.), но и количественные пределы этого изменения. Так, на менее восстановительном барьере осаждаются уран и селен, а при более низком Eh и молибден. На слабоокислительном барьере осаждаются железо, на резкоокислительном (в условиях более высокого Eh) — железо и марганец или только марганец.

В земной коре в одном и том же месте нередко совмещаются различные геологические процессы, в связи с чем выделяются комплексные барьеры, когда концентрации химических элементов связаны с одновременной реализацией нескольких процессов. Например, резкое понижение pH часто приводит к осаждению химических элементов образующих труднорастворимые соединения в более кислой среде (например, Mo, Sn). Однако при подкислении раствора может происходить и восстановление U, Se, Mo и других элементов. Так, в одном и том же месте образуется комплексный барьер — и кислый, и вос-

становительный (*E—B*). Детально изучен комплексный кислородно-сорбционный (*A—G*) барьер. От комплексных следует отличать совмещенные барьеры, когда на одном и том же участке сначала на барьере одного типа концентрируется одна парагенная ассоциация элементов, а через некоторое время в связи с изменившимися условиями и типом барьера — другая. Совмещенные барьеры могут формироваться как в пределах одного геологического этапа, так и со значительным разрывом в геологическом времени (иногда в десятки миллионов лет).

Для двухсторонних геохимических барьеров характерна миграция химических элементов с противоположных сторон. В результате на барьере концентрируются элементы, обладающие противоположными свойствами. Например, в зонах окисления сульфидных руд в известняках формируются двухсторонние кислотнощелочные барьеры *E-D*. Слабообогатенные  $\text{SiO}_2$  воды, заключенные в известняках, контактируют здесь с кислой средой, обязанной окислению сульфидов. В результате на кислом барьере *E* происходит осаждение  $\text{SiO}_2$ , разливается окремление известняков. С другой стороны, в результате в сернокислых растворах окисляющихся сульфидных руд легко мигрируют  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$  и другие металлы. При встрече таких вод с известняками возникает щелочной барьер *D*, на котором металлы осаждаются в виде малахита, азурита, смитсонита, гидрогетита и других минералов. В этом случае геохимический барьер работает на два фронта: в сторону от руд — щелочной барьер *D*, по направлению к рудам — кислый барьер *E*. Выделяются макро-, мезо- и микробарьеры. В зависимости от способа массопереноса различаются диффузионные и инфильтрационные барьеры. Первые характерны для застойных условий, для эпох прогибания и вообще для нисходящих тектонических движений. Инфильтрационные барьеры более связаны с восходящими тектоническими движениями, орогенными этапами развития складчатых поясов, инфильтрационными этапами развития артезианских бассейнов.

Концентрация рудных элементов на физико-химических барьерах зависит, с одной стороны, от типа барьера (*A*, *B*, *C* и т. д.), а с другой — от состава вод, поступающих к барьеру. На сочетании этих двух факторов А. И. Перельманом построена систематика геохимических барьеров (табл. 10).

Главные типы физико-химических барьеров (по А. М. Перельману)

Окислительно-восстановительные условия	Кислородные воды						Глеевые воды			
	1. Сильноокислительные	2. Кислые и слабокислые	3. Нейтральные и слабощелочные	4. Сильнощелочные (содовые)	5. Сильновоскислительные	6. Кислые и слабокислые	7. Нейтральные и слабощелочные	8. Сильнощелочные (содовые)		
Щелочно-кислотные условия	< 3	3—6,5	6,5—8,5	> 8,5	< 3	3—6,5	6,5—8,5	> 8,5		
Границы pH в зоне гипергипеза										
Кислородный А1	A1 Fe	A2 Fe, Mn, Co	A3 Mn	A4	A5 Fe	A6 Fe, Mn, Co	A7 Mn, Co	A8		
Сульфидный (сероокислительный и др.) В	B1 Cu, Pb	B2 Ag, Cu, Zn, Pb	B3	B4 Cu, Ag, Zn, Mo	B5	B6	B7 Fe, Co, Ni, Cu, Zn	B8 Cu, Zn		
Глеевый С	C1 Cu, U, Mo	C2 Cu, U, Mo	C3 Cu, U, Mo	C4 Cu, Ag, U, Mo	C3	C6	C7	C8		
Щелочной D	D1 Ba, Fe, Co, Ni, Cu, Zn	D2 Ba, Co, Ni, Cu, Zn, Be	D3	D4	D5	D6 Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Cu, Zn	D7	D8		
Кислый E	E1	E3	E3 Mo	E4 Ag, Be, Mo	E3	E6	E7 Mo	E8 Be, Mo		
Испарительный F	F1 Sr, Cu, Mo	F2	F3 B, F, Sr, Mo	F4	F5	F6	F7	F8		
Сорбционный G	G1	G2 Ba, Sr, Ni, Co, Pb, Cu	G3	G4	G5	G6 Ba, Zn, Ni, Co, Pb, Cu	G7	G8		

Тип геохимического барьера

Эффективная методика геохимических поисков по вторичным ореолам должна быть основана на знании законов перемещения элементов в ландшафтах и более глубоких горизонтах литосферы. То есть она базируется на изучении путей миграции рудных элементов в процессе превращения горных пород и руд в кору выветривания, континентальные отложения, почву, воду, растения и т. д. Поэтому одной из теоретических основ геохимических методов поисков является геохимия ландшафта и геохимия эпигенетических процессов зоны гипергенеза.

Принцип дифференциации геохимических ландшафтов имеет первостепенное практическое значение для районирования площадей по условиям ведения геохимических поисков. Это в первую очередь обусловлено разным рельефом местности, климатической неоднородностью и связанной с ними зональностью ландшафтов. В пределах одной ландшафтной зоны и подзоны условия образования ореолов неодинаковы вследствие особенностей геологического строения и рельефа. Например, в районах развития карбонатных или силикатных пород, гранитов или базальтов ландшафтные условия поисков неодинаковы. В связи с этим методика геохимических поисков должна быть дифференцирована применительно к отдельным типам, классам, родам и видам ландшафтов.

Важнейшее значение для геохимических поисков имеют степень и характер закрытости территории пострудными отложениями, а также их мощность и генезис. Особенности поисков в значительной степени зависят также от характера склоновых отложений. Все эти факторы учитываются при районировании территории по условиям геохимических поисков с составлением карт различных масштабов, отражающих геолого-геоморфологические и ландшафтно-геохимические особенности района.

### **1.8. Оценка геохимических аномалий**

Геохимические аномалии разделяются на рудные и безрудные. К рудным относятся сами месторождения, их первичные ореолы, а также связанные с ними вторичные ореолы и потоки рассеяния химических элементов. К безрудным относятся аномалии, заведомо не имеющие отношения к промышленной минерализации, образование которых может быть вызвано, например, искусственным заражением, испарительной, сорбционной, биохимической аккумуляцией химических элементов в масштабах, не достигающих промышленного значения.

Условием успешного проведения геохимических поисков является своевременная и правильная оценка выявляемых аномалий, число которых заведомо и многократно превышает возможное число промышленных месторождений. При благоприятной геолого-геохимической оценке в зоне геохимической аномалии закладывают горные

выработки и буровые скважины с целью вскрытия оруденения в коренном залегании и оценки его масштаба.

Статистические характеристики моноэлементных геохимических карт, используемые для определения представительности геохимической выборки.

*Медиана* — это значение случайной величины, для которой с одинаковой вероятностью в данной выборке существуют значения больше и меньше ее. В случае нормального распределения значений в выборке медиана приближается к среднему значению элемента.

*Мода* — наиболее вероятное (часто встречаемое) значение случайной величины (в дискретных распределениях). Распределения, обладающие одним максимумом, называются *одномодальными*, если максимумов несколько — *полимодальными*.

*Модальная частота* — это количество наблюденных значений моды.

Для симметричных одномодальных распределений среднее содержание, медиана и мода совпадают или очень близки.

*Дисперсия* — это мера «разброса» или рассеивания значений. Она служит показателем, характеризующим изменчивость измеряемых данных (пределов колебаний содержаний элемента).

*Асимметрия* — это числовая характеристика степени асимметричности («скошенности») кривой плотности распределения вероятностей случайной величины. Асимметрия может быть положительная (правая — кривая плотности расположена справа от моды) и отрицательная (левая) величина.

*Экссесс* — это числовая характеристика кривой плотности вероятностей, отражающая степень ее «крутости», т. е., островершинности или плосковершинности.

*Перцентиль* — это такое значение ряда эмпирических данных, меньше которого находится *k*-перцентиль. Например, медиана — это 50 %-ный перцентиль, максимальное значение — это 100 %-ный перцентиль.

*Размах* — это разница между максимальным и минимальным значениями.

*Геохимический фон элемента* — это значение медианы.

*Геохимическое поле* — это область пространства, охарактеризованная содержаниями элементов ( $C_x$ ) как функцией координат пространства и времени:

$$C_x = f(x, y, z, t).$$

Согласно закону В. И. Вернадского, в любой точке пространства в том или ином количестве содержатся все химические элементы, поэтому для любого элемента в этой точке справедливо выражение:

$$0\% > C_x < 100\%.$$

В соответствии с законами термодинамики, любой элемент стремится к состоянию равновесия, поэтому в большей своей части гео-

химическое поле характеризуется содержаниями элементов, близкими к усредненному значению, которое называется *кларк* (для Земли в целом, или отдельных гидросфер) или *фон* (для различных геологических структур). Процессы перераспределения и концентрирования элементов, в том числе и рудообразования, приводят к локальным отклонениям концентраций элементов от фона, называемым *аномалией*.

Если значимость этих отклонений очевидна, аномалии называются *явными*. Единственным критерием для выделения явных аномалий является коллективный геологический опыт. Если аномалию нельзя признать явной, формальная граница между фоновыми и аномальными значениями определяется обычно по правилам «трех сигм» — аномальными считаются значения, которые отличаются от среднефоновых более чем на три стандартных отклонения.

Для нормального закона распределения:

$$(X_{\text{фон}} - 3S) > X_{\text{ан}} > (X_{\text{сред}} + 3S),$$

где  $X_{\text{сред}}$  — среднее арифметическое значение фона;  $X_{\text{ан}}$  — минимально аномальное значение;  $S$  — стандартное отклонение фона.

Для логнормального закона распределения:

$$X_{\text{сред}} / \varepsilon^3 > X_{\text{ан}} > X_{\text{сред}} \cdot \varepsilon^3,$$

где  $X_{\text{сред}}$  — среднее геометрическое значение фона;  $X_{\text{ан}}$  — минимально аномальное значение;  $S$  — стандартный множитель.

Правая часть неравенства определяет уровень положительных аномалий, левая — отрицательных (зона выноса).

Для слабых аномалий, которые не превышают уровня «трех сигм», но могут иметь важное поисковое значение принимаются различные методы их усиления, которые будут рассмотрены ниже.

Аномалии характеризуются эффективной шириной, контрастностью и продуктивностью.

*Эффективная ширина аномалии* — это длина отрезка профиля опробования, в пределах которого  $C_x > C_{\text{ан}}$ .

*Контрастность аномалии* —  $Y = (C_{\text{max}} - C_{\text{фон}}) / S$ .

*Линейная продуктивность* —  $M = \Delta x \left( \sum_{i=1}^n C_i - n \cdot C_{\text{фон}} \right)$ .

*Площадная продуктивность* —  $P = 2L \Delta x \left( \sum_{x=1}^N C_x - n \cdot C_{\text{фон}} \right)$ ,

где  $\Delta x$  — шаг пробоботбора по профилю;  $2L$  — расстояние между профилями;  $n$  и  $N$  — число аномальных точек на профиле и в пределах всей аномалии.

В процессе разрушения месторождений и их первичных ореолов происходит перемещение (миграция химических элементов) и возникают вторичные аккумуляции, которые называют ореолами рассеяния. В зависимости от характера процесса (механическое разрушение, растворение, дегазация) и среды формирования, ореолы делятся

на литохимические, гидрохимические и атмосферические. Растворенные компоненты, кроме того, усваиваются организмами и растениями и формируют биогеохимические ореолы.

Между всеми типами вторичных ореолов происходит интенсивный обмен химическими компонентами, поэтому аномальные содержания каких-либо элементов в рудах и их первичных ореолов находят адекватное отражение во всех типах ореолов. На этом основано применение различных модификаций геохимических методов поисков, различающихся характером опробуемых сред. При этом надо иметь в виду, что поисковая достоверность информации, получаемой различными методами, неравноценна. Наиболее эффективная информация о первичном оруденении содержится во вторичных литогеохимических ореолах (1-я степень приближения) и потоках (2-я степень приближения) рассеяния. Более опосредована связь с рудами гидрогеохимических и атмогеохимических ореолов (2-я степень приближения) и потоков (3-я степень приближения) рассеяния. Еще менее определено соотношение с оруденением биохимических ореолов в растениях (4-я степень приближения) и организмах (5-я степень приближения).



## **Глава 2. Характеристика геохимических методов поисков**

В зависимости от характера опробуемого материала и конкретных задач поисковых и разведочных работ геохимические методы поисков разделяются на четыре группы:

1) литогеохимические методы, основанные на выявлении первичных (ПОР) и вторичных (механических и солевых) ореолов рассеяния (ВОР) рудообразующих элементов и косвенных элементов-индикаторов оруденения, а также прямых и косвенных признаков газонефтеносности в литосфере (в коренных породах и рыхлых образованиях);

2) гидрогеохимические, базирующиеся на выявлении ореолов оруденения и признаков газонефтеносности в гидросфере (в подземных водах и открытых водотоках);

3) биогеохимические, основанные на выявлении ореолов оруденения и признаков газонефтеносности в биосфере (в растительных и животных организмах);

4) атмогеохимические (газовые), базирующиеся на выявлении ореолов оруденения и признаков газонефтеносности в почвенном воздухе и приземном слое атмосферы.

### **2.1. Литогеохимические методы поисков**

Литогеохимические методы поисков основаны на изучении закономерностей распределения химических элементов в литосфере и проводятся с целью выявления месторождений по их первичным ореолам в рудовмещающих породах или по вторичным (гипергенным) ореолам и потокам рассеяния в рыхлых продуктах выветривания и перекрывающих отложениях.

Объемы выполняемых литохимических поисков, существенно превышают все другие виды геохимических работ. Это обусловлено наиболее тесными пространственными и генетическими связями литохимических ореолов и потоков рассеяния с рудными телами, за счет которых они формируются.

#### **2.1.1. Литогеохимические методы поисков по первичным ореолам**

Первичный геохимический ореол рудного тела представляет собой окаймляющую рудное тело зону рудовмещающих пород, обогащенную

или обедненную теми или иными элементами в результате их привноса, выноса или перераспределения в процессе рудообразования.

В учебном пособии рассматриваются только ореолы привноса, поскольку они в настоящее время изучены лучше. Это не означает, что следует отказаться от изучения и практического применения ореолов выноса. Исследования в этом направлении продолжаются и для некоторых типов месторождений полезных ископаемых уже получены результаты, имеющие практическое значение.

Первичные ореолы характеризуются.

- составом элементов и минералов-индикаторов;
- уровнем концентрации элементов;
- формой и размерами;
- формой нахождения элементов в ореоле;
- зональностью (закономерностью распределения);
- этапностью образования.

Критерии и методика интерпретации геохимических аномалий вытекают из особенностей распределения химических элементов в околорудном пространстве, и, следовательно, для практического использования первичных ореолов необходимо знать основные закономерности их состава и строения.

Набор элементов, образующих первичные ореолы вокруг рудных тел месторождения того или иного типа, называется элементным составом ореолов. Все подобные ореолы являются многокомпонентными. Многие из ореолов образующих элементов являются «сквозными», т. е. служат индикаторами различных по составу рудных месторождений. Из 30 элементов-индикаторов, приведенных в табл. 11, только 10 требуют специальных методов анализа, их число сократится до 5 — уран, золото, ртуть, йод и бром, если не считать элементов-индикаторов (редкометалльных пегматитов). Это обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку позволяет при комплексных геохимических поисках использовать экспрессный спектральный анализ. Минеральные формы нахождения элементов-индикаторов в ореольном пространстве и в руде, как правило, идентичны. Элементный состав ореола в целом отражает состав рудного тела и характеризуется геохимическим спектром, который отражает элементный состав ореола, выраженный в коэффициентах концентрации. При записи геохимического спектра элементы ранжируются по убыванию их коэффициентов концентрации, например:



Первичные ореолы и зоны околорудного изменения пород являются генетически близкими образованиями и их не всегда удается разграничить. Так, зоны серицитизации рудовмещающих пород могут быть рассмотрены как первичный ореол калия, зоны альбитизации — как ореол натрия и т. д.

Элементный состав первичных ореолов различных месторождений

Тип месторождений	Элементный состав
Редкометалльные пегматиты	<b>Li, Rb, Cs, Nb, Sn, Ta, W, Be, As, F, B</b>
Медно-никелевые	<b>Cu, Ni, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Be, W, I, Br</b>
Медно-колчеданные	<b>Ba, Ag, Pb, Cd, Zn, Bi, Cu, Co, Mo, As, Hg, I, Br</b>
Вольфрамы олобденные в скарнах	<b>Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, W, Mo, Co, Ni, Be, B</b>
Висмутовые в скарнах	<b>As, Pb, Ag, Zn, Co, Cu, Bi, Ni, B</b>
Оловорудные	<b>Sn, Pb, As, Cu, Bi, Zn, Ag, Mo, Co, Ni, W, B, F, I</b>
Полиметаллические в скарнах	<b>Ba, As, Sb, Cd, Ag, Pb, Zn, Bi, Ni, Co, Mo, Sn, W, Be, B, I</b>
Золоторудные	<b>Ba, Au, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Mo, Cu, Bi, Co, Ni, W, Be, I</b>
Медно-порфиновые	<b>Ba, As, Sb, Ag, Pb, Zn, Au, Bi, Cu, Mo, Sn, Co, W, Be, I</b>
Медные	<b>Sr, Ba, As, Pb, Zn, Ag, Sn, Cu, Bi, Co, Ni, Mo, Hg, I</b>
Медно-молибденные	<b>Cu, Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, Ni, Be, W</b>
Полиметаллические	<b>Cd, Ba, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Bi, Mo, Co, Sn, W, Sr, Hg, I</b>
Урановые	<b>U, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, V, As</b>
Стратиформные свинцово-цинковые	<b>Ba, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, Sn, Mo, W, As</b>
Сурьмяно-ртутные	<b>Ba, Sb, Hg, As, Cu, Ag, Zn, Be, Co, Ni, W, Sn</b>
Ртутные	<b>Sb, Hg, Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sn, Mo, W, As</b>
Общий перечень элементов-индикаторов	<b>Li, Rb, Cs, Hg, Au, U, Ta, Sn, W, Be, Ba, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, As, Sb, Sr, Nb, V, Mn, Zr, F, B, I, Br</b>

Примечания: 1. Жирным шрифтом выделены элементы, требующие специальных методов анализа. 2. В рядах элементы перечислены в порядке уменьшения контрастности ореолов.

Обычно размеры ореолов значительно превышают размеры рудных тел, которые они окружают: запасы металлов-индикаторов в ореолах значительны, нередко больше, чем в собственно рудных телах. Особенно велика протяженность надрудных ореолов по вертикали, что и определяет большое практическое значение первичных ореолов для поисков слепого оруденения. Вертикальная протяженность надрудных ореолов, определяющая глубинность геохимических поисков, обычно составляет сотни метров, а в отдельных случаях превышает 1 км. Размеры первичного ореола зависят от концентрации элемента, проницаемости пород, миграционной способности элемента, размеров рудного тела. Существует эмпирически установленная зависимость — чем круп-

нее и богаче рудное тело, тем меньше относительные размеры первичного ореола (по отношению к рудному телу).

На некоторых месторождениях (например, золоторудных) первичные ореолы часто незначительны как по размерам, так и особенно по интенсивности. В связи с этим приобретают особую актуальность специальные методы усиления слабых геохимических аномалий. Такие методы основаны на уменьшении мешающего влияния неоднородности фонового распределения элементов-индикаторов в рудовмещающих породах. Для решения этой задачи используют рациональный (фазовый или частично-фазовый) анализ и анализ тяжелых и других фракций геохимических проб (для выделения эпигенетических по отношению к вмещающей породе форм нахождения элементов-индикаторов).

Указанные методы из-за их дороговизны и низкой производительности нужно применять только в особых случаях, когда более простые методы не дают достаточно надежных результатов. Чаще всего необходимость применения этих методов возникает при детализационных работах на месторождениях особо ценных полезных ископаемых. В подавляющем же большинстве случаев для выявления слабых по интенсивности первичных ореолов достаточно эффективным оказывается способ перемножения содержаний элементов-индикаторов и выделения мультипликативных ореолов, которые по сравнению с моноэлементными являются более значительными по размерам и контрастности вследствие направленного усиления коррелирующихся полезных сигналов, а также поскольку влияние случайных ошибок при этом сводится к минимуму. Мультипликативные ореолы, как правило, обнаруживают более тесную связь с геолого-структурными особенностями месторождений полезных ископаемых, облегчая и повышая надежность интерпретации аномалий.

Форма первичных ореолов определяется геолого-структурными факторами. Для эндогенных месторождений это главным образом формы и направления зон трещиноватости и повышенной пористости пород. В большинстве случаев первичные ореолы развиваются согласно с рудными телами. Это положение справедливо для рудных тел как крутопадающих, так и пологозалегающих. Согласно развитию ореолов устанавливается и на месторождениях, где рудные тела представлены штокверками. Однако иногда вокруг рудных тел пологого залегания развиваются ореолы крутого падения, благодаря наличию дизъюнктивных нарушений крутого падения, служивших, вероятно, рудоподводящими каналами. Подобные случаи подчеркивают обязательность учета геолого-структурных условий локализации оруденения при интерпретации результатов геохимического опробования.

Важнейшей особенностью строения первичных ореолов является их зональность, которая выражается в закономерном изменении в пространстве различных их характеристик и параметров.

Зональность ореолов — понятие векторное и ее параметры по разным направлениям не совпадают. По отношению к рудному телу могут

быть выделены три основных типа зональности. Осевая зональность проявляется в направлении движения рудоносных растворов и в случае крутопадающих рудоносных зон совпадает с вертикальной, а для большинства субгоризонтальных — с горизонтальной. Продольная зональность отражает зональное строение ореолов по простиранию, а поперечная — вкrest простирания ореолов и согласных с ними рудных тел (рис. 10).

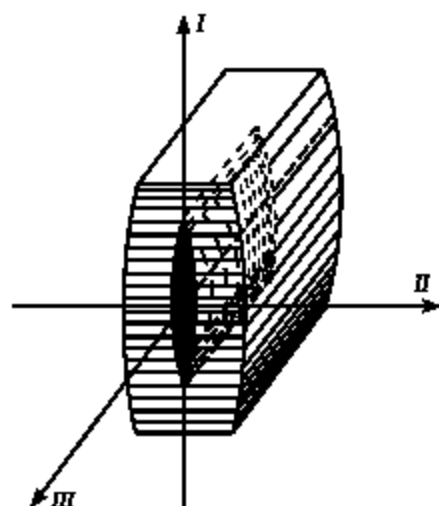


Рис. 10. Осевая (I), поперечная (II), и продольная (III) зональности первичных ореолов, развитых вокруг рудного тела крутого падения (III)

Для рудных тел субгоризонтального залегания в случае согласного развития ореолов продольная зональность обнаруживается как горизонтальная (перпендикулярно осевой, но в той же плоскости), а поперечная совпадает с вертикальной зональностью.

Для решения наиболее важной задачи геохимических поисков по первичным ореолам — обнаружения слепого оруденения и определения уровня эрозионного среза — главное значение имеет осевая зональность, поскольку для большинства рудных месторождений она совпадает или близка к вертикальной. Вертикальная зональность имеет решающее значение при оценке уровня эрозионного среза оруденения и перспективы дальнейших работ (рис. 11).

Во всех пяти случаях скважина пересекла геохимический ореол одной и той же мощности с близкими содержаниями основного рудного компонента. В то же время проведение дальнейших геологоразведочных работ целесообразно только в случаях 1 и 4.

Выявление зональности ореолов и выбор на этой основе наиболее эффективных элементов-индикаторов можно проводить, различными способами. По результатам расчета могут быть составлены ряды зональности с порядком расположения в них элементов от подрудных горизонтов месторождения к надрудным.

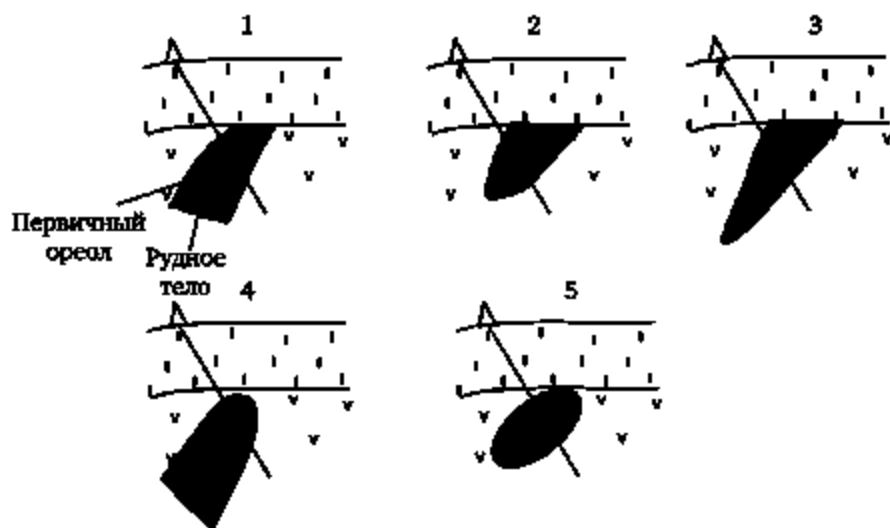


Рис. 11. Различные варианты вскрытия скважиной первичного геохимического ореола

А. П. Соловов предложил обобщенную модель первичных ореолов эндогенных месторождений (рис. 12). Вокруг рудных тел крутого падения основной промышленно ценный элемент, условно названный «свинец» образует оклорудный ореол. Надрудными являются ореолы «йода» и «ртути», подрудными «кобальта». В других случаях роль основного рудного элемента может принадлежать другим ценным металлам и соответственно другому перечню надрудных и подрудных элементов-спутников.

К настоящему времени изучены первичные ореолы нескольких сотен гидротермальных месторождений и все они характеризуются аналогичной зональностью их первичных ореолов.

Это позволило составить следующий обобщенный ряд зональности для сульфидсодержащих гидротермальных рудных месторождений (от подрудных элементов к надрудным): W — Be — Sn — U — Mo — Co — Ni — Bi — Cu — Au — Zn — Pb — Ag — Cd — Hg — As — Sb — Ba — I.

Несколько усложняет ряды зональности первичных ореолов существование в них разных минеральных форм одного и того же элемента в близких количествах. В этих случаях наблюдается двойственное положение такого элемента-индикатора в ряду зональности. Подобное явление отмечено на некоторых сульфидных месторождениях для меди и мышьяка, что, как правило, связано с появлением в надрудных частях ореола значительного количества блеклых руд (теннангита) наряду с накоплением арсенопирита и халькопирита на более глубоких горизонтах. Известны также оловянные месторождения, где наряду с касситеритом имеется значительное количество станнина, при этом

касситерит образует максимальные скопления в более глубоких горизонтах, а станий преимущественно в верхнерудных и надрудных частях месторождения и его первичных ореолов. С учетом минеральной зональности обобщенный ряд зональности примет в этом случае следующий вид: W — Be — As<sup>1</sup> — Sn<sup>1</sup> — U — Mo — Co — Ni — Bi — Cu<sup>1</sup> — Au<sup>1</sup> — Sn<sup>2</sup> — Zn — Pb — Ag<sup>1</sup> — Cd — Cu<sup>2</sup> — Hg — As<sup>2</sup> — Au<sup>2</sup> — Ag<sup>2</sup> — Sb — Ba — I.

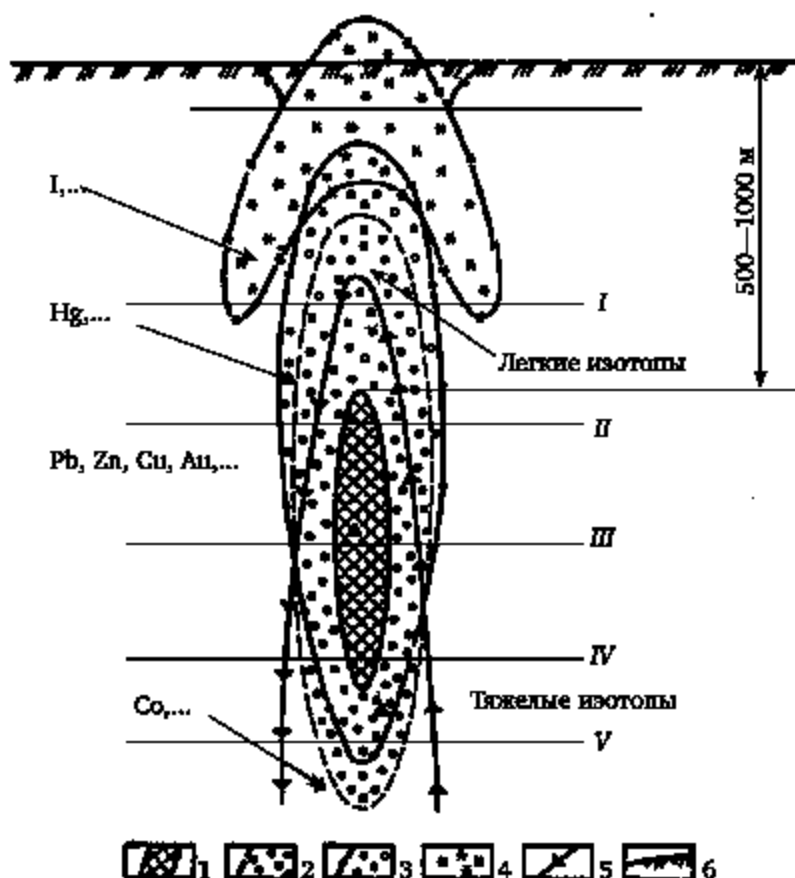


Рис. 12. Обобщающая схема первичного ореола гидротермального месторождения:

1 — рудное тело; 2 — ореол свинца; 3 — ореол ртути; 4 — ореол йода; 5 — ореол кобальта, 6 — современная денудационная поверхность.

Римскими цифрами обозначены номера горизонтов

Необходимо, однако, подчеркнуть, что наличие в ореолах различных минеральных форм того или иного элемента приводит к существенным перемещениям его в ряду зональности только при условии близких количества минеральных форм, распределение которых отличается резкой дифференциацией в пространстве. Например, на многих свинцовых месторождениях помимо галенита встречается и неболь-

пое количество сульфосолей свинца, что совершенно не сказывается на положении этого элемента в рядах зональности.

Ряд вертикальной зональности носит статистический характер, поэтому для конкретных типов оруденения следует опытным путем вычислять этот ряд на эталонных месторождениях и рассчитывать наиболее информативные коэффициенты зональности.

Последовательности работ по расчету вертикальной геохимической зональности (табл. 12):

1) на хорошо вскрытом месторождении для каждого горизонта рассчитывается абсолютная, а затем относительная продуктивность по каждому элементу; абсолютная продуктивность для линейного сечения соответствующего горизонта вычисляется как сумма произведений сверхфоновых концентраций элементов по каждой пробе на длину пробы;

2) элементы ранжируются в вертикальный ряд в соответствии с гипсометрическими уровнями их максимального накопления;

3) на основе выявленного ряда составляется 10—12 вариантов коэффициентов зональности, в числителе которых произведение (или сумма) содержаний надрудных, а в знаменателе подрудных, например  $(Ag \times Ba)/(Co \times Ni)$ ;

4) из полученных коэффициентов выбирают те, значения которых изменяются с глубиной закономерно и монотонно;

5) полученные значения коэффициентов зональности используются для оценки уровня эрозионного среза и размеров вновь выделяемых рудных тел.

Таблица 12

Пример расчета зональности

Вычисленная абсолютная продуктивность Pb, Zn и Cu				
Горизонт	Cu	Pb	Zn	$\Sigma$ , м %
+ 300	25	28	17	70
+ 200	18	10	11	39
+ 100	5	4	3	12
Относительная (приведенная к 100 %) продуктивность				
Горизонт				
+ 300	36	40	24	100
+ 200	46	36	28	100
+ 100	42	33	25	100

Из примера следует, что Pb имеет максимум на верхнем горизонте следовательно, является самым подвижным, Cu и Zn имеют максимумы на одном горизонте + 200. Для того чтобы выяснить, который из двух элементов более подвижный, оценим их градиенты изменения по падению и восстанию рудного тела:



Cu: по падению  $(46 - 42)/46 = 0,08$ ; по восстанию  $(46 - 36)/46 = 0,22$ .

Zn: по падению  $(28 - 25)/28 = 0,11$ ; по восстанию  $(28 - 24)/28 = 0,14$ .

Медь быстрее выклинивается по восстанию, а цинк по падению, следовательно, ряд зональности для этих элементов будет выглядеть как (снизу вверх) Cu — Zn — Pb.

Независимо от геологической обстановки зональность ореолов повторяет зональность самих рудных тел. Однако зональность первичных ореолов по сравнению с зональностью рудных тел универсальна и более контрастна. Это объясняется тем, что околорудное пространство более значительно по размерам. Оно характеризуется более однородным по сравнению с рудными телами строением и, соответственно, более стандартными условиями минералообразования. Тогда как рудные тела локализуются на участках резкой смены физико-химических условий рудоотложения и отличаются «аномальными», ураганно-высокими содержаниями рудных компонентов, что сопровождается значительной дисперсией концентраций рудных компонентов и других геохимических параметров. Все эти обстоятельства затрудняют выявление зональности рудных тел.

В первичных ореолах изучается распределение не только основных компонентов руд, но и многих других, образующих контрастную зональность, в то время как основные компоненты руд отличаются сходным распределением в пространстве.

В строении мультипликативных ореолов также может быть установлена отчетливая зональность, если построить их раздельно для групп надрудных и подрудных элементов, выбор которых производится на основе рядов зональности. Адекватные сечения ореолов различных месторождений одной рудной формации характеризуются близкими значениями коэффициента зональности, в качестве которого используются отношение произведения продуктивностей (средних содержаний) ореолов по надрудным элементам, к произведению продуктивностей для подрудных элементов. Среди многочисленных возможных коэффициентов зональности наиболее контрастными и стабильными являются, как правило, коэффициенты более высоких порядков.

Как уже отмечалось, поперечная зональность первичных ореолов отражает различия ореолов элементов вкrest простирания рудных тел. В отличие от вертикальной (осевой) зональности, единообразной для различных по составу месторождений, поперечная зональность находится в более тесной зависимости от состава руд и специфична для каждой рудной формации. Такая зависимость позволяет использовать поперечную зональность в качестве критерия определения вероятного состава слепого оруденения.

В зависимости от особенностей залегания рудных тел поперечная зональность их ореолов может быть симметричной и асимметричной. Симметричной поперечной зональностью характеризуются ореолы рудных тел вертикального падения. У наклонных рудных тел наблюдается более интенсивное развитие ореолов в висячем боку, что и обуслови-

вает асимметрию поперечной зональности (рис. 13). Избирательное накопление в висячем боку рудных тел особенно характерно для элементов-индикаторов надрудной группы, что позволяет с целью более отчетливого выявления асимметрии поперечной зональности использовать мультипликативный коэффициент геохимической зональности первичных ореолов. Таким образом, используя асимметрию поперечной зональности, можно определять направление падения рудных тел, что немаловажно при проведении поисково-оценочных и разведочных работ.



**Рис. 13. Особенности развития первичных ореолов различных элементов-индикаторов над слепым оруденением:**

1 — слепое рудное тело; 2 — графики содержания подрудных элементов-индикаторов; 3 — то же надрудных элементов-индикаторов; 4 — направления склонения рудной залежи

Продольная зональность первичных ореолов выражается в закономерном изменении параметров ореолов в направлении простирания рудоносных зон, отражая в их плоскости направление движения рудоносных растворов, и поэтому согласуется с осевой зональностью. Продольная зональность первичных ореолов также (аналогично поперечной) может быть симметричной и асимметричной, отражая склонение рудных скопления («столбов») в плоскости рудной зоны, что имеет большое значение при интерпретации геохимических аномалий. Иногда в результате совмещения в пространстве различных по составу и условиям локализации рудных месторождений формируются сложные по строению ореолы, которые принято называть полиформационными. Такие ореолы характеризуются специфическими корреляционными связями содержаний элементов-индикаторов; между содержаниями элементов, типоморфных для разных рудных формаций, как правило, устанавливается отрицательная корреляционная связь, что объясняется различными путями проникновения рудоносных растворов при формировании рудных тел разных формаций.

При интерпретации полиформационных первичных ореолов требуется особенно тщательное изучение геолого-структурного контроля оруденения в связи с парагенетическими ассоциациями рудных минералов. Известны, однако, случаи когда в результате детального изучения первичных ореолов удавалось установить полиформационный

характер оруденения и затем уже на этой основе определить рудоконтролирующие геологические структуры.

Практически в каждом рудном районе наряду с промышленными месторождениями встречаются и зоны рассеянной минерализации, не содержащие концентрированного оруденения.

Сравнительное изучение геохимических особенностей зоны рассеянной минерализации и первичных ореолов промышленного оруденения сульфидсодержащих гидротермальных рудных месторождений позволило установить некоторые их различия, которые могут быть использованы для их разграничения:

а) аномалии, связанные с рассеянной минерализацией, отличаются от надрудных первичных ореолов большим набором элементов-индикаторов;

б) в строении рассеянной минерализации отсутствует контрастная осевая зональность;

в) по величине мультипликативного коэффициента геохимической зональности любые срезы зоны рассеянной минерализации соответствуют ореолам, развитым на уровне нижних частей концентрированного оруденения;

г) от первичных ореолов, развитых на уровне концентрированного оруденения, зоны рассеянной минерализации отличаются существенно меньшими значениями среднеаномальных (суммарных) содержаний основных элементов-индикаторов данного типа оруденения;

д) в строении зоны рассеянной минерализации отсутствует контрастная поперечная зональность.

Приведенные признаки отличия зоны рассеянной минерализации от первичных ореолов промышленного оруденения выявлены в результате изучения ограниченного числа рудных формаций и поэтому еще требуют уточнения в процессе геологоразведочных работ в конкретных рудных районах.

### **2.1.2. Литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам**

Вторичным литогеохимическим ореолом рассеяния химических элементов называется локальная зона аномально повышенных содержаний, характерных для данного месторождения элементов в современных или древних рыхлых отложениях и почвах или в перекрывающих отложениях. Они образуются в результате гипергенного разрушения этого месторождения и (или) его первичных ореолов и последующей миграцией образовавшихся продуктов разрушения. В зависимости от формы миграции химических элементов выделяются механические, солевые и сложные ореолы рассеяния.

В механическом ореоле рассеяния минеральные компоненты присутствуют в форме твердого вещества — устойчивых в зоне гипергенеза первичных или вторичных минералов, а в солевом ореоле — в форме растворенных или связанных с вмещающими породами воднорастворимых соединений. В природе чаще всего встречаются сложные вто-

ричные ореолы рассеяния, сложенные продуктами механической и солевой миграции, находящимися в разных соотношениях. Подчиненное значение при формировании литохимических ореолов рассеяния имеет миграция рудных элементов в газообразном (парообразном) состоянии, сопровождаемая их сорбцией и окислительной.

Вторичные ореолы в современном элювии-делювии (или древней коре выветривания) образуются на месте ранее существовавших участков рудного тела и (или) его первичного ореола. Поэтому их именуют еще остаточными ореолами рассеяния. В отличие от этих ореолов выделяют наложенные ореолы, в контурах которых до развития вторичных процессов рассеяния первичная минерализация отсутствовала. Кроме того, различают открытые ореолы, т. е. выходящие на современную дневную поверхность, и закрытые, которые с применением существующих технических средств обнаруживаются только на некоторой глубине от поверхности.

Важнейшее значение для практики геохимических поисков и классификации вторичных ореолов рассеяния имеет их генезис. Следует различать остаточные ореолы, обязанные рассеянию в современных или более древних элювиальных продуктах выветривания коренного оруденения, существовавшего в контуре ореола до его образования гипергенными процессами. В отличие от остаточных ореолов, вторичные наложенные ореолы рассеяния формируются в профиле дальнепринесенных отложений, перекрывающих выход месторождения, в результате диффузии и эффузии компонентов оруденения в направлении к дневной поверхности. В профиле наложенного ореола рассеяния коренного оруденения не было. Вторичные наложенные ореолы рассеяния формируются преимущественно в газовой и солевой фазах и в большинстве случаев принадлежат к разряду слабых геохимических аномалий. Остаточные ореолы рассеяния, как правило, являются механическими и представлены в горных районах весьма яркими геохимическими аномалиями. По вторичным наложенным ореолам рассеяния ведутся поиски погребенных месторождений в закрытых рудных районах. По остаточным литохимическим ореолам рассеяния при геохимических поисках в горнорудных районах открыты многие промышленные месторождения.

По доступности для обнаружения различают открытые ореолы рассеяния, проявленные непосредственно на дневной поверхности и закрытые ореолы, обнаружение которых возможно только на некоторой глубине. Переход остаточных ореолов в закрытое состояние может объясняться выщелачиванием рудных элементов из верхних горизонтов элювия атмосферными осадками, высоким уровнем помех, наличием чехла дальнепринесенных отложений и другими причинами. Доступность ореола рассеяния для обнаружения является не генетическим, а чисто техническим признаком. Любой закрытый ореол рассеяния при условии более совершенной техники геохимических съемок может быть обнаружен на дневной поверхности и, следовательно, перейдет в раз-

ряд открытых ореолов. Поэтому понятие о закрытых ореолах рассеяния содержит оговорку: закрытые ореолы не обнаруживаются на дневной поверхности с применением существующих технических средств.

В принятой классификации, ореолы рассеяния разделяются следующим образом: по фазе (механические — солевые — газовые); по генезису (остаточные — наложенные); по доступности (открытые — закрытые).

По генетическим и морфологическим особенностям, взаимоотношениям с рельефом характеристики вторичных ореолов рассеяния могут быть бесконечно разнообразны, однако число главнейших типов вторичных литохимических ореолов рассеяния не столь велико. Принято выделять семь типов ореолов рассеяния (рис. 14) с которыми, в первую очередь, приходится иметь дело в теории и практике литохимических поисков (рис. 14). Ореолы I—IV принадлежат к открытому типу (ореолы II—IV — наложенные, III—IV — наложенные аккумулятивные). Ореолы V—VII являются закрытыми (V—VI — остаточные).



**Рис. 14. Основные типы вторичных литохимических ореолов рассеяния рудных месторождений:**

1 — элювио-делювий; 2 — перекрывающие отложения; 3 — рудовмещающие породы местные; 4 — рудные тела и их первичные ореолы; 5 — остаточные ореолы рассеяния; 6 — вторичные ореолы

Открытые остаточные (элювио-делювиальные) ореолы рассеяния (тип I) имеют наибольшее поисковое значение, и именно их наличие обеспечило широкое и эффективное проведение наземных литохимических (металлометрических) съемок в рудных районах. Ореолы этого типа характерны для месторождений любых генетических типов,

залегающих в верхних структурных этажах. В условиях расчлененного рельефа открытые остаточные ореолы могут образовать горизонтально залегающие месторождения осадочного генезиса, а в ряде случаев ореолы этого типа формируются за счет выветривания и денудации только первичных ореолов рудных тел (см. рис. 14, тип I).

Открытые наложенные диффузионные ореолы рассеяния (тип II) характерны для равнинных районов с покровом дальнепринесенных (аллохтонных) отложений ограниченной мощности, главным образом, в аридном и умеренно влажном климате. В ореолах этого типа солевое рассеяние существенно преобладает над механическим, хотя в отдельных случаях возможны наложенные механические ореолы рассеяния устойчивых рудных минералов. За счет переменной мощности аллохтонного чехла ореолы типа II даже в пределах одной рудной зоны могут по простиранию переходить в погребенное состояние (типы VI, VII), сочетаться с интервалами открытого остаточного ореола (тип I) или сменяться наложенными надрудными ореолами рассеяния (тип III).

Надрудные (тип III) и оторванные (тип IV) наложенные ореолы рассеяния образуются при сочетании солевого рассеяния рудных элементов с их гипергенной аккумуляцией. Надрудные ореолы рассеяния в ряде случаев трудноотличимы от ландшафтных геохимических аномалий, возникающих на различных геохимических барьерах и не связанных с наличием коренного оруденения на глубине. К рудным ореолам (тип III) близки оторванные аккумулятивные ореолы рассеяния (тип IV), отличаюсь от них образованием при отсутствии аллохтонного чехла и отчетливым смещением от рудного тела в сторону современного стока (см. рис. 14, тип IV). Надрудные ореолы III типа характерны для степных ландшафтов аридной зоны, оторванные ореолы IV типа образуются в горно-таежных районах гумидной зоны.

Выщелоченные и предельно разубоженные ореолы рассеяния (тип V) принадлежат к разряду «закрытых» остаточных. Выщелоченные ореолы рассеяния характерны для элементов активных водных мигрантов в районах гумидной зоны при замедленной денудации. Предельно разубоженные ореолы рассеяния образуются в результате закономерного протекания процесса рассеяния в сторону наиболее полного выравнивания концентраций элементов; они, как правило, характерны для рудопроявлений незначительного масштаба (в частности, для первичных ореолов рудных тел).

Погребенные остаточные ореолы рассеяния (тип VI) являются палеогеографическими аналогами современных элювиоделювиальных ореолов (тип I). Они характерны для рудных тел, претерпевших длительное континентальное развитие в период, предшествовавший накоплению молодых осадков, в основании которых сохранилась древняя кора выветривания. Максимальное площадное развитие погребенные ореолы рассеяния имеют на уровне пестроцветной коры выветривания, которая в данном случае является «представительным горизонтом для проведения литохимических поисков».

Погребенные наложенные ореолы рассеяния (тип VII) являются аналогами современных открытых наложенных ореолов рассеяния (тип II), отличаясь от них образованием в палеогеографических условиях с последующим перекрытием чехлом более молодых осадков.

Учитывая большую роль склоновых процессов в формировании литохимических ореолов рассеяния в условиях расчлененного рельефа, В. В. Поликарпочкин предложил следующую классификацию вторичных ореолов:

I. Диффузионные ореолы (несмещенные).

II. Гравитационные ореолы:

1) обвальные, осыпные и оползневые;

2) дефлюкционные и диффузно-дефлюкционные.

A. Неэродированные:

а) закрытые или ослабленные у поверхности (средних и нижних и частей склонов);

б) открытые (верхних частей склонов).

B. Эродированные (в различной степени смещенные).

III. Флювиальные ореолы:

1) делювиальные:

а) эрозионные (верхних и средних частей склонов);

б) аккумулятивные (нижних частей и подножий склонов). Образование диффузионных ореолов в чистом виде может осуществляться, когда отсутствуют другие виды перемещения твердого материала. Такие условия существуют на горизонтальных площадках. Схема образования диффузионных ореолов приведена на рис. 15.

При литогеохимических поисках, проводимых на склонах, ориентируются на площади развития дефлюкционных и диффузионно-дефлюкционных ореолов. Другие типы ореолов до настоящего времени в производственных работах не рассматриваются.

Дефлюкционные ореолы образуются при самопроизвольном, спонтанном движении рыхлых масс вниз по склону под действием сил гравитации, происходящих на склонах с небольшими (3—5°) уклонами. В них рудным телам соответствует аномальный слой рыхлых образований. Процессы диффузии и эрозия склоновых отложений могут привести к выходу ореолов на поверхность (открытые), но преобладают среди рассматриваемых ореолов закрытые и ослабленные (обедненные).

Глубина залегания ореола в рыхлых образованиях зависит от положения рудного тела на склоне (рис. 16). При нахождении рудного тела на водоразделе и приводораздельных участках склона ореол развивается в верхней части рыхлых образований и может распространяться до подножия, одевая склон в виде шалаша. Чем ниже по склону расположено рудное тело, тем глубже залегает его ореол. Таким образом, для дефлюкционных ореолов чрезвычайно характерно развитие закрытых, не выходящих на дневную поверхность ореолов. Ими могут оказаться ореолы рудных тел, находящихся в нижних и средних частях склона.

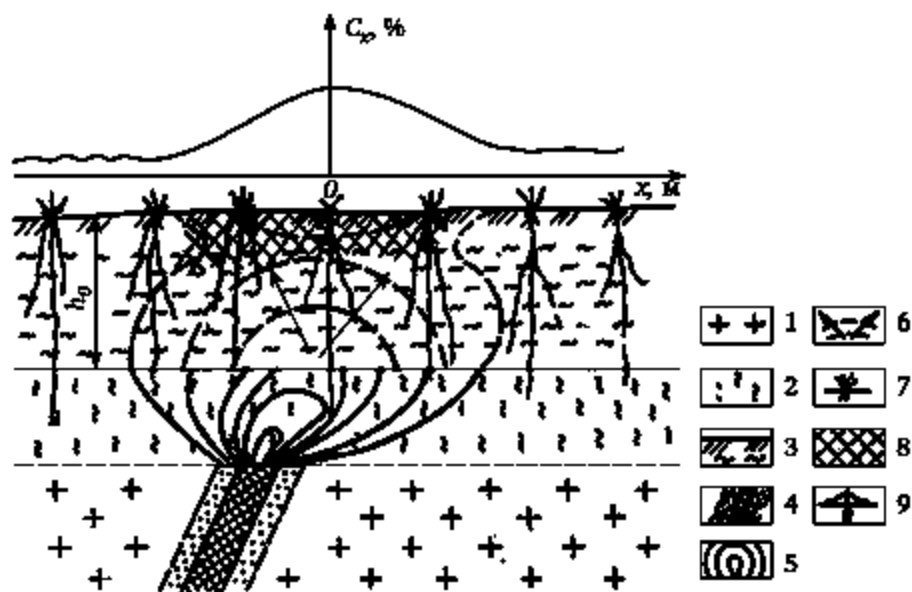


Рис. 15. Схема образования открытого наложенного литохимического ореола рассеяния (по А. П. Соловьеву):

- 1 — рудовмещающие породы; 2 — древняя кора выветривания;  
 3 — дальнеприносные отложения мощностью  $h_0$ ; 4 — рудное тело и его первичный ореол; 5 — погребенный остаточный ореол рассеяния; 6 — вторичный наложенный ореол рассеяния; 7 — растения, способные образовать биогенную составляющую наложенного ореола; 8 — горизонты возможной испарительной, сорбционной и биогенной аккумуляции рудных элементов; 9 — графики результатов наземной литохимической съемки

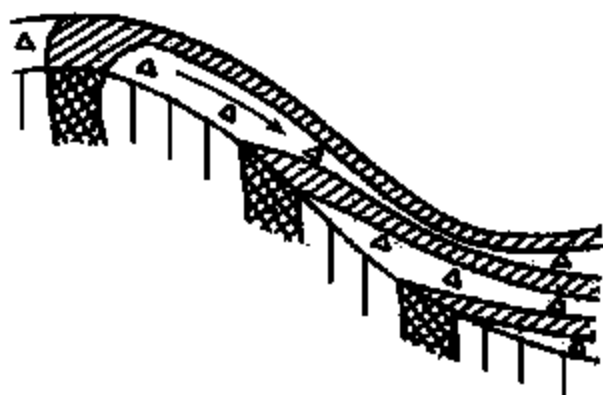


Рис. 16. Зависимость глубины залегания дефлюкционных ореолов от положения рудных тел на склоне

В некоторых случаях процессы образования диффузионно-дефлюкционных ореолов могут осложняться дополнительными факторами, что приводит к изменению характеристик ореолов, и в частности,



их закрытости. Прежде всего, это неодинаковая устойчивость горных пород и руд к выветриванию, приводящая иногда к выведению дефлюкционных ореолов на дневную поверхность. Хотя этот механизм не универсален, он проявляется часто (рис. 17).

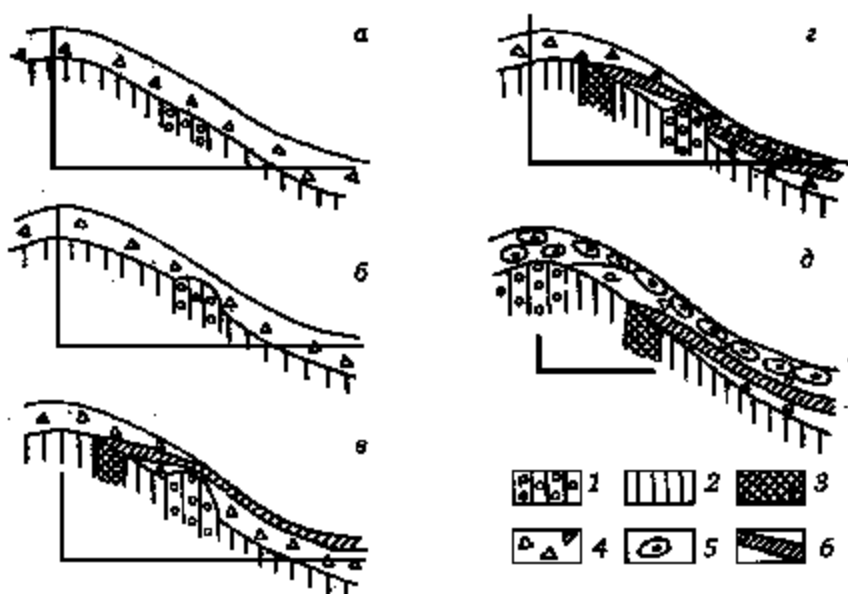


Рис. 17. Влияние устойчивости пород к выветриванию на залегания дефлюкционных ореолов

1 — крепкие породы; 2 — породы менее устойчивые к выветриванию; 3 — рудное тело; 4 — дефлюкционные рыхлые образования; 5 — крупнообломочный дефлюкций (курум); 6 — ореолы. Пояснения в тексте

На рис. 17, а представлен склон с породами различной крепости, покрытый монотонно изменяющейся вниз по склону мощностью. Крепкая порода выветривается с меньшей скоростью и с течением времени над ней в коренном рельефе образуется возвышение (рис. 17, б). В результате мощность рыхлых образований на склоне изменяется в зависимости от устойчивости пород к выветриванию: она больше над неустойчивыми и меньше над устойчивыми породами.

Пусть выше выхода крепкой породы на склоне залегает рудное тело (рис. 17, в, г). Если устойчивость рудного тела к выветриванию примерно такая же, как и непосредственно вмещающих его горных пород, то оно образует закрытый дефлюкционный ореол. Однако над телом крепкой породы, где продукты выветривания в своем движении вниз по склону должны проходить через узкий интервал мощности, ореол приближается к дневной поверхности и может выйти на нее. Закрытый дефлюкционный ореол в этом месте становится открытым.

Условия залегания ореола ниже по склону зависят от гранулометрического состава продуктов выветривания рудного тела и крепости

горной породы. Если гранулометрический состав их примерно одинаков, то ореол распространяется в поверхностном слое, смешиваясь на выходе крепкой породы с продуктами ее выветривания (рис. 17, в). Если же, как это обычно бывает, крепкая порода дает при выветривании крупные обломки, рудный материал просыпается через крупнообломочный слой и образует ореол в его подошве, вследствие чего он снова становится закрытым (рис. 17, г).

Курумы представляют собой крупнообломочные образования, дефлюкционного типа. Если порода, дающая курум, залегает на водоразделе, то он сплошным слоем одевает склоны, погребая все имеющиеся на склоне ореолы (рис. 17, д). Но он может развиваться и от породы, залегающей ниже по склону, оказывая в этом случае на ореолы ранее описанное действие (рис. 17, г). Если крупнообломочный материал дает рудное тело, то его ореол может развиваться в приповерхностном слое независимо от места залегания рудного тела на склоне.

Основные внешние факторы, определяющие образование вторичных ореолов, В. А. Алексеенко условно объединены в три группы.

К первой группе отнесены факторы, определяемые особенностями месторождений полезных ископаемых, важнейшими из которых можно считать структурные и минералого-геохимические.

Ко второй группе относятся факторы, обусловленные климатическими условиями. Из них наибольшее значение имеют водный режим и годовая температура. Формирование вторичных литохимических ореолов рассеяния во многом обусловлено физико-химическими особенностями природных вод, определяющими среду миграции рудных элементов в почвах, корках выветривания, водоносных горизонтах.

К третьей группе отнесены факторы, связанные с ландшафтно-геохимическими особенностями изучаемого района.

В последние годы для увеличения эффективности литохимических поисков по вторичным ореолам стали использовать данные о содержании металлов в металлоорганических соединениях.

Для выяснения слабых аномалий, связанных с оруденением используются специальные методы избирательного (фазового) анализа, которыми определяются не валовые содержания элемента, а только та его часть, которая связана в определенной форме нахождения.

Рисунок 18 иллюстрирует преимущество селективного метода анализа при выделении «слепого» оруденения, которое в данных валового анализа может никак не проявиться.

В производственных условиях используются следующие основные модификации геоэлектрохимических методов:

- метод поисков по металлоорганическим формам нахождения элементов в почвах (метод почвенных форм) — МЧИ;
- термомагнитный геохимический метод — ТМГМ;
- метод диффузионного извлечения металлов — МДИ;
- метод ионно-парообразных форм — КПФ;
- метод частичного извлечения металлов — ЧИМ;
- ионно-потенциометрический метод;

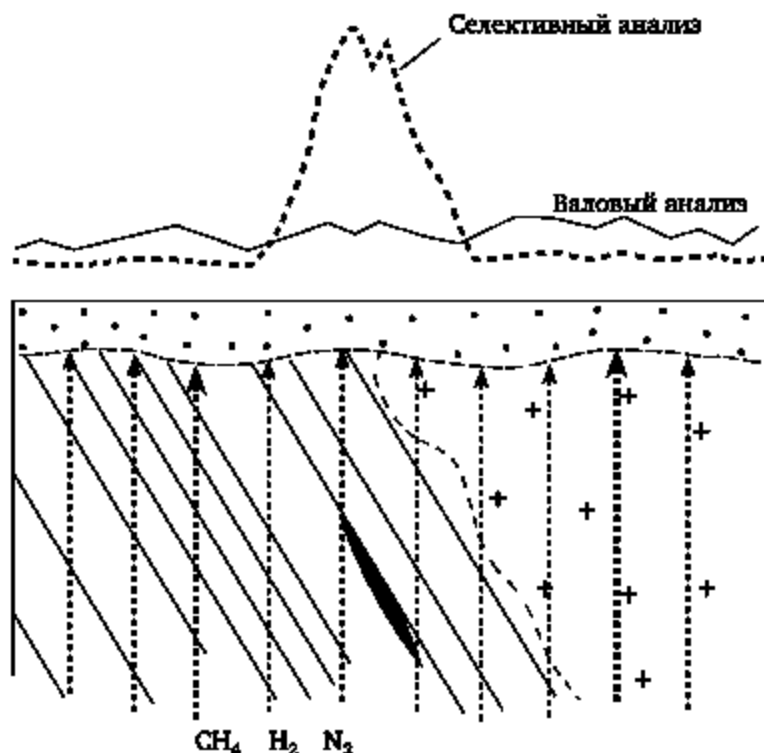


Рис. 18. Концентрация рудных элементов в почвах над глубокозалегавшими рудными телом по данным валового и селективного анализов (по данным И. В. Виноградова)

Метод почвенных форм (МПФ) основан на определении элементов, взаимодействующих с природными фульво- и гуминовыми кислотами почв. Опробуется гумусовый слой почвы. Проба отбирается «конвертом» из пяти рядом расположенных точек, высушивается и просеивается. Затем проба помещается в 0,06 М раствор пиросфата натрия и выдерживается при комнатной температуре 3—4 часа. Полученную выдержку, которая содержит фульво- и гуминовые кислоты, анализируют на комплекс элементов-индикаторов методами атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) или масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS).

Термомангнитный метод (ТМГМ) основан на том, что содержащиеся в глинистом горизонте почв гидроокислы железа и марганца адсорбируют на себя рудные элементы из водных и газовых потоков, проходящих через месторождение. Для того чтобы получить концентрат, отобранную из глинистого горизонта пробу обжигают при температуре 800 °С в муфельной печи без доступа кислорода. Гидроокислы железа переходят в магнетит и легко извлекаются магнитом. Полученный концентрат анализируется количественным или рентгеноспектральными методами.

Метод ионно-парообразных форм (ИПФ) отличается от предыдущего тем, что проницаемая оболочка сосуда интенсивно охлаждается и на ней происходит компенсация парообразных соединений из почвенного воздуха, что значительно увеличивает скорость их диффузии внутри сосуда. Размеры пор в стенках сосуда позволяют проникнуть внутрь его только ионным формам элементов, обеспечивая селективность извлечения.

Метод частичного извлечения металлов (ЧИМ) основан на селективном извлечении ионных форм металлов под действием электрического тока, пропускаемого между заземленными электродами. Серийная станция смонтирована на автомобиле, содержит 28 одновременно работающих элементоприемников.

Ионно-потенциометрический метод — основан на измерении концентраций в почве основных ионов ( $K^+$ ,  $Na$ ,  $NH^+$ ,  $Cl^-$ ), а также величин Eh и pH среды. Пробы отбираются с глубины 20 см, высушиваются и просеиваются через сито 0,25 мм. Затем смешиваются с дистиллированной водой в соотношении 1 : 1 и на специальном приборе с ионоселективными электродами производятся замеры содержаний ионов Eh и pH.

Более дешевыми и поэтому при прочих равных условиях более предпочтительными являются математические методы усиления слабых аномалий. Наиболее простой метод — построение мультипликативных или аддитивных ореолов, например  $(Pb \times Zn \times Cu)/(Co \times Ni \times Cr)$ , или  $(Pb + Zn + Cu) - (Co + Ni + Cr)$ .

### 2.1.3. Литогеохимические методы поисков по потокам рассеяния

Литогеохимическим потоком рассеяния называются линейные зоны повышенных концентраций элементов, образовавшиеся под действием посторонних агентов переноса. Такими посторонними агентами могут быть воды (реки, ручьи и т. д.), ледники и ветер. В соответствии с этим выделяются речные (водные), ледниковые и эоловые потоки рассеяния. Большинство потоков рассеяния, используемых при поисках, связано с водным переносом. В направлении стока содержания химических элементов убывают, постепенно приближаясь к значениям, соответствующим местному геохимическому фону.

По фазовому состоянию мигрирующего вещества литогеохимические потоки рассеяния месторождений, развивающиеся в пролювиальных и аллювиальных отложениях временной или постоянной гидросети, также могут быть разделены на механические, солевые и смешанные. В природе наиболее распространены смешанные потоки рассеяния с различным соотношением механической и солевой долей переноса. Собственно механические и солевые потоки встречаются редко. При этом доля солевой части в потоке увеличивается в направлении стока. По доступности обнаружения потоки рассеяния могут быть как открытыми, так и закрытыми. Наиболее важное поисковое значение имеют

открытые потоки рассеяния, развивающиеся в отложениях современной гидросети горных районов.

В открытой гидросети активно денудированных районов месторождения большинства рудных элементов образуют механические потоки рассеяния. Солевые потоки рассеяния в современной гидросети можно обнаружить в ландшафтно-геохимических условиях, характеризующихся развитием закрытых, в частности выщелоченных с поверхности, вторичных ореолов рассеяния и скрытых рудных тел. Погребенные, механические и, тем более, солевые потоки рассеяния, развитые в отложениях палеогидросети, в связи с трудностями их интерпретации имеют ограниченное поисковое значение.

Питание потоков рассеяния может осуществляться четырьмя путями:

- в результате осыпания, обваливания и смыва со склонов материала механических вторичных ореолов;
- путем переноса материала в растворенном состоянии подземными и поверхностными водами боковых склонов;
- через солевые и газовые ореолы восходящей миграции;
- в результате непосредственного размыва коренных пород и руд.

Содержание металла в потоке рассеяния в решающей степени зависит от положения рудных тел, их первичных и вторичных ореолов рассеяния в местном бассейне денудации. Крупные месторождения, выведенные на уровень денудационного среза, в благоприятных условиях образуют литохимические потоки рассеяния протяженностью до нескольких километров.

Элементы-индикаторы могут попадать в поток из разрушающегося тела полезного ископаемого, а также вымываться грунтовыми водами, как из рудного тела, выходящего на поверхность, так и из слепого рудного тела, находящегося в зоне грунтовых вод. При этом поступление элементов-индикаторов происходит не только из тела полезного ископаемого, но и из его первичных и вторичных ореолов (рис. 19).

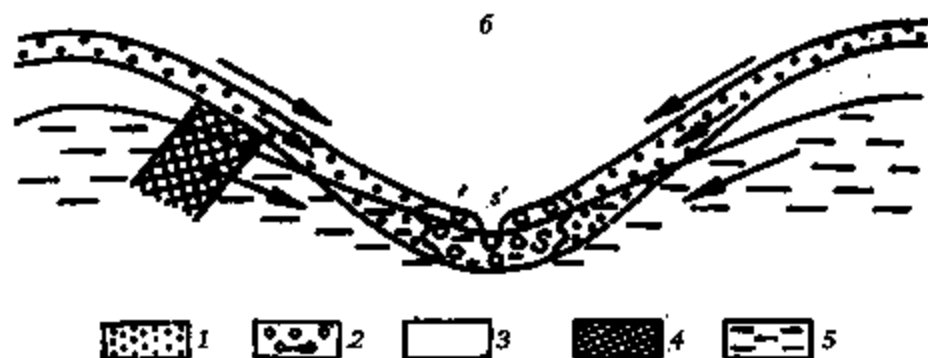


Рис. 19. Схема потока рассеяния в поперечном разрезе (по В. В. Поляжарпочкину):

- 1 — рыхлые образования склонов; 2 — аллювиальные отложения; 3 — коренные породы; 4 — рудное тело; 5 — подземные воды

В случае слепых рудных тел, а также при разрушении первичных и вторичных ореолов этих тел характерны солевые потоки. При этом возникают оторванные литохимические потоки, не имеющие непрерывных связей с телом полезного ископаемого или же с его первичными и вторичными литохимическими ореолами. Оторванность потоков рассеяния может быть связана как с тем, что рудное тело не выходит на поверхность, так и с морфологическими особенностями склонов, по которым происходит миграция элементов индикаторов. В пределах склона, по А. П. Соловому (рис. 20), можно выделить следующие участки: плоский водораздел (1), выпуклый склон (2), плоский склон (3), вогнутый склон (4), долина (5). Размеры этих участков зависят от размера склона в целом и от поперечного профиля долины, т. е. от стадии ее развития.

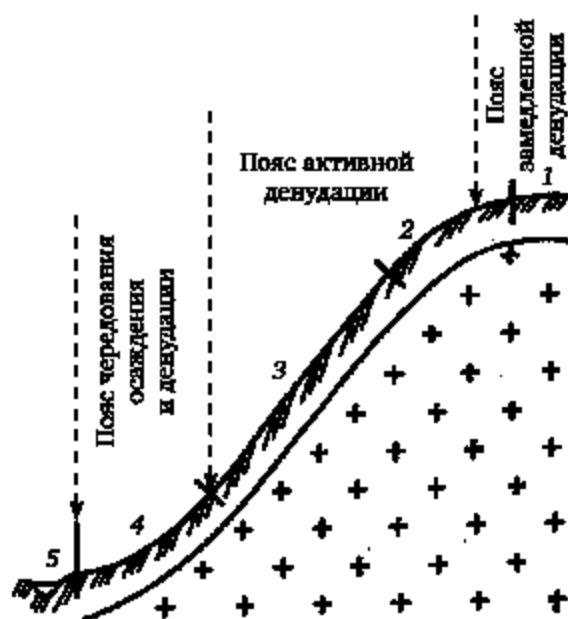


Рис. 20. Профиль и пояса денудация склона (по А. П. Соловому)

В пределах первых трех участков на поверхности существенного отложения переносимого материала не происходит, так как количество стекающего материала непрерывно возрастает от водораздела к подножию склона при постоянной или увеличивающейся скорости. Уменьшение скорости поверхностного стекания замедляется при переходе к вогнутой части склона, где и начинается осаждение части переносимого материала. Однако при ливневых осадках может начаться денудация вогнутого склона.

Величина фоновых и аномальных содержаний металлов в донных отложениях обуславливается целым рядом факторов, важнейшие из которых следующие: 1) минералого-геохимические особенности руд

и вмещающих их пород; 2) форма миграции элементов-индикаторов; 3) ландшафтно-геохимические условия.

В целом потоки рассеяния характеризуются теми же формами нахождения элементов, что и вторичные ореолы. Как и в последних, в них можно выделить следующие группы форм: 1) первичные и вторичные рудные минералы, а также различного рода примеси в других минералах; 2) солевые формы в твердой фазе, обусловленные сорбцией элементов дисперсным материалом, захватом их образующимися в зоне гипергенеза, осадками; 3) водные растворы.

Рассмотренные основные типы вторичных ореолов и потоков рассеяния могут иметь различные особенности, определяющиеся местными ландшафтно-геохимическими условиями. То или иное влияние могут оказать характер почвообразовательных процессов, глубина залегания грунтовых вод, наличие устойчивой мералоты и, в частности, явлений солифлюкции, характер вмещающих пород, структурные особенности и вещественный состав полезных ископаемых. Однако решающее значение имеют генезис и мощность рыхлого покрова, скорость современной денудации, характер современных и палеоклиматических условий, определяющих индивидуальные особенности миграции элементов.

Миграция элементов в зоне гипергенеза, направленная к рассеянию и постепенной ликвидации ранее образованных концентраций химических элементов, одновременно вызывает возникновение вторичных аккумуляций этих элементов. Вторичная аккумуляция может привести к образованию промышленных месторождений — современных и древних россыпей, месторождений, связанных с корой выветривания, зонами вторичного сульфидного обогащения и т. п. Однако чаще вторичные аккумуляции элементов в зоне гипергенеза представляют собой безрудные аномалии, возникающие при наличии так называемых геохимических барьеров, которые резко изменяют условия миграции элементов.

Изучение ассоциаций элементов в литохимических аномалиях позволяет иногда отличать безрудные аномалии от вторичных ореолов и потоков рассеяния рудных месторождений. Например, одновременное высокое содержание элементов с резко различными коэффициентами водной миграции (например, Pb и Sr, Sn и F и т. п.) характерно только для рудных аномалий.

## **2.2. Гидрогеохимические методы поисков**

Гидрохимические методы, входящие в общий комплекс применяемых в России геохимических методов, базируются на изучении геохимических и гидродинамических закономерностей распределения рудных элементов в природных водах и процессов их взаимодействия с вмещающими породами.

Главной задачей гидрохимических поисков является оценка рудной перспективности района. Эта задача выполняется путем выявления

источников рассеяния рудного вещества в водных бассейнах. С помощью гидрохимических методов в поле может быть получена экспрессная информация о наличии рудной минерализации под мощным покровом рыхлых отложений в любых геоморфологических и климатических условиях. Поскольку все известные элементы-индикаторы способны растворяться и мигрировать в природных водах, гидрохимические методы возможно применять при поисках всех типов месторождений. В закрытых слаборасчлененных районах с редким распространением поверхностных водопоявлений гидрохимические поиски следует сочетать с литохимическим опробованием и геофизическими исследованиями неглубоких картировочных скважин.

Применению гидрохимических методов поисков должен предшествовать детальный анализ всех факторов, влияющих на их эффективность — геологических, ландшафтных, организационных, экономических и т. д.

В целом применение гидрохимического метода целесообразно:

- в труднодоступных горных районах, где опробование литохимических ореолов технически сложно;
- для поисков глубокопогребенных рудных тел;
- для выявления погребенных рудоконтролирующих структур (разломов, интрузий и т. д.);
- для выявления зон пластового окисления.

Положительным моментом является то, что гидрохимическую пробу не надо переводить в раствор. Это значительно облегчает процесс пробоподготовки при использовании современных методов анализа (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, атомная абсорбция).

При интерпретации гидрохимических аномалий нужно учитывать следующие моменты:

- 1) увеличение содержаний в водах происходит не только при разрушении рудных ореолов, но и вследствие общего увеличения минерализации вод от верховий водотоков к низовьям;
- 2) при геометризации аномалии надо учитывать, что ее контур должен соответствовать направлению стока подземных вод;
- 3) перспективность аномалии оценивается исходя из ее интенсивности, геологической ситуации и особенностей зональности.

Формирование водных ореолов рассеяния существенно сульфидных руд происходит в результате сернокислотного выветривания и электрохимического растворения. Главным агентом сернокислотного выветривания является кислород, поэтому наибольшие изменения химического состава в районах сульфидных месторождений испытывают воды, формирующиеся выше местных базисов эрозии. В благоприятной обстановке (отсутствие скоплений органических веществ в рыхлом покрове и др.) окисление сульфидных руд распространяется на значительную (до 250—500 м) глубину, вследствие чего их водные ореолы рассеяния могут существовать значительно ниже местных базисов эрозии.

Изменение химического состава вод не сульфидных месторождений происходит под влиянием более слабых процессов гидrolитического



разложения, углекислотного выветривания и биогенного преобразования, что соответствующим образом отражается на контрастности водных ореолов рассеяния.

Благодаря различной скорости «растворения» минералов соотношение элементов в гидрохимических ореолах рассеяния значительно отличается от соотношения элементов в рудных телах и их первичных ореолах. Так, для сульфидных руд характерно возрастание скорости окисления («растворения») в ряду сульфидов: пирит — халькопирит — галенит — молибденит — арсенопирит — пентландит — сфалерит, в связи с чем медно-никелевые или медно-молибденовые руды будут сопровождаться гидрохимическими ореолами никеля или молибдена и резко ослабленным ореолом меди. Для водных ореолов рассеяния характерна геохимическая зональность, обусловленная последовательной сменой аномальных концентраций химических элементов в соответствии с их миграционной способностью в данной среде, разбавлением окружающими фоновыми водами, процессами ионного обмена, гидратации, сорбции и соосаждения (рис. 21).

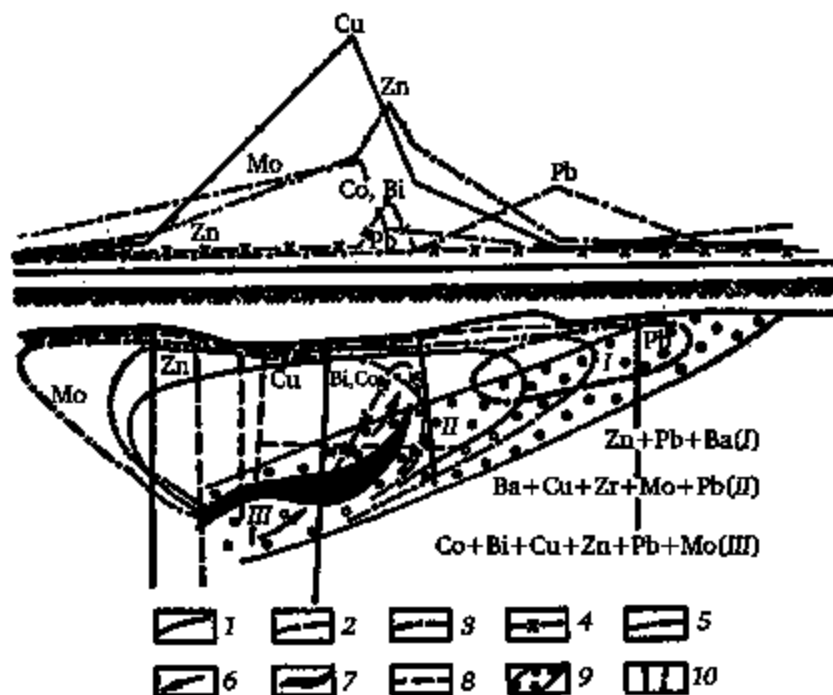


Рис. 21. Геохимическая зональность гидрохимических ореолов скрытой медноколчеданной залежи (схема и графическое изображение):

Контуры водных ореолов: 1 — меди; 2 — молибдена; 3 — свинца; 4 — висмута и кобальта; 5 — цинка; 6 — направление движения ореольных вод в коре выветривания и по разломам, секущих толщи рудовмещающих вулканогенных пород; 7 — рудная залежь; 8 — уровень грунтово-трещинных вод; 9 — эндогенный ореол и его зоны (I — надрудная, II — околорудная, III — подрудная); 10 — буровые скважины

Подвижность химических элементов в природных водах зависит главным образом от их солевого состава, кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных свойств, основными показателями которых являются  $O_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ , Eh и pH. Интенсивность водной миграции того или иного химического элемента в природных водах может быть выражена коэффициентом, представляющим собой отношение содержания химического элемента в сухом остатке воды к его содержанию в водонасыщающих горных породах.

Водные ореолы рассеяния рудных тел могут перемещаться из водоносного горизонта, который непосредственно соприкасается с рудными телами, в вышележащие водоносные горизонты и благодаря разгрузке восходящих ореольных вод и диффузионному рассеянию рудных элементов формировать гидрохимические потоки рассеяния в открытых водотоках и водоемах. В связи с этим водные ореолы и потоки рассеяния, образовавшиеся за счет растворения и выщелачивания рудных элементов из глубокозалегающих залежей, проявляются часто в неглубоко залегающих грунтовых или поверхностных водах. Например, химический состав вод некоторых озер может измениться под влиянием скрытой разгрузки глубоких трещинных напорных вод, взаимодействующих на глубине с рудными телами, или в результате привноса рудных элементов с окружающей территории, для которой характерно развитие рудных месторождений. Такие аномальные по содержанию рудных элементов воды бессточных озер могут служить косвенным показателем рудоносности района.

Химические элементы, находящиеся в водах и геохимические параметры вод, значения которых претерпевают изменения под влиянием рудных тел, а также их первичных и вторичных ореолов, называются гидрохимическими элементами-индикаторами и имеют значение поисковых признаков. К числу прямых поисковых признаков относятся рудообразующие и некоторые сопутствующие элементы, наиболее характерные для данного типа месторождений образующие контрастные аномальные концентрации в ореольных водах, к числу косвенных — зависящие от контакта с рудными телами изменения состава солевых компонентов (калий, сульфат-ион, хлор-ион и др.), а также величин pH и Eh вод.

Под фоновыми водами подразумеваются такие воды, химический состав которых формируется под влиянием различных региональных геологических и гидрогеологических процессов, не связанных с разрушением рудных тел или (и) их литохимических ореолов. Эти воды обогащаются различными химическими компонентами за счет углекислотного, биогенного или гидролитического разложения горных пород.

Наиболее контрастные водные ореолы и потоки рассеяния образуются в результате интенсивного окисления сульфидных залежей и их литохимических ореолов. Если эти рудные залежи оказываются обогащенными дисульфидами железа и залегают в химически слабоактивных силикатных породах, то образуются потоки и ореолы кис-

лых сульфатных вод с высокими концентрациями рудообразующих и сопутствующих элементов. Агрессивно воздействуя на вмещающие породы и сульфидные минералы, эти воды обогащаются серноокислыми солями алюминия, железа, сульфатами кальция, натрия, магния, калия, а также разнообразными рудными и нерудными элементами (медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, серебро, ртуть, мышьяк, сурьма, висмут, германий, селен и др.). Наименьшей контрастностью в гидрохимических ореолах отличаются элементы, соединения которых неустойчивы в кислой сульфатной среде (молибден, свинец, золото, барий, стронций и др.).

Коэффициент контрастности гидрохимических ореолов рассеяния интенсивно окисляющихся сульфидных руд колчеданного типа достигает величины нескольких десятков и сотен тысяч, что в значительной мере облегчает их обнаружение при правильном определении направления движения ореольных вод. Величина окислительно-восстановительного потенциала в кислых сульфатных водах достигает максимальных значений 0,7—0,8 вольт, а pH снижается до 0,7—2,5. Под влиянием интенсивного выщелачивания вмещающих пород кислыми сульфатными водами в пределах сульфидных рудных полей нередко образуется «сульфидный карст».

Протяженность ореолов кислых сульфатных вод, как правило, не превышает 300—500 м и только на участках широкого развития литохимических ореолов рассеяния, представленных бурыми железняками за счет их перестроения, формируются вытянутые до 2,5 км по направлению движения грунтовых вод контрастные гидрохимические ореолы рассеяния.

Значительно менее контрастные водные ореолы и потоки рассеяния образуются при взаимодействии подземных вод с рудными залежами при малом содержании дисульфидов железа, даже при залегании рудных тел на небольшой глубине выше местных базисов эрозии. Ввиду слабого отличия pH аномальных вод от pH фоновых вод этот косвенный показатель в данном случае теряет поисковое значение. Что же касается сульфат-иона, то, несмотря на резкое снижение контрастности его ореольных значений, он может быть использован и при поисках слабоокисляющихся малосульфидных залежей.

В связи с тем что активность водной миграции некоторых рудообразующих компонентов в зоне восстановительных процессов с  $Eh < 0$  падает, большое значение при поисках глубокозалегающих руд в этих условиях приобретают так называемые анионогенные элементы, мигрирующие в виде устойчивых комплексных анионов ( $\text{HMoO}_4^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$  и др.). В глубоких нейтральных и слабощелочных водах в восстановительной обстановке эти элементы образуют достаточно контрастные для обнаружения водные ореолы.

Контрастность неглубоких гидрохимических аномалий обычно изменяется в зависимости от режима подземных и поверхностных вод. Наименее постоянны гидрохимические аномалии в поверхностных

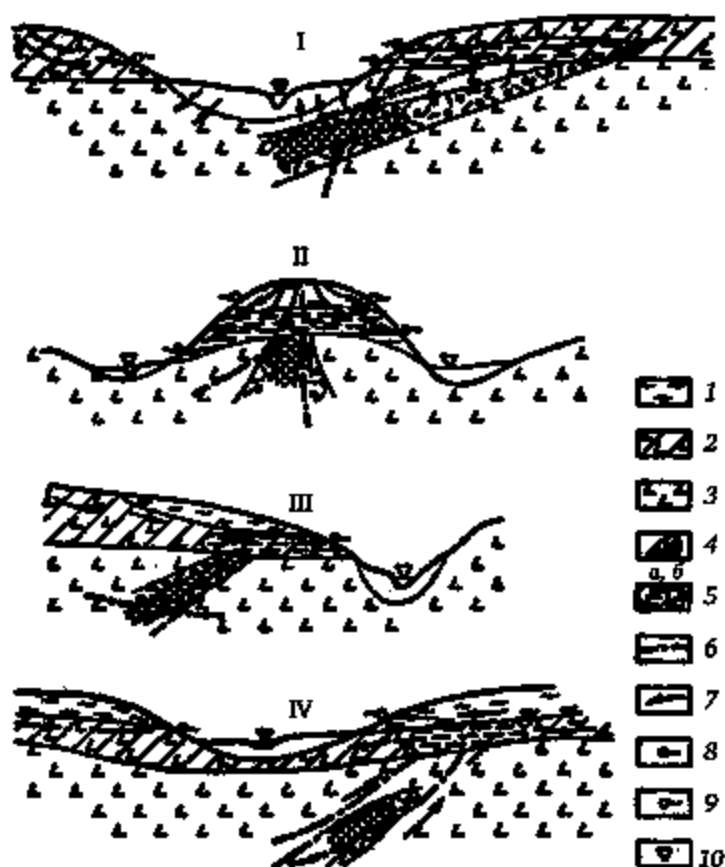
потоках высокогорных районов с резкоменяющимися условиями питания и стока.

Формирование и особенности проявления ореолов рассеяния рудных тел в поверхностных и подземных водах зависят от многих природных факторов и в первую очередь от гидрогеологических и геоморфологических условий залегания рудных тел; в этом отношении среди водных ореолов можно выделить четыре типа (рис. 22): I — залегающие ниже местных базисов эрозии в долинах рек под маломощным покровом водопроницаемых аллювиальных отложений в зоне слабого водообмена (долинный тип); II — расположенные на водоразделах выше местных базисов эрозии в условиях интенсивного водообмена (водораздельный тип); III — залегающие под элювио-делювиальными образованиями на склонах водоразделов (склоновый тип); IV — глубоко скрытые в толще рудовмещающих пород значительно ниже местных базисов эрозии под покровом рыхлых аллоктонных отложений, обводняющиеся глубокими трещинно-жильными и пластово-трещинными водами (трещинный тип).

В условиях интенсивного водообмена при залегании рудных тел выше эрозионных врезов формируются водные ореолы рассеяния открытого типа с поверхностными водопроявлениями. Локальное развитие слабоконтрастных водных ореолов рассеяния наблюдается при глубоком залегании рудных тел — значительно ниже эрозионных врезов. Пониженная контрастность их обусловлена замедленным водообменом, узколокальным характером разгрузки ореольных вод по глубоким разрывным нарушениям и отсутствием сильных окислителей ( $O_2$ ,  $H_2SO_4$  и др.) в водах.

Открытые водные ореолы рассеяния проявляются на поверхности земли в виде разнообразных очагов разгрузки грунтовых и напорных глубоких вод (родники, заболоченные участки, источники трещинных вод и т. д.). Их образование происходит обычно при залегании рудных тел или их литохимических ореолов выше местных базисов эрозии.

Закрытые водные ореолы рассеяния окаймляют рудные тела, располагающиеся ниже местных базисов эрозии в слабодисшированных предгорных и равнинных областях. В отличие от водных ореолов открытого типа они не вскрываются современными эрозионными формами рельефа и не проявляются в поверхностных водопроявлениях. Такого типа водные ореолы образуются обычно вокруг рудных тел, глубоко погребенных под покровом рыхлых песчано-глинистых отложений. В случае значительного удаления рудных месторождений от эрозионных дренирующих форм рельефа и при большой мощности рыхлых слабопроницаемых наносов водные ореолы рассеяния не проявляются на поверхности земли в виде открытых очагов разгрузки. Глубина залегания рудных тел при этом не всегда определяет степень их окисления. Так, например, на малых глубинах под водонепроницаемыми глинистыми отложениями нередко залегают менее окисленные рудные месторождения, чем на большей глубине, но под покровом легководопроницаемых отложений.



**Рис. 22. Типы водных ореолов рассеяния скрытого оруднения в зависимости от гидрогеологических условий их проявления:**

I — долинный; II — водораздельный; III — склоновый;

IV — трещинный. 1 — надрудные рыхлые образования; 2 — кора выветривания рудомещающих пород; 3 — рудомещающие образования; 4 — рудное тело с эндогенным ореолом; 5 — водный ореол рассеяния: а — в измененных горных породах, б — в рыхлых отложениях; 6 — разрывные тектонические нарушения; 7 — направление излияния подземных вод; 8 — открытые очаги разгрузки ореольных вод; 9 — открытые очаги разгрузки фоновых вод; 10 — местный базис эрозии

Зональность водных ореолов рассеяния рудных месторождений зависит от устойчивости основных форм водной миграции их элементов-индикаторов, состава и водопроницаемости надрудных образований, изменений геохимических условий миграции рудных элементов с глубиной, состава, зональности и морфологии первичных и вторичных литохимических ореолов.

Для каждой гидрохимической среды характерен свой ряд подвижности элементов. Например, в сильноокислых азотнокислородных сульфатных водах характерных для околорудных зон интенсивно окисля-

ющихся сульфидных месторождений наиболее контрастные ореолы образуют катионогенные элементы в виде легкорастворимых сульфатных комплексов  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$  и др. В щелочной гидрокарбонатной и слабокислой средах более подвижны анионогенные элементы (Mo, As, Sb, F, B, Ge, Se). Наименее благоприятна для миграции и накопления большинства элементов-индикаторов нейтральная среда (рН 6,5—7,5).

Высокорстворимыми, а следовательно, способными к накоплению рудные элементы становятся в глубоких трещинных хлоридных углекислых и углеводородных субтермальных и термальных водах, имеющих сходный состав с газовой-жидкими включениями в минералах.

Процессы сорбции и соосаждения оказывают существенное влияние на контрастность и протяженность отдельных гидрохимических ореолов лишь при резких изменениях Eh и рН ореольных вод, вызывающих образование труднорастворимых соединений (гидроокиси железа и алюминия, карбонаты и сульфаты кальция, окись кремния и др.).

Гидрохимическая зональность рудных полей обычно искажается вследствие скрытой разгрузки трещинных ореольных вод, неоднородности состава вмещающих пород и влияния других геологических факторов. Однако общая тенденция к увеличению числа элементов-индикаторов по мере приближения к месторождению выдерживается при всех значениях геохимических параметров среды миграции, что и является одним из главных показателей рудоперспективности выявляемых гидрохимических аномалий.

В направлении движения подземных вод от погребенных окисляющихся медноколчеданных залежей обычно прослеживаются следующие зоны гипергенноизмененных пород: кремнистоопаловая, ярозитовая, алунитизации, огипсовании и галлуазитизации. Образование этих зон обусловлено соответствующим изменением химического состава подземных вод по направлению их движения (кислотность уменьшается, содержание кремнекислоты увеличивается, концентрация железа, металлов и сульфат-иона понижается).

Вместе с гидроокислами железа и алюминия, а также кремнекислотой из нейтрализующихся ореольных вод в их очагах разгрузки соосаждаются молибден, серебро, свинец, цинк, медь, селен, кадмий, германий, галлий и индий. Вследствие этого зоны ярозитизации и алунитизации часто оказываются обогащенными разнообразными металлами, что и обуславливает приуроченность к ним литохимических аномалий.

С понижением кислотности ореольных вод до рН 6,5—6,9 вокруг погребенных сульфидных залежей по основным породам обычно развивается зона галлуазитизации, обогащенная купритом, фосфатами меди и цинка, малахитом, азуритом, смитсонитом, церусситом, атакамитом, кризокolloй, каламином, самородной медью, брошантитом и другими новообразованиями, устойчивыми при рН выше 5. Гипергенное омеднение отмечается часто на некотором (100—150 м) расстоянии от руд-

ного тела. Это вызывает появление «отрицательных» гидрохимических аномалий меди в неглубоких грунтовых водах над погребенными медноколчеданными залежами. Зона омеднения сопровождается зоной омарганцевания в связи с осаждением значительного количества марганца при нейтрализации кислых ореольных вод. Выпадающий из них гипс, мирабилит, тенардит и галит вызывают появление (в результате переотложения) сульфатных и хлоридных гидрохимических аномалий в периферийной зоне водных ореолов.

Если процесс нейтрализации подземных вод по направлению от окисляющегося погребенного рудного тела к местным оазисам эрозии происходит очень интенсивно (взаимодействие с карбонатными породами), протяженность водного ореола рассеяния резко сокращается.

Не менее важную роль играет и продолжительность процессов окисления. Длительное окисление приводит к образованию протяженных и очень контрастных солевых (литохимических) и водных ореолов рассеяния металлов, прослеживающихся на расстоянии нескольких сот метров по направлению древнего и современного переноса продуктов разрушения. В почвенном слое солевой ореол рассеяния формируется обычно на участках разгрузки грунтовых ореольных вод.

При расположении погребенных или скрытых рудных тел на крутых склонах солевые и соответственно водные ореолы рассеяния наиболее хорошо мигрирующих компонентов носят резко смещенный по отношению к рудным залежам характер. Такие смещенные аномалии рудных элементов (молибден, серебро и др.) обычно приурочены к низинным болотам, богатым органическим веществом.

На формирование гидрохимической зональности рудных полей большое влияние оказывают гидрогеологическая раскрытость рудоносных структур, к которым приурочены рудные месторождения, режим подземных вод и другие гидрогеологические факторы. В зависимости от глубины залегания рудных тел по отношению к местному базису эрозии влияние этих факторов проявляется с различной интенсивностью. Повышение интенсивности водообмена грунтовых вод в коре выветривания рудных залежей вызывает появление больших по размерам и контрастности водных ореолов рассеяния вследствие увеличения притока в рудную зону агрессивных кислородсодержащих вод, воздействующих на рудные тела. В то же время увеличение массы поверхностных и грунтовых вод и скорости их движения часто приводит к снижению контрастности развивающихся в них водных ореолов рассеяния. Снижение активности водообмена и агрессивности вод с глубиной частично компенсируется длительностью взаимодействия подземных вод с рудной минерализацией, а также отсутствием разбавляющего влияния атмосферных осадков.

Исследования современных и палеогидрогеологических условий залегания разных типов рудных месторождений показали, что в большинстве случаев они располагаются на контакте различных по водо-

проницаемости комплексов пород (туфы, аргиллиты, алевролиты, песчаники, диабазы, альбитофиры и др.) либо на стыке различных геохимических, структурных и гидродинамических зон. Древние экраны (барьеры) часто оказываются и современными водоупорами, а отрицательные формы палеорельефа — участками накопления рудного вещества. К палеолощинам обычно приурочены солевые литохимические и водные ореолы рассеяния рудных элементов, отражающие расположение древних зон окисления рудных месторождений.

Возникновение же бесперспективных (безрудных) гидрохимических аномалий вызывается: а) выщелачиванием рудных компонентов из скрытых на глубине литологических комплексов пород, обогащенных металлами; б) выщелачиванием рассеянной рудной минерализации, не сопровождающейся концентрированным оруденением; в) увеличением интенсивности выщелачивания рассеянной рудной минерализации глубокими агрессивными минеральными водами (углекислые, азотные, термальные и др.); г) локальным повышением активности выщелачивания рассеянной рудной минерализации на отдельных трещиноватых интервалах при интенсивном (боковом) притоке агрессивных кислородсодержащих вод.

### **2.3. Биогеохимические методы поисков**

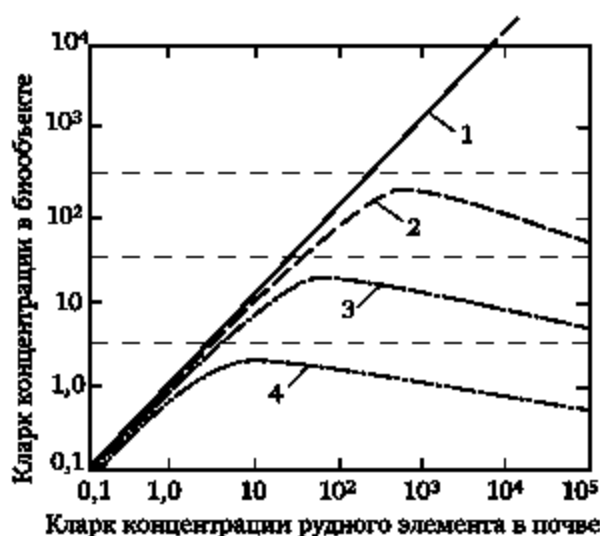
Биогеохимические методы поисков основаны на выявлении вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов руд в живых организмах и их остатках, называемых биогеохимическими ореолами. В настоящее время практическое значение имеет только метод, использующий в качестве объектов опробования наземные растения и их остатки (торф, лесную подстилку, гумусовый горизонт почв).

Основными факторами, влияющими на формирование биогеохимических ореолов рудных месторождений в растениях, являются: 1) доступность для растений минеральных и химических форм элементов-индикаторов, находящихся в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих породах; 2) величина поверхности контакта корневых систем растений с лито-, гидро- и атмосферическими ореолами рассеяния; 3) наличие и величина антиконцентрационных физико-биологических барьеров против высоких концентраций рудных элементов в питающей среде, 4) степень обводненности почв; 5) климат.

Биогеохимические поиски возможны только по биообъектам, у которых антиконцентрационные барьеры либо отсутствуют, либо имеют высокие предельные уровни, существенно превышающие местный биогеохимический фон. В конкретных природных условиях выявляется относительно большое количество массивных биологических объектов, в которых содержание большинства элементов-индикаторов не превышает их минимально аномальных значений. По наличию и величине антиконцентрационных барьеров выделяют четыре



группы биообъектов (рис. 23): 1) безбарьерные; 2) практически безбарьерные, с предельными концентрациями, превышающими фоновые содержания в 30—300 раз; 3) близфонобарьерные, с предельными концентрациями, превышающими местный фон приблизительно в 10 раз; и 4) фонобарьерные, с предельными концентрациями элементов-индикаторов, равными или близкими к фону, не превышающими их минимально аномальных содержаний для соответствующих видов и частей растений.



**Рис. 23. Нормированные концентрационные кривые, соответствующие основным группам биообъектов:**

Группы биообъектов: 1 — неограниченной аккумуляция, безбарьерный (количественно-информативный); 2 — практически безбарьерный, высокоинформативный; 3 — близфонобарьерный, малоинформативный; 4 — фонобарьерный, пассивный к высоким концентрациям и питающей среде (неинформативный). Пунктиром показаны приближенные границы между концентрационными кривыми различных типов

Использование первых двух групп биообъектов, дающих соответственно количественную и приближенно-количественную информацию об элементах-индикаторах на горизонте питания растений, обеспечивает наиболее эффективное ведение биогеохимических поисков. Использование биообъектов третьей группы позволяет получить лишь качественную информацию, искаженную антиконцентрационными барьерами, которая, как правило, не может интерпретироваться количественно. Использование фонобарьерных биообъектов не дает никакой поисковой информации, и проведение биогеохимических поисков с их опробованием лишено смысла.

Согласно статистическим данным по 20 элементам-индикаторам, относительное количество фонобарьерных видов и частей растений, неинформативных в поисковом отношении, равно приближи-

тельно половине (47 %) изученных наземных биообъектов растений, число которых для различных элементов-индикаторов изменяется от 50 до 250. Для некоторых элементов (Cu, Pb, Ag, Cd, W, Be, Li, Cs, и Ba) относительное количество таких неинформативных видов и частей растений близко к половине или превышает 50 %, а для U, F, Mn и Fe превышает 80 % изученных биообъектов. Элементами-индикаторами, наиболее благоприятными для использования при поисках, так как они имеют наименьшее (30 %) относительное количество неинформативных видов и частей растений, являются Zn, Mo, Au, Bi, Rb и As.

В связи с преобладанием барьерного типа в накоплении практически всех элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых при поисках следует использовать небольшое число наиболее информативных безбарьерных и практически безбарьерных частей широко распространенных растений. Биогеохимические поиски по таким биологическим объектам рекомендуются для практического использования в объемах, определяемых результатами районирования территории по применимости различных геохимических методов.

Опыт группирования 50—500 биообъектов Сибири показал, что многие из них являются безбарьерными или практически безбарьерными, т. е. количественно-информативными, одновременно на большое число элементов-индикаторов. Такими биообъектами, например, являются корни древесных, кустарниковых и травянистых растений, низшие растения — мхи и лишайники, и внешние слои коры (корка) в нижних, удобных для опробования частях стволов древесных растений. Анализ информации о количественных барьерных характеристиках надземных частей различных видов растений позволил выделить биообъекты, наиболее эффективные для использования при поисковых работах в Сибири.

Большое значение имеют формы нахождения элементов индикаторов, контактирующих с корнями растений при формировании биогеохимических ореолов рудных месторождений. Одни формы обуславливают отсутствие или ослабление биогеохимических ореолов (из-за недоступности растениям элементов-индикаторов, входящих в некоторые труднорастворимые и устойчивые минералы), другие, наоборот, способствуют образованию более контрастных биогеохимических ореолов (в связи с интенсивным накоплением в растениях элементов-индикаторов). По имеющимся данным, растениям обычно недоступны прочно связанные формы элементов-индикаторов, находящиеся в относительно крупных ( $> 0,03$ — $0,1$  мм) кристаллах, зернах или прочных агрегатах, труднорастворимых в кислотах минералов.

Интенсивность и эффективные размеры биогеохимического ореола зависят также от мощности аллювиального или склонового рыхлого покрова, глубины зоны полного или значительного выщелачивания литохимических ореолов и глубины проникновения корневых систем изучаемых растений. С увеличением мощности покровных образований зависимость химического состава растений от состава руд и их лито-,

гидро- и атмохимических ореолов ослабевает. Глубинность биогеохимических поисков в конкретных геологических и ландшафтных условиях ведения поисковых работ имеет определенную величину, которую необходимо предварительно установить в ходе опытно-методических работ. Для обеспечения максимальной глубинности биогеохимических поисков предпочтительно опробование многолетних древесных, кустарниковых и травянистых растений, имеющих глубоко проникающие корневые системы. Минимальная глубина корневых систем таких растений увеличивается с повышением аридности климата; так, в зоне многолетней мерзлоты она равна 0,5—2 м, в зоне умеренного климата 3—10 м, а в зоне аридного климата достигает 5—20 и даже 30—70 м.

Ореолы рассеяния в торфах обуславливаются первичным накоплением элементов-индикаторов в растениях-торфообразователях, а также вторичным сорбционным накоплением их в отмерших растениях и в торфе за счет диффузии и капиллярного подъема почвенных растворов и грунтовых вод или прямого влияния гидрохимических ореолов рассеяния рудных месторождений. В некоторой степени сходна природа биогеохимических ореолов в растительной подстилке, т. е. в слое растительных остатков, образующемся под пологом живых растений, а также в гумусовом горизонте почв. В результате вторичного обогащения элементами из водных растворов ореолы рассеяния некоторых элементов-индикаторов в торфе и растительной подстилке имеют большую контрастность, чем в живых растениях или почве. Следует, однако, иметь в виду, что во многих случаях пробы растительной подстилки намного разнороднее, чем пробы живых растений, из-за многообразия исходных видов растений, различной степени разложения растительных остатков и выщелачивания из них элементов-индикаторов, переменного количества неорганического материала и существенного влияния других трудноконтролируемых факторов. Это иногда обуславливает невозможность обеспечить необходимую стандартизацию отбора проб растительной подстилки и усложняет интерпретацию полученных результатов.

Кроме того, при изучении биогеохимических ореолов в торфах и растительной подстилке следует помнить, что основные растения-торфообразователи — это мхи и лишайники, являющиеся безбарьерными по отношению к большому комплексу рудных элементов. Растительная же подстилка (опад) состоит преимущественно из листьев и хвои деревьев и кустарников и надземных частей трав, которые являются обычно неинформативными или малоинформативными биообъектами по отношению к большинству рудных элементов. Лишь для ограниченного числа элементов-индикаторов, например золота, свинца и цинка, эти биообъекты являются безбарьерными или практически безбарьерными. Исходя из этих данных, торф и его живой мохово-лишайниковый покров можно считать высокоинформативными на большой комплекс элементов индикаторов в отличие от растительной подстилки, информативной лишь на ограниченное число элементов.

Сравнительно сложные в отношении интерпретации получаемых данных биогеохимические поиски следует проводить только в таких условиях, когда они имеют существенно большую геологическую и экономическую эффективность, чем литохимические поиски.

В сравнении с литохимическими ореолами, связь биогеохимических ореолов с оруденением более опосредована. Поэтому применение биогеохимического метода (вместо литохимического) можно рекомендовать только в определенных условиях:

1) при наличии выщелоченных с поверхности (закрытых) литохимических ореолов;

2) на площадях с погребенными вторичными ореолами при наличии чехла дальнеприносных отложений до 10 м в условиях умеренного климата;

3) то же при мощности чехла дальнеприносных отложений 50—80 м в условиях сухих степей и полупустынь;

4) на заболоченных территориях при неглубоком (до 10 м) залегании рудовосных пород;

5) на площадях развития крупноглыбовых (курумовых) оспей.

Соответственно, применение биогеохимического метода нецелесообразно:

1) в активно денудированных районах, где первичные и вторичные ореолы обнажаются на поверхности;

2) при залегании первичных и вторичных ореолов на большой глубине, заведомо не доступной для корневой системы растений;

3) на площадях лишенных безбарьерных видов растений;

4) при поисках руд, элементы-индикаторы которых входят в состав труднорастворимых веществ и недоступны для растений.

## 2.4. Атмогеохимические методы поисков

Атмохимические (газовые) методы поисков основаны на изучении распределения газовых компонентов в подземной и приземной атмосфере с целью выявления газовых ореолов рассеяния месторождений полезных ископаемых.

Проведенные в различных регионах в значительном объеме опытно-методические работы показали, что наиболее перспективно применение атмохимических методов для выявления погребенных месторождений. Известно три группы газов, формирующих атмохимические ореолы рассеяния рудных месторождений.

*Первая группа* — первичные газы — компоненты процесса рудообразования. Для гидротермальных процессов это углекислый газ, аргон, сероводород, метан, водород, летучие соединения галогенов и ряд других элементов. Наличие их в рудных телах доказано исследованиями состава газовой-жидких включений в минералах. К этой же группе относятся газообразные органические соединения, возникновение которых происходит при термометаморфизме органического веще-

ства осадочных пород в процессе рудообразования. Выделение газовых компонентов из рудных месторождений происходит в течение всего времени их эволюции. Высвобождение гипогенных газовых компонентов, законсервированных в рудном веществе, происходит непрерывно по мере вскрытия газово-жидких включений при процессах выветривания, динамометаморфизма и прочих внешних воздействиях.

*Вторую группу* составляют газы, поступающие с глубины по зонам разрывных нарушений, в которых могут быть локализованы рудные тела. Эти газовые компоненты (углекислый газ, гелий, водород, углеводородные газы, аргон, пары ртути) являются продуктами дегазации мантии, а также химических и ядерных реакций, протекающих в земных недрах. Образование некоторых газовых компонентов обусловлено радиоактивным распадом (радон, торон, актинон), что широко используется при поисках радиоактивных руд (в данной работе этот вопрос не рассматривается).

*К третьей группе* относятся газовые компоненты, образующиеся в результате процессов, протекающих в зоне окисления. Взаимодействие кислых сульфатных растворов с рудным веществом и вмещающими породами, бактериальное разложение сульфидов приводят к накоплению  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  при одновременном уменьшении содержания кислорода в подземной атмосфере зоны окисления сульфидных месторождений. В зоне гипергенеза происходит восстановление ртутьсодержащих минералов до самородной ртути с последующим переходом ее в газовую фазу.

Практическое значение при поисках погребенных месторождений имеет большая проникающая способность газовых компонентов, мигрирующих на значительные расстояния от рудных тел через перекрывающие толщи молодых осадков.

Атмохимические поиски ведутся как по сорбированным, так и по свободным газам. В первом случае с заранее выбранной глубины, обычно не превышающей первых метров, в герметически закрывающиеся емкости отбираются пробы перекрывающих отложений, из которых в лабораторных условиях извлекаются и анализируются сорбированные газы. Во втором случае из специально пробуренных скважин отбираются пробы почвенного воздуха для полевого и (или) лабораторного анализа. Полевой анализ является более оперативным, позволяя быстрее выделять аномальные области для постановки на них детализационных работ. Прямой отбор газовых проб применяется для выявления газовых ореолов ртути, гелия, углекислого и сернистых газов.

Атмохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов рассеяния часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления их связи с месторождениями. К достоинствам атмохимических методов относится их значительно большая, чем возможная в принципе для других геохимических методов, глубинность.

Атмохимические ореолы рассеяния представляют собой сложную многокомпонентную смесь, которая наследует газовый состав месторождений при их формировании и в последующие периоды, когда физико-химические и биологические процессы, особенно в зоне гипергенеза, усиливают или возобновляют действие атмохимических источников. Газовые ореолы рассеяния могут состоять из химических элементов, неорганических, органических и элементно-органических соединений. Эти ореолы, в отличие от литохимических ореолов, являются динамической системой, на которую могут оказывать существенное влияние термодинамические и физико-химические условия среды и состояние источника (месторождения). Газовые ореолы рассеяния существуют с момента образования месторождений и до полного его разрушения эрозионными процессами. В настоящее время при атмохимических поисках используются только некоторые из газов, а именно: углекислый газ, углеводороды, водород, сероводород, сернистый газ, кислород, гелий, аргон, радон. Однако источником аномальных концентраций перечисленных газов являются не только рудные месторождения, но и многие химические, биохимические и радиоактивные процессы, происходящие на поверхности и вблизи поверхности земли и не имеющие отношения к формированию и существованию рудных месторождений. Это существенно осложняет интерпретацию результатов атмохимических поисков и требует привлечения других методов, прежде всего литохимических.

Наиболее универсальный газовый компонент рудных месторождений — углекислый газ, который тесно связан с процессами рудообразования, будучи одной из основных составляющих рудообразующих флюидов. В зоне гипергенеза он же является основным продуктом окисления сульфидных руд и разложения карбонатов.  $\text{CO}_2$  тяжелее воздуха, вследствие чего в меньшей степени, чем другие газы, улетучивается в атмосферу и образует в поверхностных отложениях четкие и устойчивые во времени аномалии.

Углекислый газ выделяется также в процессе жизнедеятельности организмов в почве. Большие количества углекислого газа возникают в результате окисления органического вещества кислородом вблизи поверхности; он является основным компонентом вулканических газов, тесно ассоциирует с гидротермально-измененными породами и эндогенными месторождениями. Существенно аномальные концентрации углекислого газа наблюдаются в газовых потоках, мигрирующих из глубин Земли по зонам разломов.

Среди углеводородов наибольшее значение при изучении газовых ореолов имеет метан. Этот газ, содержащийся в почвах и болотах, образуется при биохимических процессах, а также в результате воздействия интрузивных и интрузивных пород и гидротермальных растворов на осадочные породы при взаимодействии водорода или паров воды с углеродом, его окисью и двуокисью.

Водород широко распространен в вулканических газах, газах рудных месторождений и залежах калийных солей. Много водорода выделяется при термальном воздействии интрузий и гидротермальных растворов на органическое вещество. Термокаталитическое разложение воды на глубине также приводит к образованию водорода.

Сероводород в приповерхностных условиях образуется за счет биохимических процессов и в результате окисления сульфидных руд. Он часто встречается и в вулканических газах.

Сернистый газ образуется в зоне окисления сульфидных месторождений и фиксируется также в вулканических газах.

Гелий постоянно образуется в земной коре на больших глубинах в результате радиоактивного альфа-распада и различных ядерных реакций. В повышенных количествах он присутствует в газах многих месторождений.

Аргон фиксируется в природных газах обычно в больших количествах, чем гелий. Повышенные концентрации этого газа особенно характерны для галогенных пород. Аргон образуется преимущественно при радиоактивном распаде  $^{40}\text{K}$ .

Наиболее полная информация о природе аномалий может быть получена при проведении газовой съемки по комплексу компоненто-индикаторов, специфичных для конкретных геолого-геохимических условий. Появление в подпочвенном воздухе повышенных концентраций углекислого газа, сернистых газов, а также пониженное содержание кислорода могут быть использованы в качестве индикаторов перекрытых сульфидных руд.

Атмохимические методы с успехом могут применяться для решения следующих основных задач:

- выявления и прослеживания разрывных структур в районах с широким развитием покровных отложений во всех климатических и ландшафтных условиях;
- выявления и локализация рудных зон, в частности перспективных на скрытое оруденение.

В настоящее время практически используются три самостоятельных атмохимических метода: поиски по газовым компонентам в подпочвенном воздухе, газортутные поиски по парам ртути и поиски по водогелиевым ореолам.

В последние годы усиленно развивается газортутный метод, с помощью которого выявляются прямые поисковые признаки ртутных и ртутьсодержащих рудных месторождений. Известно, что повышенные содержания газов и паров ртути, источником которых являются рудные месторождения, фильтруются и диффундируют по трещинам и микротрещинам по направлению к поверхности Земли. При этом часть газов и паров ртути сорбируется перекрывающими отложениями и растворяется в подземных водах, а остальная — идет на формирование окклюдированных и свободных атмохимических ореолов рас-

сеяния в окружающих породах, подпочвенном пространстве, почвах и приземной атмосфере.

Источниками газортутных аномалий (ореолов) являются: 1) зоны минерализации, рудопроявления, рудные тела и месторождения, 2) зоны глубинных разломов. Аномалии первых источников, как правило, отличаются от последних большей локальностью.

Однородный фон в содержаниях паров ртути в почвенном воздухе позволяет однозначно выделять аномалии небольшой интенсивности.

Первичные ореолы ртути наиболее интенсивны в надрудных горизонтах сульфидных месторождений, где их продуктивность в 3—8 раз выше, чем в околорудных и подрудных. Это должно быть учтено при интерпретации результатов газортутных поисков.

Для образования динамически устойчивых газовых ореолов рассеяния ртути необходимо наличие определенной суммарной (критической) массы сульфидов в рудном теле, первичном и вторичном ореолах. Масса сульфидов ниже минимальной (критической) не способна образовывать газовые ореолы рассеяния в почвенном воздухе, учитывая фильтрацию и диффузию паров ртути в атмосферу и рыхлые отложения. В связи с этим смещенные вниз по склону вторичные ореолы и потоки рассеяния и аномалии, образовавшиеся за счет деятельности человека, в большинстве случаев не могут создать устойчивые аномальные концентрации паров ртути.

В результате исследований последних лет удалось установить:

- над ртутными залежами и ртутоносными зонами за счет возгонки, происходящей при любых температурах земной поверхности, образуются газовые ореолы рассеяния ртути. Гипергенные процессы усиливают переход ртути из твердого состояния в парообразное, что приводит к формированию более интенсивных газовых ореолов рассеяния ртути;

- газовые ореолы ртути образуются над рудными залежами и не собственно ртутных месторождений, так как в ореолах многих эндогенных месторождений содержание ртути в 5—1000 раз больше, чем в горных породах;

- количество ртути, переходящей из твердой фазы в газовую, зависит от температуры, формы нахождения ртути и концентрации ее в твердой фазе, площади рудных тел и литохимических аномалий на поверхности, а также условий открытости или закрытости поверхности по отношению к атмосфере.

Геологические и геохимические обоснования атмогеохимического метода поисков месторождений нефти и газа более очевидна. Природная нефтяная залежь представляет собой смесь жидких и газообразных углеводородов (УВ) метанового, нафтенного и ароматического рядов с примесью сернистых, азотистых, кислородных соединений и зольных остатков. В зависимости от условий залегания она может представлять собой либо одно фазовую газонасыщенную жидкость, либо распадаться на жидкую и газовую фазы, образуя в верхних горизонтах залежи так называемую «газовую шапку».



Содержание углеводородов в нефтяных газах достигает 80—95 %, в то время как их геохимический фон в подпочвенном воздухе не превышает  $(2-4) \cdot 10^{-4}$  %. Эта огромная разность концентраций определяет протекание процессов рассеяния углеводородов в окружающих горных породах. Под действием лито статического давления движение газов в свободных порах и трещинах происходит в сторону дневной поверхности эффузии. В водонасыщенных породах распространение газа обязано диффузии и определяется градиентом его концентрации.

Простейшая схема образования атмосферического ореола рассеяния нефтегазовой залежи показана на рис. 24. На нем приведены два варианта графиков содержаний углеводородов в подпочвенной атмосфере: с одним максимумом над залежью, так называемая «прямая аномалия», и с двумя максимумами, разделенными околофоновыми содержаниями в эпицентре месторождения. Во втором случае в плане обнаруживаются «кольцевые аномалии», весьма часто встречающиеся в практике. Такая форма газовых аномалий объясняется повышенной трещиноватостью пород вблизи периклинали и более слабой в сводовой части структуры. Аналогичный характер имеют газовые ореолы месторождений гелия, залежей углекислоты, сернистого газа и других природных газовых скоплений, обособляющихся в литосфере.

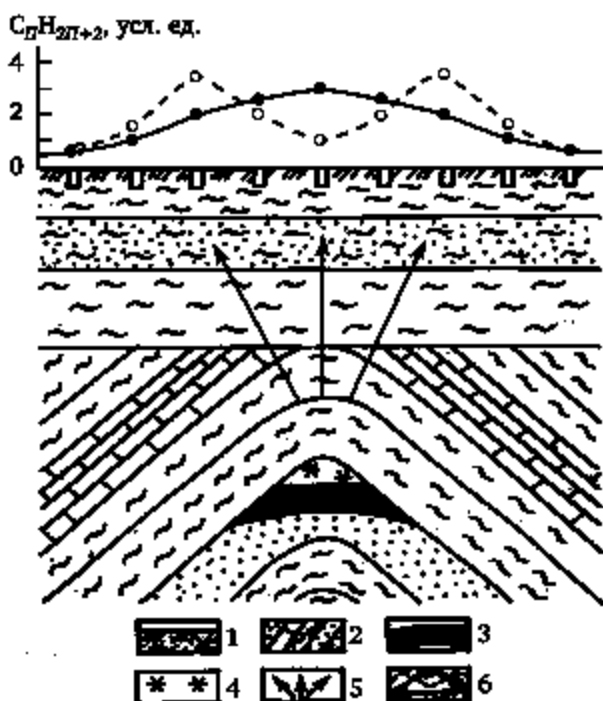


Рис. 24. Схема атмосферического ореола рассеяния газонефтяной залежи:  
 1 — перекрывающие отложения; 2 — продуктивная толща; 3 — нефть;  
 4 — «газовая шапка»; 5 — направление эффузии и диффузии газов;  
 6 — газосъемочные скважины и графики содержания углеводородов (два варианта)

## 2.5. Условия применения геохимических методов поисков

Геохимические методы поисков рудных месторождений применяются на всех стадиях геологоразведочных работ. Виды и масштабы геохимических поисков, а также особенности их сочетания с другими геологоразведочными работами определяются степенью геологической и геохимической изученности территории, ее геологическими и ландшафтно-геохимическими условиями и должны находиться в соответствии с ныне действующими — отраслевым стандартом ОСТ 41—15—291—89 «Отчет о геологическом изучении недр», «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1983), «Требованиями к содержанию отчетных материалов по результатам завершенных геохимических работ на твердые полезные ископаемые» (1989), «Инструкцией по учету геологической, гидрогеологической, геофизической, эколого-геологической и геохимической изученности территории Российской Федерации» (1996), «Временными требованиями к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим работам при опережающих геохимических поисках, прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работах на твердые полезные ископаемые» (2007).

По геологическому строению и ландшафтно-геохимическим особенностям выделяют три основных типа регионов геохимических поисков.

I. Горно-складчатые регионы с покровом современных рыхлых образований преимущественно элювиально-делювиального генезиса. Для таких регионов, занимающих около 30 % территории, характерен расчлененный рельеф с преобладанием трансэлювиальных ландшафтов (сильно расчлененный мелкосопочник, бедленд, горы и т. п.). Реже встречаются расчлененные возвышенности, в которых плоские поверхности — элювиальные элементарные ландшафты чередуются со склонами — трансэлювиальными и элювиально-аккумулятивными. Объектами поисков являются эндогенные и осадочно-метаморфогенные месторождения, в основном выведенные действием тектонических и денудационных процессов на поверхность. Вторичные ореолы и потоки рассеяния месторождений в этих условиях одновременно могут проявляться в современных рыхлых образованиях (элювио-делювии, аллювии), поверхностных и подземных водах, газах, а также в растениях. В горных активно денудлируемых районах этого типа преимущественно и достаточно эффективно применяются литохимические методы поисков. В районах гумидной зоны при замедленной денудации их иногда целесообразно сочетать с гидрохимическими и биогеохимическими методами. Такое комплексирование методов целесообразно также на участках развития закрытых и полужакрытых ореолов, а также при поисках месторождений в нижних частях склонов и на дне долин.

II. Регионы преимущественного развития мощных толщ осадочных горных пород с глубоко залегающим кристаллическим фундаментом.

Рельеф таких регионов, занимающих примерно 57 % территории России, слабо расчленен, с преобладанием аккумулятивных форм. Характерны плоские и слабо волнистые равнины. Преобладают плоские поверхности и очень пологие склоны — элювиальные ландшафты. Реже наблюдаются расчлененные возвышенности. Главные объекты геохимических поисков в таких регионах пологозалегающие осадочные месторождения в мощных (сотни — тысячи метров) толщах пород верхнего структурного яруса. Вторичные остаточные ореолы и механические потоки рассеяния эндогенных месторождений на поверхности в этих условиях, как правило, не проявляются. Геохимические поиски экзогенных (первичноосадочных) месторождений можно проводить путем гидрохимического опробования искусственно вскрываемых глубоких подземных вод (по гидрохимическим ореолам и потокам рассеяния) в сочетании с литохимическим опробованием керна скважин. Может быть целесообразным также применение поисков по речным потокам рассеяния в гидро- и биогеохимическом вариантах.

III. Складчатые закрытые регионы аккумулятивно-денудационных равнин с чехлом аллохтонных (дальнепринесенных) отложений мощностью до 500 м. Такие регионы занимают около 13 % территории России. Ландшафты таких регионов аналогичны II типу регионов. Объектами поисков являются эндогенные и осадочно-метаморфогенные месторождения в породах складчатого основания, а иногда и осадочные (в частности, россыпные) месторождения в породах чехла. Регионы рассматриваемого типа обычно приурочены к краевым частям платформ, хотя иногда они располагаются и внутри горно-складчатых районов. Развитие вторичных остаточных ореолов и механических потоков рассеяния на поверхности в таких случаях ограничено месторождениями, залегающими в верхних горизонтах осадочного чехла. В подобных районах могут быть применены метод поисков по вторичным наложенным ореолам рассеяния (при мощности осадочного чехла до 100 м, иногда и более), а также атмосферический или глубинный литохимический и гидрохимический, либо сочетание этих методов. При небольшой (около 20—30 м, иногда более) мощности аллохтонных отложений в районах аридного климата возможно применение биогеохимического метода поисков.

При проведении геохимических поисков необходимо выделять участки с аналогичными внешними факторами миграции. Поэтому литохимическим поискам по рыхлым отложениям, гидрохимическим, атмосферическим и биогеохимическим поискам должно предшествовать составление ландшафтно-геохимических карт, осуществляемых по следующей схеме:

- 1) проектирование;
- 2) составление предварительных схем ландшафтно-геохимического районирования;
- 3) полевые исследования;
- 4) обработка результатов полевых исследований;

5) составление окончательной карты ландшафтных условий ведения геохимических работ и защита отчета.

Во всех случаях геохимическим поискам должны предшествовать предварительные геолого-геохимические и геофизические исследования рыхлого покрова и структуры кристаллического фундамента таких регионов.

## Глава 3

# ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Эффективность геохимических методов поисков и достоверность полученных при этом результатов зависит как от методики проведения этих работ, так и от качества выполненных аналитических работ. Качество анализов определяется их точностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью. Обобщенной характеристикой качества анализов является точность (рис. 25)



Рис. 25. Обобщенная характеристика качества анализов

Количественной характеристикой качества анализов является погрешность. Высокой точности анализа соответствует малая погрешность и наоборот. Сходимость и воспроизводимость количественно оценивается «погрешностью сходимости» и «погрешностью воспроизводимости». Типичный пример «погрешности воспроизводимости» — погрешность устанавливается при межлабораторных анализах. Погрешность воспроизводимости в одной и той же лаборатории устанавливается по результатам повторных анализов одним и тем же методом в разное время или в одно и тоже различными аналитическими методами.

Для геохимических поисков различие погрешностей сходимости и воспроизводимости имеет принципиальный характер, так как точность результатов анализов геохимических проб, выполненных в раз-

личных лабораториях или в одной и той же лаборатории различными методами (или в разное время), должна быть охарактеризована погрешностью воспроизводимости.

Необходимо учитывать, что погрешность сходимости отражает лишь средний уровень случайных погрешностей, в то время как погрешность воспроизводимости включает также неисключенные остатки систематических погрешностей. Поэтому погрешность воспроизводимости обычно больше погрешности сходимости.

Погрешностью называется отклонение результата анализа от истинного значения измеряемой величины. Поскольку последнее всегда неизвестно, вместо него принимается значение величины, полученной более качественным методом.

По природе погрешностей различают случайные и систематические погрешности. *Случайная погрешность* — погрешность, составляющая погрешности результатов анализов, произвольно изменяющаяся при повторных анализах в одинаковых условиях. *Систематическая погрешность* — составляющая погрешности результатов анализов, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных анализах в одинаковых условиях. Эта погрешность может быть в значительной степени исключена введением поправок.

Промахи, обусловленные путаницей в нумерации проб, ошибочным положением запятой в десятичном написании результатов и другими причинами, подлежат исключению из данных анализов.

В практике геохимических поисков большое значение имеет предел обнаружения используемых аналитических методов, так как значительная часть элементов, определяемых в геохимическом поле, характеризуется содержаниями, близкими к пределам их обнаружения. Под пределом обнаружения анализируемой величины понимается ее наименьшее значение, которое может быть надежно определено данным методом.

При выполнении анализов обязательным является внутренний и внешний контроль анализов (по 3 %).

В качестве основных методов анализа на производстве до сих пор используются приближенно-количественный спектральный анализ на 20—40 элементов и спектрофотометрический для определения золота. Их преимущества — относительная дешевизна и экспрессность. Однако для решения актуальной на сегодня задачи выявления скрытого оруденения эти методы уже не обладают необходимым пределом обнаружения и воспроизводимостью. В ряде организаций уже начался переход на масс-спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (ICP MS). Эта методика, используемая сегодня во всех развитых странах, позволяет оперативно определять концентрации практически всех элементов и даже их изотопов с максимально высоким пределом обнаружения.

Для решения частных задач широко используются также атомно-абсорбционный, рентгенофлуоресцентный, нейтронно-активационный и другие виды анализов.

В зависимости от масштаба проявления рудного процесса принято выделять следующий иерархический ряд металлогенических единиц:

1. Рудные тела < 1 км<sup>2</sup>;
2. Месторождения 1—10 км<sup>2</sup>;
3. Рудные поля и узлы 10—100 км<sup>2</sup>;
4. Рудные районы 100—1000 км<sup>2</sup>;
5. Металлогенические зоны 1000—10 000 км<sup>2</sup>;
6. Металлогенические провинции 10 000—100 000 км<sup>2</sup>.

В настоящее время наибольшее применение при среднемелкомасштабных исследованиях имеют геохимические поиски при ГДП-200. Объектами поисков при ГДП-200 являются рудные узлы и поля в пределах рудных районов.

В настоящее время модели первичных геохимических ореолов, которые можно использовать для прогнозирования и поисков оруденения, разработаны только для объектов рангов рудных тел и месторождений. Что касается рудных узлов и полей, то достаточно полной информации о строении первичного ореола такого ранга пока нет. Предполагается, что аномальные геохимические поля рудных узлов и полей представляют собой определенное сочетание ореолов рудных тел и зон рассеянной минерализации (фиксирующих рудоконтролирующие структуры).

Объектом геохимических методов поисков является, таким образом, рудогенное аномальное геохимическое поле, параметры которого должны быть описаны в прогнозно-поисковой модели.

Прогнозно-поисковая модель — это воображаемая пространственная фигура правильной формы, в пределах которой сосредоточен весь комплекс свойств, соответствующих скоплениям полезных ископаемых и выделяющих эту фигуру на фоне окружающей геологической среды.

К обязательным моделиобразующим признакам относятся:

1. Вид объемной фигуры (плиткообразная, объемная, стержневая).
2. Форма в проекции на дневную поверхность (круглая, овальная, линейная).

3. Положение рудной зоны в модели. Учитывая развитие гидротермального процесса снизу вверх, рудная зона должна находиться в нижней части модели.

4. Масштабы развития рудного процесса, из которых можно выделить три типа моделей:

- а) совокупность мелких изолированных рудопроявлений;
- б) группа относительно обособленных месторождений среднего масштаба;

в) рудные поля с интенсивным развитием рудного процесса, включающие крупные месторождения с хорошо выраженными закономерностями их размещения в единых структурах.

5. Неоднородности геохимического поля могут быть связаны как с концентрационной зональностью оруденения (постепенное уменьшение содержания по мере удаления от руды), так и со структурно-геологическими особенностями вмещающей среды (рис. 26).



**Рис. 26. Модель концентрационной зональности аномального геохимического поля**

В реальности эта картина искажается из-за наличия геохимических барьеров, зон повышенной проницаемости, разломов и т. д. В ряде случаев это повышает вероятность обнаружения рудоносных зон (вдоль рудоконтролирующих разломов аномальное геохимическое поле может распространяться достаточно далеко от источника).

По степени проявленности в геохимическом поле объекты поисков и соответствующие им модели можно подразделить следующим образом (рис. 27):

- 1) выходящие на эрозионную поверхность своим аномальным геохимическим полем;
- 2) выходящие под чехол рыхлых отложений своей рудоносной зоной с образованием вторичных ореолов;
- 3) выходящие рудоносной зоной на древний эрозионный срез и перекрытые более молодыми отложениями, с образованием в них вторичных ореолов;
- 4) скрытые (слепые), рудоносная зона которых никогда не была эродирована и не проявлена во вторичных ореолах.



**Рис. 27. Степень проявленности поисковых геохимических моделей**



## **3.1. Литохимические методы поисков по первичным ореолам**

### **3.1.1. Условия применения**

Литохимический метод поисков по первичным ореолам основан на выявлении и использовании в качестве поисковых признаков геохимических аномалий, сингенетичных с месторождениями полезных ископаемых. Поиски по первичным ореолам осуществляются путем систематического опробования горных пород, вмещающих месторождения. Особенности распределения элементов-индикаторов оруденения в первичных ореолах учитываются на всех стадиях геологоразведочного процесса.

На стадии региональных геологических и геофизических работ выполняются опытно-методические работы с целью получения представительных данных о связи первичных и вторичных литохимических ореолов для обоснованного использования закономерностей состава и строения первичных ореолов при интерпретации вторичных литохимических ореолов как на этой, так и на последующих стадиях геологоразведочного процесса. При геологическом картировании коренных горных пород, и особенно на подстадии глубинного геологического картирования, попутно в геологических маршрутах производится геохимическое опробование коренных пород с целью выявления и интерпретации первичных ореолов месторождений полезных ископаемых.

На стадии поисков месторождений полезных ископаемых метод поисков по первичным ореолам находит широкое применение в комплексе с методом поисков по вторичным ореолам (геолого-геохимическое профилирование) уже на подстадии общих поисков и имеет первостепенное значение на подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ. На этой стадии особенности первичных ореолов привлекаются как для интерпретации аномалий, выявленных в результате непосредственного опробования коренных рудовмещающих пород, так и для интерпретации адекватных первичным ореолам вторичных литохимических ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

Методика поисков месторождений полезных ископаемых по их первичным ореолам в существенной степени определяется масштабом работ, а также степенью обнаженности участков поисков, мощностью и характером рыхлых отложений.

На подстадии общих поисков основной задачей работ по первичным ореолам является обеспечение надежности полной интерпретации выявленных литохимических ореолов. Производится определение формационной природы оруденения (состава руд, типа полезного ископаемого), установление уровня их эрозионного среза (наличие слепого оруденения), элементов залегания рудных тел и предполагаемого масштаба оруденения. На этой подстадии особенности первичных ореолов используются при интерпретации вторичных ореолов рассеяния в пределах площадей, где коренные рудовмещающие породы полностью или

частично перекрыты автохтонными рыхлыми образованиями, в которых развиты литохимические вторичные (остаточные) аномалии.

В пределах закрытых площадей, где коренные рудовмещающие породы перекрыты аллохтонными (дальнеприносными) отложениями значительной мощности и поиски проводятся по наложенным ореолам рассеяния элементов-индикаторов, первичные ореолы используются в процессе вскрытия наложенных ореолов (скважинами, шурфами и др.), когда производится обязательное опробование коренных пород, выявление и интерпретация развитых в них первичных ореолов.

На подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ первичные ореолы используются для уточнения уровня эрозионного среза и пространственного положения предполагаемого оруденения и определения прогнозных ресурсов полезного ископаемого. На этих подстадиях в пределах перспективных участков с хорошей обнаженностью проводится площадное геохимическое опробование коренных пород по профилям, ориентированным вкрест простирания известных или предполагаемых рудных зон. Рекомендуемая сеть опробования на подстадии детальных поисков  $100 \times 10$  м (масштаб 1 : 10 000) и в отдельных случаях  $50 \times 10$  м (масштаб 1 : 5000). На подстадии поисково-оценочных работ сеть опробования может быть сгущена до  $20 \times 5$  м (масштаб 1 : 2000).

В районах с частичной обнаженностью площадному опробованию подвергаются рыхлые отложения. Коренные породы в этих условиях опробуются при детализации выявленных гипергенных аномалий как по естественным, так и искусственным обнажениям (канавы, шурфы и др.).

На всех подстадиях геологоразведочных работ геохимическому опробованию подвергаются все без исключения горные выработки и керн буровых скважин.

При проверке геохимических аномалий проходка буровых скважин и тяжелых горных выработок (глубоких шурфов и шахт, штолен и т. п.) до завершения геохимического опробования коренных пород, включая интерпретацию первичных ореолов, не разрешается. До очередного сгущения сети поисков должна быть завершена интерпретация геохимического опробования выработок и скважин, пройденных по более редкой сети с целью уточнения на этой основе направления дальнейших работ.

На стадиях предварительной и детальной разведки, разведки эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода и эксплуатационной разведки широко используются особенности состава и строения первичных ореолов. На этих стадиях с помощью первичных ореолов решаются следующие задачи: а) оценка перспектив рудоносности на глубину и на флангах рудопроявлений и месторождений; б) поиски слепого оруденения; в) корректировка направления разведочных работ; г) уточнение морфологических особенностей разведываемых рудных тел.

Проведение геохимического опробования коренных пород по естественным и искусственным обнажениям до начала работ стадии детальной разведки является обязательным, так как такое опробование позволяет существенно уточнить оценку перспектив рудоносности месторождений и рудопроявлений.

Геохимическое опробование горных выработок и буровых скважин, пройденных при разведке известных рудоносных зон, позволяет не только оценить их перспективы на глубину, но и выявить ореолы, связанные с неизвестными слепыми рудными телами, залегающими рядом или же глубже, благодаря чему существенно увеличивается радиус информативного действия горных выработок и буровых скважин.

Использование первичных ореолов позволяет существенно повысить эффективность буровых работ при поисках и разведке рудных тел субгоризонтального залегания. Значительные размеры ореолов в плоскости рудных тел создают благоприятные условия для выделения с помощью бурения по относительно редкой сети скважин участков, перспективных на слепое оруденение. При этом в разряд перспективных относятся не только участки, где бурением вскрыто оруденение, но и участки, где по результатам геохимического опробования выявлены только геохимические аномалии данного типа оруденения и в пределах которых сгущение сети буровых работ может привести к обнаружению рудных тел.

### 3.1.2. Опытные-методические работы

Опытными-методическими работами по изучению первичных ореолов решаются следующие основные задачи:

- 1) установление комплекса элементов, которые образуют первичные ореолы вокруг рудных тел типоморфных для района поисков месторождений и могут быть использованы в качестве их индикаторов;
- 2) определение величины геохимического фона каждого из элементов-индикаторов, развитых в районе рудовмещающих пород;
- 3) выявление ширины и по возможности вертикальной протяженности ореолов для различных элементов-индикаторов;
- 4) установление ряда вертикальной (осевой) зональности первичных ореолов и характера поперечной и продольной зональности;
- 5) выявление коэффициентов зональности, наиболее эффективных для интерпретации первичных ореолов;
- 6) установление закономерных связей параметров месторождений (рудных тел) и их первичных ореолов;
- 7) выявление геохимических критериев оценки вероятного масштаба оруденения.

При выборе участков проведения опытно-методических работ предпочтение отдается тем из них, где известны типичные для района работ месторождения с хорошо разведанными рудными телами. Наиболее благоприятные результаты при изучении первичных ореолов дает опро-

бование горных выработок и буровых скважин, которые расположены в одном разрезе и пересекают рудное тело на различных уровнях. Это позволяет построить вертикальные разрезы ореолов различных элементов и оценить одновременно их размеры.

Опробуемые интервалы выработок и скважин должны выходить по возможности за границы зон гидротермально-измененных пород, окаймляющих рудные тела.

Установление элементов-индикаторов производят путем:

а) изучения имеющихся результатов химических и спектральных анализов штучных, бороздовых и технологических проб, отобранных в рудных телах в процессе разведочных и эксплуатационных работ;

б) построения графиков, а также планов и разрезов, характеризующих распределение химических элементов в коренных породах;

в) анализа и сопоставления полученных данных с результатами изучения первичных ореолов аналогичных месторождений.

Геохимический фон для элементов-индикаторов определяют согласно приемам, изложенным отдельно, для каждого типа пород, имеющего значительное распространение на изучаемой площади.

Для составления рядов зональности элементов-индикаторов и выбора на этой основе оптимальных коэффициентов геохимической зональности предложен ряд методов.

На основе рядов элементов-индикаторов осевой зональности определяются наиболее важные из них для оценки уровня среза геохимических аномалий. В общем случае такими будут элементы, максимально удаленные друг от друга в рядах зональности, поскольку отношение параметров ореолов подобных пар и групп элементов характеризуется значительным градиентом по вертикали, следовательно, и высокой степенью надежности их практического применения.

В случае установления в рядах зональности нескольких максимумов накопления одного и того же элемента необходимо обратить особое внимание на изучение минеральной зональности, так как подобное явление обычно связано с наличием нескольких форм нахождения одного и того же элемента в близких количествах. В сульфидсодержащих гидротермальных месторождениях подобные явления особенно характерны для меди, мышьяка, олова и вольфрама.

### 3.1.3. Отбор проб

Первичные геохимические ореолы изучаются путем опробования рудовмещающих пород по серии заранее выбранных разрезов или профилей, обычно ориентированных вкrest простирания рудолокализирующих структур.

Отбор проб в горных выработках, из керна буровых скважин и на естественных обнажениях производят методом пунктирной борозды путем точечной отбойки восьмидесяти мелких кусочков (сколков) размером не более 3—4 см в поперечнике примерно на одинаковом расстоянии друг от друга. Отобранные кусочки объединяют в одну про-

бу по каждому интервалу. Если в пределах опробуемого интервала имеет место смена пород, то каждая разновидность породы должна быть охарактеризована отдельной пробой. Материал тектонических трещин, встречающихся по профилю опробования или вблизи него, а также жилы и прожилки опробуют отдельно.

Интервал опробования составляет 5—10 м. При изучении первичных ореолов опробование коренных пород на поверхности, в горных выработках и в керне скважин по возможности должно быть сплошным (пробы должны примыкать непосредственно одна к другой) (рис. 28).



Рис. 28. Виды геохимического опробования первичных ореолов

Вес пробы 400—500 г. Проба дробится, истирается, квартуется и отправляется на анализы.

В качестве геохимических проб можно также использовать дубликаты истертых бороздковых, или керновых проб.

Для всех видов геохимических работ обязательным является отбор контрольных проб в объеме 3 %.

При неудовлетворительном выходе керна или бескерновом бурении в процессе проходки скважины геохимическое опробование можно проводить по шламу и буровой мути. Пробу шлама отбирают ежесменно или по рейсам. При необходимости шлам нескольких рейсов объединяют в одну пробу. Масса пробы шлама не должна превышать 150—200 г. При большей массе пробу после сушки подвергают квартованию до требуемой массы.

В случае опробования шлама при бурении с промывкой глинистым раствором необходимо учитывать возможность заражения пробы химическими элементами, содержащимися в промывочной жидкости, а также разубоживания содержания элемента в шламе за счет глины. Поэтому предварительно следует проанализировать глинистый материал, идущий на приготовление бурового раствора.

В случае бурения скважин с промывкой может иметь место отставание в выносе шлама от забоя к устью скважины, что необходимо учитывать при графическом изображении данных опробования и их интерпретации.

Отбор проб коренных пород обязательно сопровождается геологической документацией, включающей подробную характеристику литоло-

гического состава интервала опробования, особенностей и элементов залегания коренных пород, степени их трещиноватости и обводненности, проявлений и степени интенсивности рудной и гипергенной минерализации, гидротермально-метасоматических изменений и др.

#### 3.1.4. Обработка проб

Обработку проб производят по следующим последовательным операциям:

а) измельчение в лабораторных щековых дробилках до крупности менее 5 мм;

б) измельчение на валках до крупности менее 1 мм;

в) перемешивание по способу кольца и конуса и сокращение квартованием до 50—100 г;

г) механическое истирание оквартованной навески на вибрационных и других истирателях.

Растергую часть пробы направляют на анализ.

Пробы, отобранные для исследования минерального состава первичных ореолов, в частности для отбора мономинеральных фракций, обрабатываются по специальным схемам, выбираемым в соответствии с конкретными задачами работ.

Дробильные агрегаты и истиратели после обработки каждой пробы тщательно очищают. Особое внимание следует уделять очистке дробильных агрегатов после обработки проб, отобранных из рудных интервалов. Такие пробы (с надписью «рудные») следует группировать и измельчать в одно время, после чего в дробилку и валки пропускают «пустую» породу с фоновыми содержаниями определяемых элементов. После окончания обработки рудных проб дробилку, валки, стаканы, в которых производят истирание проб, очищают особо тщательно (продувкой сжатым воздухом, чисткой металлическими щетками, протиранием мокрыми тряпками и т. д.).

Чтобы избежать заражения проб элементами группы железа и другими, составляющими лигатуру стальных узлов дробилок, следует либо заменить узлы из легированной стали на таковые из углеродистой стали, либо установить элементы, которые привносятся во время измельчения проб и исключить их из числа исследуемых элементов.

Дробление и истирание геохимических проб на рудничных дробилках, занятых дроблением рудных проб и в помещениях, где они установлены, категорически запрещается.

#### 3.1.5. Анализ проб

Пробы анализируются, прежде всего, методом приближенно-количественного спектрального анализа на многие элементы. Некоторые химические элементы, чувствительность определения которых этим методом недостаточна (уран, золото, ртуть, рубидий, йод, фтор), в случае необходимости анализируются другими методами. При изучении некоторых особенностей распределения химических элементов в первичных ореолах иногда применяют методы количественного анализа.

В ряде случаев при изучении первичных ореолов пробы необходимо анализировать также на некоторые породообразующие элементы (калий, магний, кальций и др.), концентрации которых можно определять химико-спектральным методом, содержания которых можно получить при использовании химико-спектрального анализа. Необходимость применения специальных методов и методик анализа на бор, фтор, рубидий, цезий, церий, стронций, тантал, золото, ртуть, ванадий и другие элементы следует рассматривать каждый раз особо, с учетом металлогенических особенностей исследуемого района, а также результатов опытно-методических работ.

Учитывая значительную трудоемкость специальных методов анализа проб, следует использовать их только при анализе проб, отобранных в пределах геохимических аномалий, выявленных в результате опережающего экспрессного спектрального анализа всех геохимических проб. Обоснованием для подобной рекомендации являются: а) многокомпонентный характер первичных геохимических ореолов рудных месторождений; б) наличие положительной корреляции между содержаниями элементов-индикаторов;

в) тесное совмещение в пространстве ореолов всех элементов-индикаторов данного типа оруденения.

При детальных поисковых, разведочных и эксплуатационных работах на широкий круг элементов следует анализировать ограниченное число проб, отобранных с опорных профилей. Большую же часть проб можно анализировать на сокращенное число элементов, в это число включают прежде всего основные элементы-индикаторы типичных для районов работ месторождений.

При определении перечня элементов, на которые необходимо анализировать пробы, следует учитывать производительность и чувствительность методов спектрального анализа. В связи с низкой чувствительностью методов определения ряда элементов их ореолы можно оконтуривать лишь в пределах полей высоких концентраций. В том случае, когда эти элементы являются важными индикаторами, в частности индикаторами зональности, определение их содержания в пробах следует проводить методами, обладающими повышенной чувствительностью.

В ряде случаев при изучении и практическом применении первичных ореолов с помощью экспрессного спектрального и других методов производится анализ тяжелых фракций геохимических проб, а также мономинеральных проб с целью изучения особенностей распределения элементов-примесей в минералах-индикаторах.

Очень важно систематическое и оперативное получение результатов анализа по мере проведения поисковых и разведочных работ. Организацию обработки и анализа проб следует считать нормальной если, по крайней мере, в поисковых партиях 80 % проб будут проанализированы к концу полевого сезона, а на разведочных и поисковых объектах 100 % проб после завершения проходки соответствующей горной выработки или буровой скважины.

## **3.2. Литохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния**

### **3.2.1. Условия применения**

Поиски рудных месторождений по их вторичным ореолам и потокам рассеяния проводятся путем систематического отбора литохимических проб по определенной сети для выявления вторичных ореолов и по направлениям современных водотоков, рек и ручьев для выявления потоков рассеяния рудных месторождений.

Проведение литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния в природных условиях, допускающих возможность их применения, является обязательным как на стадии региональных геологосъемочных и геофизических работ, так и на стадии поисков месторождений полезных ископаемых. Целесообразность использования этих методов на разведочных стадиях зависит главным образом от степени корреляции вторичных ореолов рассеяния с коренным оруденением и его первичными ореолами. При достаточно высокой степени такой корреляции по данным изучения вторичных ореолов рассеяния могут решаться те же задачи, что и при использовании метода литохимических поисков по первичным ореолам. Применение литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния рудных месторождений на стадиях разведки может оказаться необходимым в случаях, когда по тем или иным причинам не были своевременно, до начала разведочных работ, оценены фланги и ближайшие окрестности разведваемого месторождения.

Во всех случаях до постановки литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния должно быть проведено районирование территории работ по условиям проведения геохимических работ на основе имеющихся ландшафтно-геохимических, геологических, почвенных и других карт. При недостаточности сведений для такого районирования должны быть организованы работы для получения недостающих материалов.

На подстадии региональных геофизических работ масштаба 1 : 200 000 могут проводиться аэрогеохимические съемки (АГСМ), требования к производству которых здесь не рассматриваются. В целях уточнения геологической интерпретации геофизических данных на этой подстадии могут проводиться литохимические поиски по потокам рассеяния, а также отбор литохимических проб по отдельным профилям геофизических съемок. На данной подстадии желательна организация опытно-методических работ. Эти работы проводятся в целях уточнения условий и методики проведения литохимических поисков на следующей подстадии, и выяснения сравнительной эффективности различных видов геохимических поисков в конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условиях предполагаемых районов работ.

На подстадии региональной геологической съемки масштаба 1 : 200 000 с составлением региональных прогнозных карт одновре-



менно проводятся литохимические поиски по ореолам или потокам рассеяния в масштабе 1 : 200 000 или при сложных геологическом строении и (или) ландшафтно-геохимических условиях в масштабе 1 : 100 000.

В горных, хорошо расчлененных рудных районах литохимические поиски на данной подстадии должны проводиться путем исследования потоков рассеяния, с опробованием аллювиальных отложений современной гидросети. В равнинных, слабо расчлененных открытых складчатых районах с неотчетливо выраженными путями современного стока литохимические поиски следует проводить по вторичным остаточным ореолам рассеяния путем опробования элювио-делювиальных образований.

Главной задачей литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния на данной подстадии геологоразведочных работ является получение общей геохимической и металлогенической характеристики исследуемого района и выявление площадей, годных для постановки более детальных работ следующей подстадии.

Литохимические поиски масштаба 1 : 200 000 проводятся и на площадях, подвергающихся повторному картированию в том же масштабе, если это признается необходимым для повышения достоверности и качества геологосъемочных работ или (и) прогнозирования минеральных ресурсов.

Следует учитывать, что в закрытых рудных районах со сплошным покровом дальнеприносимых отложений мощностью более 10 м литохимические поиски масштаба 1 : 200 000 позволяют обнаруживать только экзогенные месторождения в отложениях осадочного чехла, если опытно-методическими работами не установлена возможность выявления наложенных ореолов рассеяния погребенных месторождений.

Литохимические поиски на подстадии геологической съемки масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с составлением крупномасштабных карт проводятся с учетом результатов литохимических поисков масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000). В районах, где установлено наличие промышленного оруденения или доказана их перспективность, литохимические поиски масштаба 1 : 50 000 могут проводиться, минуя стадию работ более мелкого масштаба, основываясь на материалах районирования территории по условиям проведения геохимических поисков.

В горных, хорошо расчлененных районах, где литохимические поиски ранее не проводились, их следует начинать на данной подстадии с исследования потоков рассеяния в масштабе 1 : 50 000 с последующим переходом к поискам по литохимическим ореолам. При наличии достаточных данных литохимических поисков по потокам рассеяния, полученных ранее, а также в открытых и полузакрытых районах со сглаженным рельефом целесообразно переходить к поискам по вторичным ореолам рассеяния, минуя исследования потоков рассеяния в масштабе 1 : 50 000.

В районах со сплошным покровом дальнеприносимых отложений мощностью от 10 до 100 м, редко более, литохимические поиски мас-

штаба 1 : 50 000 возможны с целью обнаружения месторождений, выходящих на поверхность фундамента. Такие поиски должны проводиться по методике, обоснованной опытно-методическими работами, обеспечивающей выявление вторичных наложенных ореолов рассеяния погребенных месторождений заданного класса крупности.

Главной задачей литохимических работ данной под стадии является выявление участков, перспективных для постановки более детальных работ и получения достаточных материалов для составления карты прогноза полезных ископаемых и расчета прогнозных ресурсов руд.

На подстадии глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых отбор литохимических проб вблизи поверхности имеет ограниченное поисковое значение и может применяться, только если опытно-методическими работами доказана практическая возможность выявления ослабленных остаточных или наложенных вторичных ореолов рассеяния погребенных рудных месторождений. Если надежная фиксация этих ореолов при литохимических поисках доказана, то необходимо принять меры по первоочередному проведению таких поисков на площадях, где проектируется бурение картировочных скважин с целью обеспечения своевременности возможной корректировки по результатам литохимического опробования мест их заложения.

Литохимические поиски, с целью выявления первичных или погребенных вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений, проводятся на данной подстадии в масштабе не мельче 1 : 50 000. Этот масштаб, как правило, должен быть крупнее масштаба глубинного геологического картирования. Однако, если глубинное геологическое картирование проектируется в масштабе 1 : 25 000, литохимические поиски масштаба 1 : 10 000 ограничиваются участками, непосредственно примыкающими к местам заложения буровых скважин, а на остальной площади проводятся литохимические поиски в масштабе 1 : 25 000. Литохимическое опробование кернa картировочных скважин является обязательным и проводится непрерывно по мере их проходки с целью выявления как первичных ореолов, так и адекватных им погребенных вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений. Полученные результаты литохимического опробования используются при составлении прогнозно-металлогенических схем фундамента, залегающего под более молодыми образованиями.

На стадии поисков месторождений полезных ископаемых производятся работы путем последовательного повышения детальности литохимического опробования на площадях выявленных геохимических аномалий. На подстадии общих поисков с выделением перспективных площадей и определением прогнозных ресурсов литохимические поиски проводятся в масштабе 1 : 10 000 на площадях, ограниченных выявленными ранее литохимическими аномалиями, а также на участках, где обнаружены признаки рудной минерализации другими методами. Для масштаба 1 : 10 000 и крупнее методика литохимических работ опре-

деляется степенью обнаженности площадей. При удовлетворительной обнаженности опробуются коренные рудовмещающие породы с целью выявления и оценки первичных ореолов. При неудовлетворительной обнаженности эффективнее опробование рыхлых отложений с целью выявления и оценки вторичных ореолов рассеяния с учетом степени соответствия (корреляции) в данных условиях первичных и вторичных ореолов. Если на предыдущих стадиях не были проведены литохимические поиски масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000), они должны быть в обязательном порядке в кратчайший срок осуществлены на данной подстадии. Основной задачей поисков по литохимическим ореолам на данной подстадии является выделение конкретных участков для проведения поисков с применением горных и буровых работ. Материалы литохимических поисков по первичным и (или) вторичным ореолам рассеяния масштаба 1 : 10 000 должны быть использованы при определении прогнозных ресурсов руд.

На подстадии детальных поисков с определением прогнозных ресурсов на конкретных участках литохимические поиски по первичным и (или) вторичным ореолам рассеяния проводятся в масштабах 1 : 10 000 — 1 : 2000. Масштаб работ выбирается в зависимости от размеров рудных тел и их литохимических (первичных) и вторичных ореолов. Поиски проводятся с обязательным литохимическим опробованием всех горных выработок и керна буровых скважин.

Основными задачами литохимических поисков на данной подстадии является выделение рудопроявлений, заслуживающих дальнейшей оценки, с подсчетом на перспективных площадях ожидаемых прогнозных ресурсов минерального сырья. Решение этих задач возможно только при оценке площади поисков различными методами и полном учете геологических и ландшафтно-геохимических особенностей. На этой подстадии проводятся работы по выявлению скрытого на глубине оруденения на основе анализа строения вторичных ореолов рассеяния, удовлетворительно коррелирующихся с первичными ореолами рудных тел (по первичным ореолам при удовлетворительной обнаженности). На подстадии детальных поисков в закрытых районах на перспективных площадях, выявленных предыдущими работами (наличие вторичных наложенных литохимических и других ореолов погребенных месторождений), рекомендуется постановка глубинных литохимических поисков.

На подстадии поисково-оценочных работ производится литохимическое опробование коренных пород по керну буровых скважин и в горных выработках. Основная цель такого опробования — выявление по первичным ореолам скрытого оруденения. Наряду с этим выполняется литохимическое опробование коренных пород на поверхности и рыхлых отложений для подсчета прогнозных ресурсов руд по параметрам первичных и (или) вторичных ореолов рассеяния за пределами контуров поисково-оценочных буровых скважин и горных выработок.

Площадное литохимическое опробование в масштабе 1 : 25 000 и мельче следует проводить попланшетно, в рамках трапеций государственной разграфки соответствующего масштаба. По геологическим, организационным или экономическим соображениям допускается производство таких поисков на 1/3 или  $x/t$  листа соответствующей разграфки. Литохимическое опробование в масштабе 1 : 10 000, проводимое на участках, превышающих по площади 60 км<sup>2</sup>, должно по возможности выполняться в рамках трапеций государственной разграфки этого масштаба или на 1/2, 1/4 листа. Производство литохимических поисков масштабов 1 : 5000—1 : 2000 в пределах планшетов государственной разграфки является желательным. Постановка литохимических поисков в пределах одного рудного поля на многочисленных мелких разобитых участках неправильной формы запрещается, если эти работы не являются опытно-методическими.

Литохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния производят путем точечного опробования рыхлых отложений по определенной сети на глубине представительного горизонта, в необходимых случаях устанавливаемого опытно-методическими работами.

Литохимические поиски по потокам рассеяния в масштабах 1 : 200 000 — 1 : 50 000 производят путем опробования всей площади по сети маршрутов, густота которых зависит от степени эрозийного расчленения местности, выбранного масштаба работ и площади водосборной воронки.

В зависимости от детальности работ при поисках по потокам рассеяния расстояния между точками отбора проб принимаются от 100 до 500 м.

Размеры потока рассеяния характеризует его длина, т. е. протяженность русла, в пределах которого содержание элемента-индикатора больше или равно его нижнему аномальному значению.

На поверхность суши ежегодно выпадает воды на 36 000 км<sup>3</sup> больше, чем испаряется. Стекая в моря и океаны, эти воды ежегодно выносят 20 млрд т твердых остатков и 2,5 млрд т растворимых солей. Поскольку механический перенос явно преобладает, при исследовании потоков рассеяния наиболее информативным является опробование твердой фазы стока (обычно это илесто-глинистая фракция).

Содержание элемента в потоке рассеяния в реальности зависит от ряда факторов, которые необходимо учитывать при выборе методики опробования потоков и интерпретации полученных результатов.

1. Чем ближе рудное тело к вершине ручья, тем интенсивнее аномалия при одних и тех же ресурсах полезного ископаемого. Это повышает требования к методике выделения слабых аномалий в нижней части долин.

2. Крупная фракция дает более интенсивные, но менее протяженные потоки рассеяния, чем мелкая фракция. Таким образом, для выявления слабых аномалий в ряде случаев предпочтительнее отбирать крупную фракцию.

3. На содержание элемента в потоке рассеяния влияет скорость истирания материала. Чем выше скорость денудации, тем интенсивнее аномалии, но короче потоки рассеяния как в крупной, так и в мелкой фракциях.

4. При прочих равных условиях в вытянутых бассейнах интенсивность и протяженность потоков рассеяния выше, чем в изометричных, поскольку разубоживающее влияние притоков в первом случае меньше.

Площади водозабора для точек опробования удобно выделять в среде ArcGis (рис. 29). Здесь же можно вычислять продуктивность потоков и вести подсчет ресурсов. Можно также выполнять эти операции в электронных таблицах Excel.

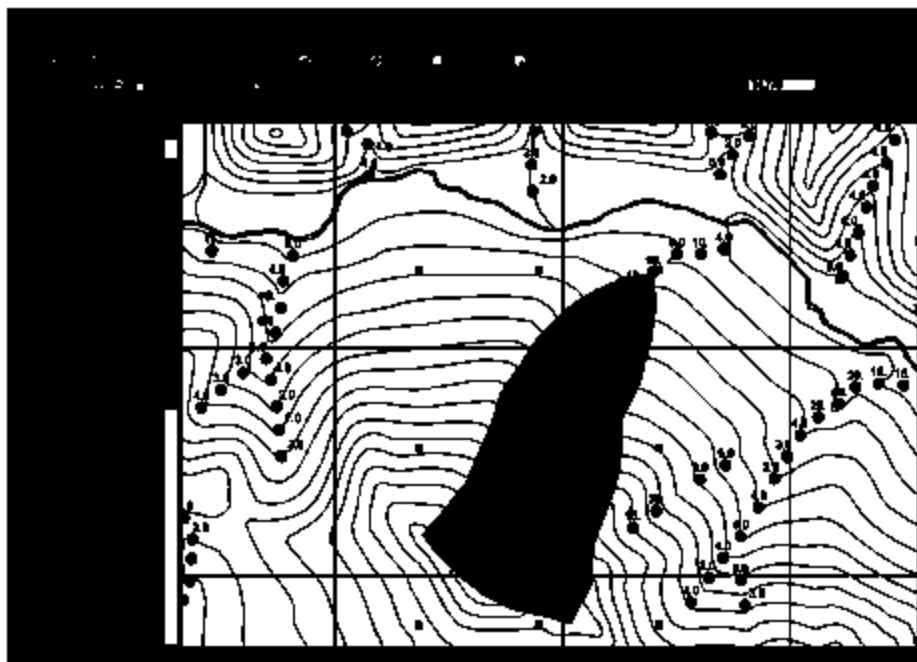


Рис. 29. Пример оконтуривания площади водозабора в программе ArcView

Площадное литохимическое опробование рыхлых отложений для выявления ореолов рассеяния должно быть выполнено по сети профилей, соответствующей принятому масштабу работ, при соблюдении требований, указанных в табл. 13. Профили следует ориентировать вкрест господствующему простиранию рудоконтролирующих структур и рудных зон. При достоверной ориентировке сети опробования вкрест простирания ожидаемых ореолов рассеяния рудных зон для надежного выявления последних расстояние между профилями основной сети не должно превышать 0,9 предполагаемой длины ореола, а расстояние между точками отбора проб — не более половины его предполагаемой

ширины. Это обеспечит обнаружение ореола не менее чем одним профилем и двумя аномальными точками, а в 10 % случаев двумя профилями и двумя-тремя аномальными точками.

Расстояние между профилями и точками пробоотбора при масштабе 1 : 10 000 может быть увеличено до сети 200 × 40 м в зависимости от решаемых поисковых задач и масштаба рудных тел.

Таблица 13

Плотность опробования вторичных ореолов рассеяния

Масштаб	Сеть		Число проб на 1 км <sup>2</sup> площади
	Расстояние между профилями, м	Расстояние между точками пробоотбора, м	
1:200 000	2000	200	2—5
1:100 000	1000	100	10—20
1:50 000	500	50	40
1:25 000	250	50—40	80—100
1:10 000	100(200)*	20—25 (40)*	400—500
1:5 000	50	10—20	1000—2000
1:2 000	25	10	4000

\* Расстояние между профилями и точками пробоотбора при масштабе 1 : 10 000 может быть увеличено до сети 200 × 40 м в зависимости от решаемых поисковых задач и масштаба рудных тел

Глубинные геохимические поиски, с целью оценки выявленных наложенных литохимических, атмосферических, биогеохимических и других аномалий, следует производить не менее чем по 2—3 параллельным профилям. Эти профили должны пересекать аномалию в центральной ее части, с расстоянием между ними 1000—250 м, с числом скважин в профиле не менее 3—5 при расстоянии между ними 100—25 м.

Допускается оперативное сгущение или разрежение выбранной сети литохимического опробования в процессе исполнения работ в зависимости от геологических условий и полученных результатов, но с сохранением ее равномерности, обеспечивающей объективный характер результатов поисков.

Сверх обязательного минимума проб по заданной сети на местах, представляющих особый интерес с точки зрения нахождения оруденения, может быть произведен отбор дополнительных проб. Необходимое сгущение сети для увязки результатов работ по соседним профилям, уточнения параметров ореола и надежности выбора мест заложения горных выработок и буровых скважин осуществляют путем сокращения расстояний между профилями и уменьшения шага пробоотбора по профилю. Исключение из площади литохимических поисков участков по соображениям их возможной бесперспективности является совершенно недопустимым.

При выполнении литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния следует последовательно увеличивать их детальность на перспективных выборочных площадях, придерживаясь основных масштабов; 1 : 200 000, 1 : 50 000, 1 : 10 000, 1 : 2000. При сложных геологических и ландшафтно-геохимических условиях поиски могут проводиться последовательно в масштабах 1 : 100 000, 1 : 25 000, 1 : 5000.

При детальном литохимическом поиске по вторичным ореолам рассеяния выбор их масштаба должен производиться при учете размеров, морфологии и генетического типа известных или возможных месторождений и рудопроявлений. При этом отбор проб проводят первоначально по основной более редкой сети с последующей разбивкой дополнительных детализационных, часто более коротких, профилей с меньшим шагом пробоотбора.

На месторождениях пластового, прожилково-вкрапленного, штокверкового и других типов оруденения, характеризующихся значительными размерами рудных выходов, измеряемых многими сотнями метров, при относительно равномерном оруденении детальные литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1 : 10 000 в большинстве случаев являются достаточными. На жильных, гнездовых и иных месторождениях, характеризующихся размерами рудных тел по простиранию в пределах десятков и первых сотен метров, неправильной формой и неравномерным оруденением, при детальном литохимическом поиске по вторичным ореолам целесообразно применение сети пробоотбора в масштабе 1 : 5000.

До постановки литохимических поисков производят предварительное геологическое обследование участка работ с целью выбора или уточнения целесообразного направления профилей поисковой сети. После получения результатов поисков такое же обоснование необходимо для определения мест сгущения точек пробоотбора и геологической оценки выявленных аномалий. Все геологические наблюдения и данные результатов литохимических поисков должны быть привлечены в свою очередь для уточнения геологической карты, используемой в качестве основы для поисков. При детальном литохимическом поиске необходимо составлять схематические геологические карты того же масштаба и ландшафтно-геохимические схемы масштаба 1 : 10 000 с последующим их уточнением в ходе работ.

### 3.2.2. Опытно-методические работы

Опытно-методические работы при проведении литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния имеют целью совершенствование методики таких поисков, повышение их достоверности, информативности и экономической эффективности. Эти работы могут предшествовать литохимическим поискам или осуществляться одновременно с ними, что должно быть определено на этапе проектирования в зависимости от состояния геохимической изученности района поисков.

Прежде всего, должны быть проведены опытно-методические работы, цель которых — обеспечить достоверность литохимического опробования, что достигается правильным выбором анализируемой фракции материала пробы, размеров сети опробования и глубины пробоотбора (представительного горизонта). Во вторую очередь проводятся опытно-методические работы, которые должны способствовать повышению эффективности интерпретации результатов литохимического опробования. Это достигается получением различных геохимических параметров, необходимых для оценки выявляемых геохимических аномалий (величины нормального фона и минимально-аномальных содержаний элементов-индикаторов, степени адекватности первичных и вторичных ореолов, геохимических параметров, определяющих глубину эрозионного среза литохимических ореолов по отношению к оруденению, величину прогнозных ресурсов оруденения).

Специальной задачей опытно-методических работ является установление целесообразности и методики комплексирования проектируемых на данной площади литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния с другими геохимическими и иными методами поисков.

Для решения задач опытно-методических работ используются ландшафтно-геохимические исследования и литохимическое опробование отдельных эталонных или сложных в ландшафтно-геохимическом или геологическом отношении участков территории поисков. Ввиду относительно высокой стоимости опытно-методических работ, как правило, следует ограничивать площади их проведения размерами, обеспечивающими решение поставленных задач в кратчайший срок.

Ландшафтно-геохимическое картирование при опытно-методических работах выполняется в случаях, когда неясно влияние ландшафтно-геохимических факторов на вторичные ореолы рассеяния.

Ландшафтно-геохимическое картирование проводится по маршрутам с расстоянием 1000—200 м в зависимости от сложности геологического и ландшафтно-геохимического строения участка работ. Частота точек наблюдения по маршруту зависит от частоты смены элементарных ландшафтов. В каждом элементарном ландшафте должны быть 1—2 точки наблюдения и пройден 1 шурф на глубину до 2,0—2,5 м для выявления оптимального горизонта отбора литохимических проб путем изучения и опробования отдельных горизонтов почвенного профиля, современной коры выветривания и континентальных отложений. Опробуются также все водопроявления и изучается растительный покров с определением содержания элементов-индикаторов оруденения в различных видах и частях растений.

Программой опытно-методических работ при литохимических поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния целесообразно предусматривать решение следующих основных вопросов.

1. Характер развития вторичных остаточных ореолов рассеяния по вертикальному разрезу рыхлых образований, их форма, смещение



на горных склонах, изменение параметров ореола с глубиной ( $M$ ,  $\sigma$ ,  $k$  и др.).

2. Наличие вторичных наложенных литохимических ореолов рассеяния рудных и сопутствующих им элементов на поверхности дальнепринесенных отложений над месторождениями разного масштаба крупности в данных геологических и ландшафтно-геохимических условиях, характер развития этих наложенных ореолов по вертикальному разрезу чехла в зависимости от его мощности, литологического состава отложений и особенностей состава оруденения.

3. Определение величин местных коэффициентов пропорциональности  $k$ , который может быть больше или меньше 1,0 между площадной продуктивностью литохимических потоков рассеяния  $P$ ,  $m^2 \%$  и продуктивностью вторичных остаточных ореолов рассеяния  $P^1$ ,  $m^2 \%$ , развитых в том же бассейне денудации, для разных рудных элементов и в различных условиях.

4. Оценка средних величин местных коэффициентов остаточной продуктивности вторичных ореолов рассеяния и коэффициентов гипергенного рассеяния для разных рудных элементов и в различных ландшафтно-геохимических условиях.

5. Возможность оценки уровня эрозионного среза оруденения по вторичным ореолам рассеяния, уточнение оценок прогнозных ресурсов металла по параметрам литохимических потоков и ореолов рассеяния и сопоставление этих оценок с цифрами разведанных запасов и т. п.

Изучение вторичных ореолов требует опробования рыхлых отложений как в плане поверхности, так и по вертикальным разрезам. Эти разрезы закладываются по направлению уклона рельефа, а при отсутствии уклона — вкост простирания рудных тел, с проходкой горных выработок с интервалом 10—20 м на полную мощность рыхлых отложений и отбором проб по вертикали с интервалом 10—20 см в горных выработках и не более 0,5—1 м в буровых скважинах. Разрезы следует начинать несколько выше рудных тел и продолжать вниз по уклону до окончания ореола рассеяния (в случае дефлюкционных рыхлых отложений — до подножия склонов).

Потоки рассеяния изучаются по направлению переноса материала с расчетом прослеживания полной длины потока рассеяния. Отбор проб производится на поверхности или, если имеются основания полагать, что опробование на глубине дает лучшие результаты, на двух или нескольких отметках до глубины 0,3—0,5 м.

Оптимальные размеры и число участков опытно-методического литохимического опробования определяются природными условиями района работ, масштабами и задачами проектируемых литохимических поисков на определенной стадии или подстадии геологоразведочного процесса. Объем опытно-методического литохимического опробования, как правило, не должен превышать 10 % от объема литохимического опробования проектируемых литохимических поисков. Затраты

на опытно-методические работы (полевой и камеральный периоды) определяются прямым сметным расчетом.

### 3.2.3. Отбор проб

При минимальных объеме и массе литохимическая проба должна достоверно отображать среднее содержание химических элементов на участке ее отбора. Пробы отбираются из наиболее представительного горизонта развития вторичных ореолов, но при этом глубина, с которой производят отбор проб, должна быть по возможности минимальной, обеспечивающей высокую экономическую производительность литохимических поисков без ущерба для их эффективности.

При литохимических поисках по потокам рассеяния в пробу отбирается илесто-глинистая или песчанистая фракция аллювиальных отложений с поверхности либо с глубин до 60 см и более в пределах сухой части русла временного или постоянного водотока, либо у его дна в зависимости от местных природных условий, что определяется опытно-методическими работами.

Широкие заболоченные долины с неясно выраженным руслом следует опробовать двумя параллельными маршрутами по бортам. При этом по каждому из маршрутов одновременно опробуют все боковые притоки и конусы выноса.

При литохимических поисках по открытым остаточным ореолам рассеяния в пробу должна быть отобрана мелкая песчано-глинистая фракция аллювио-делювиальных образований с глубины 15—20 см под растительным слоем.

В районах преобладания ослабленных у поверхности и погребенных вторичных остаточных ореолов рассеяния пробы следует отбирать из горизонта надежного и максимально широкого их развития (представительного горизонта). В складчатых районах гумидной зоны с мощным покровом элювио-делювиальных образований при замедленной денудации представительный горизонт может, в частности, совпадать с верхним гумусированным горизонтом почвенного профиля (открытые ореолы) или иллювиальным горизонтом на глубине 0,5—0,8 м от поверхности (закрытые, выщелоченные у поверхности ореолы). Если в условиях гумидной зоны часть наиболее легко мигрирующих элементов выщелочена, а другая часть элементов, устойчивая к процессам выщелачивания, образует открытые ореолы, то глубина опробования должна соответствовать глубине представительного горизонта элементов, являющихся главным объектом поисков.

Следует учитывать, что образование открытых, т. е. развитых на поверхности, вторичных ореолов рассеяния в первую очередь определяется не мощностью рыхлого покрова, а его генезисом. Рыхлые образования элювио-делювиального генезиса любой мощности (современные или древние коры выветривания), развитые на поверхности рудовмещающих пород, не являются помехой для проведения литохимических поисков: вторичные остаточные ореолы рассеяния обнаружи-

наются в них непосредственно на поверхности или небольшой глубине (0,5—1,2 м). Напротив, аллохтонные (дальнеприносные) отложения даже небольшой мощности могут экранировать вторичные остаточные ореолы рассеяния.

При литохимических поисках по вторичным наложенным ореолам рассеяния в закрытых рудных районах пробоботбор ведется с глубины, установленной и обоснованной опытно-методическими работами.

В условиях аккумулятивных равнин с покровом аллохтонных аллювиально-пролювиальных, эоловых, озерно-лагунных, морских, ледниковых и других дальнеприносных отложений при поисках по погребенным остаточным ореолам рассеяния глубина представительного горизонта соответствует полной мощности молодых осадков, перекрывающих рудоносные формации, и совпадает с глубиной кровли древней коры выветривания. Глубинные литохимические поиски по вторичным остаточным ореолам рассеяния в таких районах могут быть произведены только после районирования территории с учетом геолого-структурного положения, мощности и состава перекрывающих отложений. Пробоботбор на земной поверхности в таких районах не проводится.

Глубинные литохимические поиски по погребенным остаточным ореолам рассеяния проводят путем опробования керна буровых скважин на глубине представительного горизонта. Их выполняют, как правило, только на особо перспективных площадях. В пределах территории, выделенной под глубинные поиски, целесообразно первоначально разредить сеть пробоботбора, а иногда и временно исключить из контура буровых работ участки с особенно большой глубиной залегания представительного горизонта впредь до получения результатов по остальной части территории.

Отбор проб с глубины до 25—40 см из колушей производят с помощью лопаты, тяпки или легкой двусторонней кайлы-мотыги саперного типа. При глубине пробоботбора 0,5—1,0 м наряду с колушами используют ручные и мотобуры, буры и специальные пробоботборники, при глубине от 2—3 до 20—50 м применяют вибрационное, колонковое и шнековое бурение, от 50 до 100—150 м — самоходные установки колонкового бурения с гидровыносом керна. В состав работ при этом входит: 1) достижение тем или иным орудием проходки необходимой глубины пробоботбора; 2) взятие пробы; 3) сокращение пробы до достаточной массы; 4) упаковка пробы; 5) документация опробования в полевых дневниках и журналах; 6) укладка пробы в упаковочную тару.

Масса отбираемой пробы должна обеспечить получение из нее при последующей обработке выхода заданной фракции в количестве не менее 25 г, а при поисках по наложенным ореолам, золотометрических съемках и в других необходимых случаях — не менее 100 г.

Пробы отбирают в мешочки размером 10—20 см<sup>2</sup> из светлой прочной материи с пришитыми к ним в верхней половине завязками. На нижней половине мешочка заранее должен быть крупно написан порядковый номер спиртовым фломастером, а лучше типографской

краской. В каждой партии (отряде) не должно быть одновременно двух мешочков, имеющих одинаковый порядковый номер. Не рекомендуется применение мешочков без номеров и использование для написания адреса пробы бумажных этикеток из-за их непрочности.

Отбор проб по профилю следует производить в порядке возрастающей нумерации мешочков в строгой последовательности. Перед выходом на работу отряд получает от руководителя работ мешочки, подобранные в порядке номеров пачками по 100 шт. в каждой, в количестве, заведомо превышающем возможную дневную выработку отряда. При отборе проб техник должен периодически сверять записи в полевой книжке с номером мешочка и номером пикета. Собранные пробы ежедневно необходимо доставлять в лагерь партии, где производят их обработку. Оставление проб на профиле до следующего дня недопустимо.

Полевую документацию пробоотбора следует производить в стандартной полевой книжке обязательно одновременно с отбором проб. Полевая книжка является основным документом.

Одновременно с отбором проб исполнитель ведет в полевой книжке абрис профиля (кроки), отмечая элементы ситуации, определяющие местоположение точек отбора проб, геологическую обстановку и геоморфологические особенности местности. При поисках по потокам рассеяния основой абриса служит схема местной гидросети, в случае поисков по прямолинейным маршрутам — линия профиля, дополненная наблюдениями в стороне на половину расстояния между профилями или в пределах видимости. В абрис заносят дороги, речки и другие водотоки, горные выработки, особенности рельефа, элементы залегания, контакты и состав горных пород, тектонические нарушения, мощность и состав опробуемых рыхлых отложений, а также места находок рудных свалов, наблюдаемые или возможные геохимические барьеры, линии контактов различных геохимических ландшафтов и другие геолого-геохимические особенности территории, наблюдаемые по линии профиля литохимических поисков.

Абрис ведут с использованием GPS-приборов в масштабе, при котором ширина одной строчки в полевой книжке равна шагу по профилю. Привязку точек отбора проб к элементам ситуации производят с помощью горного компаса и определения расстояний по GPS; на абрисе указывают положение магнитного меридиана. Дополнительные записи, поясняющие абрис, заносят в полевую книжку в форме примечания. При глубинных поисках каждую отбираемую пробу контролирует техник с точки зрения ее принадлежности к представительному горизонту для проведения поисков. В конце рабочего дня техник обязан записать итоговое число проб и подписать полевую книжку, свидетельствуя своей подписью правильность сделанных в ней записей.

Все записи в полевой книжке должны вестись простым карандашом. Записи пастой, гелевой ручкой, фломастерами, маркерами, тушью

и чернилами запрещаются. Зарисовки по абрису могут выполняться не химическими цветными карандашами.

В полевых книжках категорически запрещаются всякого рода подчистки и стирания резинкой сделанных записей, заклеивание или вырывание страниц. Вычеркивание записи разрешается только тонкой чертой с подписью ответственного исполнителя работ.

Все записи, сделанные в поле, руководитель задания (ведущий геолог) должен систематически проверять и подписывать, а также контролировать не реже одного раза в неделю правильность отбора проб непосредственно на местности с документацией такого контроля в специальной или личной полевой книжке.

Пройденные за день маршруты пробоотбора записывают в ноутбук, а также наносят на сводную карту (схему) с указанием даты и номера полевой книжки. При поисках по потокам рассеяния сводная схема должна выполняться по подробной выкопировке с топокарты временной и постоянной гидросети участка.

Если в партии работает несколько отрядов по отбору проб, целесообразно такие схемы наносить различными шрифтами различных цветов, присвоив каждому отряду свой цвет, что исключает случайные пропуски отрезков профилей и облегчает обоснованное размещение повторно-контрольных наблюдений. Заполненные целиком полевые книжки снабжают оглавлением. На последней странице делают заверенную печатью партии запись о числе листов в книжке. Заполненные полевые книжки оцифровываются и подлежат хранению наравне с основными фактическими материалами геологоразведочных работ.

Обнаруженные в процессе литохимических поисков рудные свалы, коренные выходы оруденения и древние отвалы подвергаются штупфному и сколковому опробованию. Пробу снабжают подробной этикеткой с указанием наименования партии, места и даты взятия пробы, а также ее минерального состава. Для отбора проб нужно иметь в резерве несколько мешочков, которые рекомендуют делать из материала другого цвета в отличие от мешочков для проб литохимических поисков. Подробную запись о взятии штупфной пробы заносят в полевую книжку, а место взятия пробы отмечают в абрисе.

При опробовании участков, на которых были проведены разведочные работы (канавы, шурфы и т. п.), следует обращать особое внимание на отбор проб из природных, не нарушенных и не загрязненных отвалами рыхлых отложений. В случае невозможности удовлетворения этого условия участок профиля (или русла), занятый отвалами, хвостами обогатительной фабрики и т. п., следует исключать из площади поисков с отметкой об этом в полевой книжке и абрисе.

При наличии препятствий для отбора проб в намеченной точке можно отступить от нее по профилю на величину до 1/10 расстояния между точками и в сторону от профиля до 1/10 расстояния между профилями с отметкой об этом в полевой книжке.

### 3.2.4. Обработка проб

Обработку проб необходимо производить в строгом соответствии с единой технологической схемой, определяющей состав работ по обработке литохимических проб (рис. 30). Все операции по обработке проб, как правило, производятся на базе партии (отряда) в кратчайший срок после их отбора.

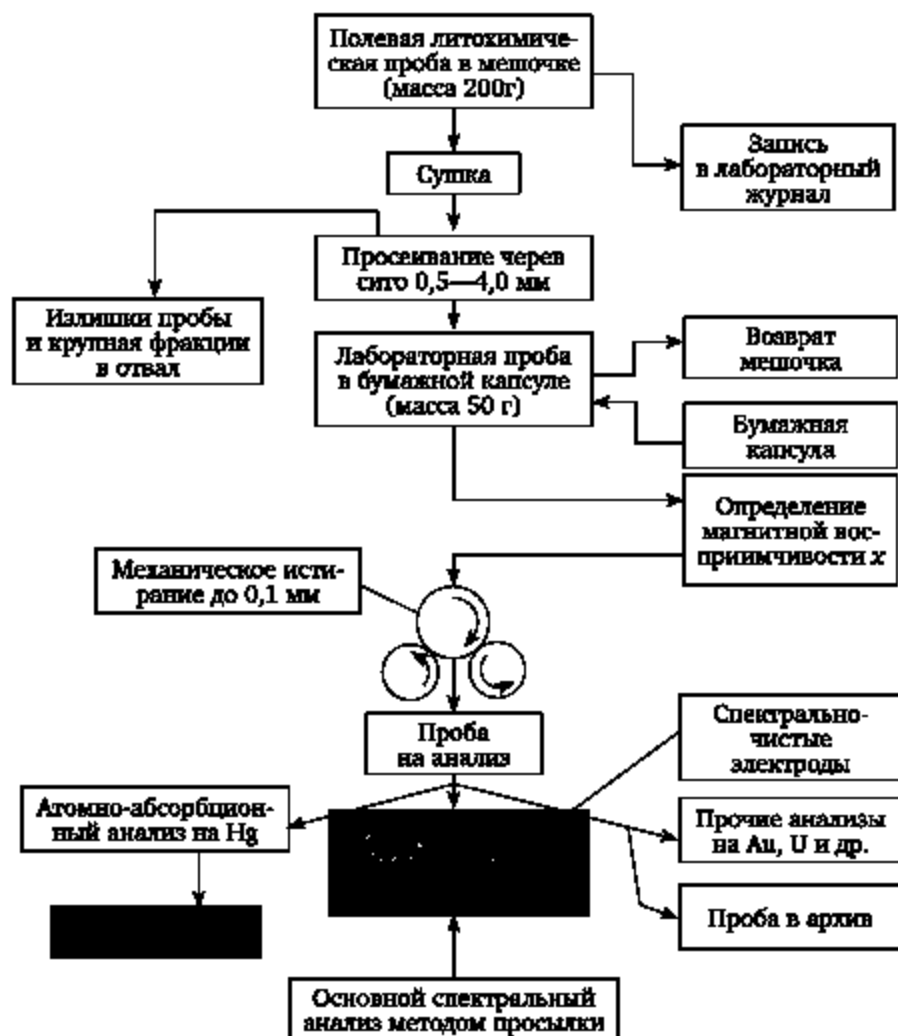


Рис. 30. Схема обработки и анализа литохимической пробы

При значительном удалении базы партии и лаборатории от места отбора проб и возникающих затруднениях с их доставкой первичная обработка проб должна быть организована в лагере полевого отряда до стадии, предшествующей их растиранию.

Обработку проб необходимо производить в порядке последовательности расположения точек отбора проб на профиле с соблюдением

условий, исключая попадание материала одной пробы в другую («заражения»).

Поступающие в лабораторию для обработки и анализа пробы лаборант обязан принять по счету согласно записям в полевых книжках или сопроводительных описях, указать в них интервал присвоенных пробам лабораторных номеров и расписаться в их получении. После повторной сверки этой записи с номерами проб в лабораторном журнале и полевой книжке последнюю возвращают технику.

Перед началом обработки все влажные пробы должны быть доведены до воздушно-сухого состояния посредством сушки на солнце (летом), в сушильных шкафах или над очагом (в остальное время года). Глинистые пробы в процессе сушки рекомендуется периодически разминать во избежание их ссыхания в твердые комки. Обработка влажных проб запрещается. Высушенные пробы укладывают в деревянные лотки по возрастающей нумерации мешочков.

Просеивание проб следует производить после дробления ссохшихся комков через сито из стальной проволоки с диаметром отверстий примерно 0,5—1,0 мм (или с другим диаметром, обосновано выбранным в результате опытных исследований). Применение сит из бронзовой, латунной или луженой сетки, а также сит, имеющих пайки, не разрешается.

Просеивать нужно на чистый лист стекла, кровельного железа или алюминия. Подлежащую анализу фракцию пробы переносят в бумажную капсулу, на которой заранее надписывают чернилами лабораторный номер пробы и соответствующий номер мешочка (или номер профиля и пикета). Окончательная масса пробы должна быть около 25 г или 100 г.

В процессе просеивания пробы во избежание путаницы пустой мешочек, содержащий данную пробу, должен лежать на рабочем месте сотрудника, занятого обработкой пробы, до окончания этой операции и перехода к обработке следующей пробы.

Пробы, находящиеся в бумажных капсулах, до завершения обработки и анализа всей серии следует сохранять в порядке номеров в деревянных стандартных лотках, устанавливаемых в стеллажах. На бумажной капсуле наряду с лабораторным номером пробы необходимо указывать название партии и год производства работ. Для этого могут быть использованы заранее заготовленные штампы.

Растирание проб следует производить с помощью механических растирочных станков или в исключительных случаях вручную в фарфоровых или агатовых ступках. В случае механического растирания проб в стальных стаканах до производства этой операции в случае необходимости следует определить магнитную восприимчивость проб.

Растирание проб необходимо производить до состояния пудры, что обычно проверяют на ощупь. Растирание проводят в порядке последовательности расположения проб на профиле. Перед высыпанием в стакан (ступку) каждой следующей пробы внутренность стакана (ступки),

а также стальные стержни (или пестик) тщательно очищают от остатков предыдущей пробы. Очистку стаканов выполняют с помощью стальных ершей, вращаемых электромотором небольшой мощности или путем продувки сжатым воздухом.

Освободившиеся от проб мешочки должны быть тщательно очищены от остатков проб и пыли, подобраны по порядку номеров и переданы для повторного использования. После пятикратного использования мешочки необходимо стирать, исключая пробы с заведомо рудных участков, мешочки из-под которых стирают сразу. Отдельные пришедшие в негодность мешочки перед заменой их новыми под теми же порядковыми номерами должны быть уничтожены.

Поступающие на анализ штучные и бороздовые пробы должны проходить обработку и сокращение по специальным технологическим схемам, утвержденным начальником партии. Обработку таких проб не следует выполнять в помещении, где производят обработку геохимических проб, во избежание «заражения» последних. Запрещается применение для обработки геохимических проб сит, ступок и мешочков, которые были использованы при обработке и хранении штучных и бороздовых проб или при приготовлении эталонов.

Заведующий лабораторией или начальник партии (отряда) обязан систематически производить качественную и количественную проверки обработанных проб, а также контролировать соответствие выполненных работ принятым технологическим схемам.

Помещение растирочного цеха должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией и устройствами, обеспечивающими защиту работающих от пыли. Лица, постоянно занятые работой в растирочном цехе, должны ежегодно проходить профилактический медицинский осмотр.

### 3.2.5. Анализ проб

Пробы, отобранные при литохимических поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния, подлежат анализу на химические элементы, перечень которых зависит от геолого-геохимических особенностей и металлогении территории поисков, назначения и содержания работ соответствующей стадии геологоразведочного процесса, а также от требований к оперативности и экономичности получения информации.

При работах на первой стадии этого процесса, а также, если в данном районе литохимические поиски производят впервые, обязательному определению в пробах спектральным методом (способом просыпки) подлежат следующие химические элементы (в порядке их атомных номеров): бериллий, бор, фосфор, титан, ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, стронций, цирконий, ниобий, молибден, серебро, олово, сурьма, барий, лантан, вольфрам, свинец, висмут. Кроме того, каждый раз особо должна быть рассмотрена целесообразность применения специальных методик анализа



на фтор, золото, ртуть, уран, литий, рубидий, цезий, калий, натрий и некоторые другие элементы.

Перечень химических элементов, которые должны быть определены при литохимических поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния на второй стадии геологоразведочных работ, уточняются в зависимости от имеющихся геологических данных и новейших геохимических представлений.

При литохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния на подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ перечень химических элементов, подлежащих обязательному определению в пробах, может быть изменен с учетом металлогенических особенностей изучаемой территории и полученных результатов работ предыдущих стадий и подстадий.

Независимо от масштаба проводимых литохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния в пробах, показавших аномально высокие содержания тех или иных элементов-индикаторов, должно быть определено содержание редких и рассеянных элементов, являющихся характерными спутниками этих металлов.

## Глава 4

# ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

### 4.1. Условия применения

Сущность гидрохимических методов поисков заключается в изучении распределения химических элементов в подземных и поверхностных водах путем их систематического опробования. Этот метод предпочтительнее применять в районах с большим количеством водоисточников, т. е. в районах избыточного увлажнения и в более влажной части районов неустойчивого увлажнения. В аридных районах поиски гидрохимическим методом затруднены. Наиболее эффективно применение гидрохимического метода для поисков месторождений, руды которых легко окисляются с образованием легкорастворимых соединений. К числу их относятся в первую очередь месторождения сульфидных руд. Вместе с тем доказана возможность применения этого метода для выявления не сульфидных месторождений (бора, бериллия, лития и др.).

Применение гидрохимического метода наиболее целесообразно при поисках:

- 1) рудных месторождений, погребенных под чехлом дальнепринесенных отложений мощностью более 10 м, особенно на участках, где отсутствуют древние коры выветривания;
- 2) рудных тел в труднодоступных высокогорных условиях;
- 3) рудных тел глубоко погребенных под покровом ледниковых и других рыхлых образований в районах развития многолетней мерзлоты, в заболоченных и занесенных районах;
- 4) глубоко залегающих (ниже местных базисов эрозии) рудных тел в платформенных областях;
- 5) глубоко погребенных рудоконтролирующих тектонических нарушений, интрузий, гидротермально-измененных пород и толщи пород, обогащенных рудными компонентами.

Во всех случаях площадным гидрохимическим поискам предшествует анализ геологических и ландшафтно-геохимических особенностей территории, определяющих условия и методику их проведения, а при необходимости и опытно-методические работы.

Применение гидрохимического метода поисков наиболее целесообразно на стадиях «Региональные геолого-съёмочные и геофизические работы» и «Поиски месторождений полезных ископаемых». На стадии «Разведка рудных месторождений» гидрохимический метод может применяться для решения отдельных частных задач при уточнении пер-

спектив глубоких горизонтов и флангов разведываемых рудных полей, путем опробования всех возможных проявлений природных вод.

На подстадии «Региональные геофизические работы масштаба 1 : 200 000» гидрохимическое опробование водоносчиков может способствовать повышению полноты и достоверности геологической интерпретации геофизических данных. В ряде случаев эффективно их комплексирование с атмосферическим методом. Число пунктов гидрохимического опробования на этой подстадии не регламентируется.

Главной задачей гидрохимических поисков на подстадии «Региональная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 с составлением региональных прогнозных карт» является выявление перспективных площадей для постановки более детальных работ. Гидрохимические поиски на этой подстадии проводятся в масштабе 1:200 000, как правило, в тесном комплексе со шиховым и литохимическим опробованием по потокам рассеяния, а также геофизическими исследованиями. В первую очередь на каждом опробуемом водопункте производят определение таких гидрохимических показателей, как pH, SO<sub>4</sub>, сумма металлов, HCO<sub>3</sub>, Fe<sub>обм.</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub>. В лабораторных условиях концентраты проб воды анализируются приближенно-количественным спектральным анализом на широкий комплекс элементов-индикаторов оруденения. Число точек опробования на 1 км<sup>2</sup> на данной подстадии регламентируется в табл. 14.

На подстадии «Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с составлением крупномасштабных карт» задачей гидрохимических поисков является обнаружение водных ореолов рассеяния рудных месторождений. Работы ограничиваются площадями, выделенными на предыдущей подстадии в качестве перспективных, и проводятся в масштабе 1 : 50 000 или 1 : 25 000 в зависимости от сложности геологического строения участков работ.

Минимальное число опробуемых водопунктов при площадных гидрохимических поисках определенного масштаба зависит от сложности геологического строения и ландшафтно-геохимических условий и определяется по табл. 14.

Таблица 14

Густота сети опробования природных вод при гидрохимических поисках различного масштабов

Масштаб	Число пунктов опробования на 1 км <sup>2</sup> в зависимости от сложности геологического строения и ландшафтно-геохимических условий		
	простые	средние	сложные
1 : 200 000	0,1	0,15	0,2—0,4
1 : 50 000	1,1	1,7	1,5—2,0
1 : 25 000	2,3	3,4	4—5
1 : 10 000	Опробуются все водопункты при расстоянии между ними не более 100 м, если это условие невыполнимо, поиски данного масштаба проводиться не могут		

При отсутствии необходимого числа естественных водопроявлений на поверхности и при неглубоком расположении уровня подземных вод (до 1 м) возможно их искусственное вскрытие. Отобранные пробы воды и их концентраты с помощью различных сорбентов и соосаждителей спектральным методом анализируются на основные элементы-индикаторы, входящие в поисковую гидрохимическую ассоциацию, выделенную как наиболее информативную при опытно-методических работах.

На всех стадиях и подстадиях гидрохимические поиски целесообразно сочетать с исследованиями микрокомпонентного состава минеральных, особенно углекислых термальных вод, приуроченных к глубоким тектоническим нарушениям. Эти воды, как правило, обогащены разнообразным комплексом легколетучих микрокомпонентов (мышьяк, бор, фтор, ртуть, литий, рубидий, цезий и др.).

На подстадии «Глубинное геологическое картирование с прогнозированием полезных ископаемых» гидрохимические работы являются обязательными в общем комплексе геохимических и геофизических исследований. Опробованию подвергаются воды всех буровых скважин на протяжении всего периода их бурения. Подлежат обязательному гидрохимическому опробованию также все источники подземных вод.

Детальное гидрохимическое опробование масштаба 1 : 10 000 имеет преимущественное значение в закрытых районах с мощным чехлом экранирующих горных пород, снижающих эффективность проведения других видов геохимических поисков. Комплекс аналитических определений и операций остается тем же, что и для масштаба 1 : 25 000, но преимущественное внимание уделяется компонентам, являющимся поисковыми признаками, прежде всего этого конкретного типа оруденения.

При невозможности обеспечить необходимую густоту сети опробования как в целом на площади поисков, так и на отдельных ее участках, меняется масштаб поисков, и на планах гидрохимического опробования соответственно выделяются площади проведения гидрохимического опробования различных масштабов.

В случаях когда для достижения необходимой густоты гидрохимического опробования необходима проходка шурфов или буровых скважин, экономическая эффективность таких работ должна быть обоснована соответствующими расчетами и предваряться специальными опытно-методическими работами на ограниченной площади.

На подстадии «Детальные поиски с определением прогнозных ресурсов на конкретных участках» площадные гидрохимические поиски проводятся в масштабе 1 : 10 000 при наличии достаточного числа водопунктов и доказанном преимуществе гидрохимического метода для конкретных участков поисков. В большинстве случаев гидрохимические работы на данной подстадии являются только вспомогательными и дополнительными при проведении литохимических поисков масштаба 1 : 10 000 — 1 : 5000. Результаты гидрохимического опробования данной подстадии используются главным образом при интерпретации

литохимических аномалий, связанных со скрытым оруденением, или определении типа минерализации рудоносных структур, выявленных геофизическими работами.

На подстадии «Поисково-оценочные работы с оценкой выявленных проявлений» площадные гидрохимические поиски не проводятся. Гидрохимическое опробование на данной подстадии используется иногда для дополнения материалов изучения первичных литохимических ореолов в типе и частично в масштабе скрытого оруденения путем опробования трещинных вод, поступающих с глубоких горизонтов или флангов оцениваемого рудопроявления. Для той же цели гидрохимический метод может применяться и на всех стадиях разведки месторождений полезных ископаемых.

## 4.2. Опытные-методические работы

Опытные-методические работы должны предшествовать проведению гидрохимических работ в производственных масштабах во всех случаях, когда отсутствуют достоверные данные для обоснованного выбора методики таких работ и нет достаточных материалов об условиях и эффективности их применения. Опытные-методические работы следует продолжать и в ходе производственных гидрохимических поисков в целях совершенствования методики их проведения.

Опытные-методические гидрохимические работы должны базироваться на материалах районирования территории по условиям проведения геохимических поисков, включающих необходимые данные о ее геологических, гидрогеологических и ландшафтно-геохимических особенностях.

Первоочередными задачами опытных-методических гидрохимических работ являются:

- 1) определение состава, размеров и контрастности водных ореолов известных месторождений и рудопроявлений;
- 2) выяснение взаимосвязи водных и литохимических ореолов известных месторождений;
- 3) определение комплекса гидрохимических поисковых признаков искомого типа месторождений, а также значений фоновых и аномальных концентраций основных элементов-индикаторов в водных ореолах и потоках рассеяния;
- 4) выяснение зональности водных ореолов;
- 5) определение типа гидрохимических аномалий, не связанных с рудными телами;
- 6) выбор местоположения и необходимого числа водопунктов для проведения режимных наблюдений;
- 7) выбор оптимальной сети опробования;
- 8) установление наиболее информативных водоносных горизонтов опробования;
- 9) определение режима водных ореолов.

### 4.3. Отбор проб

Отбор проб воды в емкости, с целью отправки ее в стационарные (полустационарные) лаборатории для определения микроэлементов, производится в основном при работах крупных (1 : 10 000 и крупнее) масштабов или опытно-методических работах. При работах в средних и особенно мелких масштабах основное внимание уделяется определению компонентов непосредственно у источника или в полевом лагере, а вместо проб воды чаще отбираются концентраты на основах модифицированных углей, сульфида кадмия или гидроокиси алюминия. В этих масштабах в емкости с целью отправки в лабораторию, как правило, отбираются только пробы воды на общий анализ.

Отбор гидрохимических проб следует производить:

- а) из источников подаваемых вод;
- б) из поверхностных вод (реки, ручьи, болота, мочажины, озера, пруды);
- в) из скважин, колодцев, канав, шурфов, штолен, шахт и других горных выработок.

При опробовании следует учитывать генетическую природу исследуемых вод (грунтово-трещинные, грунтово-поровые воды рыхлых отложений, пластово-трещинные, трещинно-жильное, рудничные и др.). Из поверхностных потоков наибольший интерес представляют те, в питании которых ведущая роль принадлежит подземным водам. Максимальную информативность часто имеют пробы из поверхностных потоков, образующихся на участках выклинивания грунтовых вод, где сохраняются многие их гидрохимические характеристики. При гидрохимическом опробовании болот наиболее эффективные результаты дает отбор проб из луговых (низинных) разновидностей, а также из болот и мочажин, расположенных на склонах.

Отбор проб производят в стеклянные или пластмассовые (полиэтиленовые, хлорвиниловые и пр.) бутылки в количестве, необходимом для выполнения нужных определений с требуемой чувствительностью. Использование посуды, содержащей оцинкованные или медные детали, запрещается. Основным условием, которое необходимо соблюдать при отборе проб воды, являются чистота посуды, пробок и герметичность укупорки.

Стеклянную посуду для отбора проб воды моют 5 %-ным раствором соляной кислоты, затем ополаскивают сначала простой, а потом не менее двух раз дистиллированной водой и закрывают хорошо подогнанной корковой или резиновой пробкой. Корковые пробки перед употреблением необходимо прокипятить. Резиновые пробки предварительно обрабатывают двукратным кипячением в 5 %-ной соляной кислоте в течение 20—30 мин (каждый раз в новой порции кислоты) и последующим кипячением в 5 %-ном растворе соды в течение 5—10 мин, затем промывают дистиллированной водой.

Перед взятием пробы воды бутылки и пробки необходимо не менее двух раз сполоснуть водой, отбираемой на анализ. При отборе пробы нужно следить за тем, чтобы в нее не попали посторонние частицы (ил, растительность и т. д.). Пробы воды, которые берут для определения меди, свинца, цинка и других металлов, непосредственно на месте отбора после определения рН подкисляют соляной кислотой, проверенной на безметалльность, из расчета 3 мл соляной кислоты на 1 л воды. Пробы на Ag и Hg подкисляют таким же образом серной (1 : 1) кислотой из расчета 3 мл серной кислоты на 1 л воды. Пробы воды на сухой остаток для спектральных определений также подкисляют безметалльной серной кислотой.

Заливать пробку парафином или другими веществами не рекомендуется ввиду возможных загрязнений пробы при вскрытии бутылки. Заливку пробок допускают только для проб с газующей водой, предназначенных для отправки в стационарную лабораторию. На каждую пробу составляют этикетку, которую привязывают к горлышку бутылки или полиэтиленовой фляжки.

Отбор проб из источников производится в местах наиболее сосредоточенного тока воды либо в бутылку непосредственно, либо с помощью фарфоровой или эмалированной кружки. Если перед отбором пробы производилась расчистка источника, пробу следует брать только после полного осветления воды, а при устойчивой мути необходимо ее фильтровать.

В процессе водоотбора проводят следующие наблюдения и измерения:

- а) устанавливается геоморфологическое положение источника;
- б) описывается литологический состав и характер трещиноватости отложений, к которым приурочен выход подземных вод; обращается особое внимание на участки с рудной минерализацией;
- в) определяются тип водопроявления и, по возможности, питающий его водоносный горизонт;
- г) описываются условия выхода воды на поверхность;
- д) измеряются дебит источника, температура воды и воздуха;
- е) описываются физические свойства воды, отмечается наличие и примерный состав спонтанных газов;
- ж) описываются осадки из источника и отбираются их образцы;
- з) при наличии каптажа производится его описание; особое внимание обращают на материалы, применяемые для каптажа, в целях определения возможности заражения вод его материалами.

Отбор проб из поверхностных потоков производят в местах наиболее спокойного течения, на участках возможного выклинивания подземных вод.

В небольших водоемах отбирают две-три пробы. Крупные пруды и озера характеризуются либо единичными пробами, либо серией проб, отобранных по профилям. Очаги разгрузки подземных вод выявляются по температуре и изменениям рН. Небольшие болота характеризуются

единичными пробами. В болотах, имеющих широкое площадное распространение, пробы отбирают по сетке, соответствующей детальности поисков. При выборе пунктов отбора проб отдают предпочтение местам возможного притока подземных вод. Отбор проб из заболоченных участков ведут из наиболее глубоких мочажин, с тем чтобы не захватить пленок, плавающих на поверхности, и ила со дна.

При опробовании поверхностных вод производят: а) описание гидрогеологических условий района; б) измерение расходов потоков и температуры воды в них; в) описание физических свойств отобранной воды.

При гидрохимическом опробовании буровых скважин для установления представительной глубины отбора проб воды и выявления основных водоносных горизонтов или обводненных трещиноватых зон производят поинтервальное опробование наиболее глубоких скважин. Отбор проб из самоизливающихся скважин проводят непосредственно из струи. Если такие скважины оборудованы трубопроводом с краном, то перед взятием пробы необходимо выпустить воду из трубопровода.

В случае отсутствия самоизлива необходима прокачка скважины. Откачку из скважин при гидрохимических поисках производят для того, чтобы удалить из скважины промывочную жидкость и получить незагрязненную подземную воду. От обычных гидрогеологических откачек эти откачки отличаются кратковременностью. Целесообразное время откачки зависит главным образом от водоотдачи вскрытого водоносного горизонта, а также интенсивности откачки и контролируется графиком содержания одного или нескольких анионов. Графики составляют по данным химического анализа проб воды, отбираемых во время откачки. Графики изменения химического состава вод необходимо рассматривать совместно с другими гидрогеологическими графиками (расхода, уровня и т. д.). Отбор проб из не самоизливающихся скважин следует производить антикоррозийными и герметичными пробоотборниками.

Полный комплекс наблюдений, необходимых для интерпретации данных гидрохимического опробования буровых скважин, включает:

а) характеристику вскрываемого скважиной геологического разреза (по данным геологической документации);

б) измерение глубины установившегося уровня воды;

в) измерение дебита воды (в случае самоизлива и при откачках);

г) измерение температуры вод;

д) установление конструкции скважины (наличие обсадных труб, закрепленные ими интервалы) и технологии бурения (применение глинистого раствора или чистой воды для промывки);

е) обследование насосного оборудования с целью выявления возможности заражения вод рудными элементами, определяемыми при гидрохимических поисках;

ж) описание физических свойств воды.



По условиям отбора проб воды выделяют следующие типы колодцев: а) эксплуатирующиеся (с забором воды ведрами и пр.); б) не эксплуатирующиеся; в) оборудованные насосами.

Из эксплуатирующихся колодцев воду отбирают без предварительных откачек. Не эксплуатирующиеся колодцы опробуют только при невозможности использования для отбора проб других водопроявлений. В этих случаях их опробуют после предварительной откачки до полной смены воды колодца на свежую. При отборе воды из колодцев, оборудованных насосами, необходимо произвести смену воды в трубах. Отбор проб оцинкованными ведрами запрещается. Опробование колодцев сопровождают тем же комплексом наблюдений, что и опробование естественных источников подземных вод, дополняя описанием способа водозабора, глубины колодца, материала его крепления, метода отбора и установившегося уровня воды.

Отбор проб воды в подземных горных выработках на рудниках и разведываемых месторождениях можно производить из капелей, водопритоков, шпуров, опережающих скважин и других водопроявлений. Отбор проб из капелей производят с помощью стеклянной воронки и резинового шланга. Опробование остальных водопроявлений осуществляется аналогично опробованию водопроявлений на поверхности. Отбор проб воды из поверхностных горных выработок производят так же, как и из колодцев, с соблюдением необходимых предосторожностей против смешивания с поверхностной (дождевой) водой.

Первичными документами пробоотбора являются:

- а) записи в полевой книжке;
- б) топографические карты и маркшейдерские планы с нанесенными на них пунктами отбора проб и абрисы глазомерных съемок;
- в) паспорт на пробу.

Для районов с высокой интенсивностью водообмена и быстрым подъемом уровня грунтовых и поверхностных вод (горные районы гумидной зоны, районы многолетней мерзлоты и т. п.) концентрации компонентов, характеризующие гидрохимические поисковые признаки, могут значительно колебаться во времени. С целью определения этих колебаний и установления на этой основе оптимальных сроков опробования проводят режимные гидрохимические наблюдения, обычно в составе опытно-методических работ. В сеть режимных наблюдений включают пять-семь водопунктов (источники, ручьи, иногда скважины, штольни), характеризующих наиболее типичную гидрохимическую аномалию и участки вне влияния рудных тел. Гидрохимические режимные наблюдения должны охватывать весь период проведения гидрохимических поисков. В тех случаях, когда это возможно, следует организовать также наблюдения в течение всего календарного года. Опробование режимных точек проводят в соответствии с требованиями, предъявляемыми к опробованию водопунктов при гидрохимических поисках. По данным режимных наблюдений строят графики изменения концентраций компонентов во времени и вводят поправки

в фоновые и аномальные концентрации с учетом влияния гидрометеорологического фактора.

Пробы, предназначенные для отправки в стационарные лаборатории, хранят в прохладном помещении, защищенном от прямых солнечных лучей, герметически укупоренными. Для транспортировки проб в бутылках целесообразно использовать специальные ящики с гнездами и крышками, применяя для упаковки опилки, сено или другие материалы.

#### **4.4. Анализ проб**

Предварительное определение производительности, стоимости и необходимого для анализа и концентрирования объема воды позволяет оценить экономическую эффективность выбранного метода.

В целях исключения транспортировки, больших объемов воды в полевых условиях используются различные методы группового концентрирования проб воды с помощью разнообразных сорбентов неорганического и органического происхождения. Наиболее широкое распространение получили: метод соосаждения рудных элементов с гидроокисью алюминия в присутствии сернистого натрия, метод соосаждения с сульфидом кадмия в присутствии ионов окисного железа или диэтилдитиокарбоната натрия, метод сорбции на активированном угле, ионно-обменных смолах и других смешанных органоминеральных сорбентах-комплексообразователях.

## Глава 5

# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

### 5.1. Условия применения

Сущность биогеохимических методов поисков заключается в использовании в качестве поисковых признаков аномалий, выявляемых в результате опробования биологических объектов биосферы. Практическое значение для биогеохимических поисков в настоящее время имеет изучение геохимических аномалий элементов-индикаторов только в растениях, благодаря стабильному положению этих биообъектов на местности.

Применение биогеохимических методов поисков целесообразно только в таких ландшафтно-геохимических условиях, где этот метод имеет преимущества в сравнении с литохимическими поисками, что должно быть доказано в каждом конкретном районе опытно-методическими работами и расчетом экономической эффективности.

Важным условием применения биогеохимических методов поисков является опробование безбарьерных или практически безбарьерных, как правило, широко распространенных видов растений и их частей. Когда таких видов растений на площади поисков нет, допускается опробование объектов, концентрации элементов-индикаторов в которых превышают их минимально-аномальные значения в 10—30 раз.

Из числа равноценных по информативности биообъектов для опробования выбираются такие, которые обеспечивают большую глубину выявления оруденения. Это устанавливается с помощью специальных опытно-методических работ по определению глубинной информативности различных видов и частей растений.

В лесных ландшафтах Сибири наиболее информативными на большое число элементов являются корка различных видов березы, опробованные шишки сосны с лесного полога и внешние слои коры стволов различных видов лиственницы и кедра сибирского. Нижние части стеблей рододендрона даурского и таволги средней обеспечивают наибольшую глубину опробования закрытых территорий на молибден и рекомендуются для детальных поисков районов и участков, перспективных на этот элемент. Часто удовлетворительные результаты дает опробование надземных частей различных видов полыни. Это обеспечивает глубину опробования территорий: на полиметаллы, золото, медь, молибден и редкие элементы порядка 10—50 м, а в наи-

более благоприятных условиях свыше 100 м. Надземные части практически всех видов травянистых растений неинформативны на фтор, поэтому использование этого элемента в качестве индикатора флюоритовых, криолитовых и других фторосодержащих месторождений в степных ландшафтах практически невозможно. Как и при литохимических поисках, предпочтение при использовании элементов-индикаторов отдается тем из них, определение которых возможно методами экспрессного спектрального анализа.

Биогеохимические работы при поисках могут быть эффективны только при наличии неглубоких для питания растений минералогически благоприятных руд и их первичных или вторичных ореолов. Месторождения с редкими гнездами труднорастворимых в зоне гипергенеза минералов обычно отчетливыми биогеохимическими ореолами рассеяния не сопровождаются.

Применение биогеохимического метода при поисках может быть целесообразным в следующих районах, выделяемых путем анализа карт районирования территорий по применимости различных геохимических методов:

- площади развития зон окисления и кор выветривания с полностью выщелоченными с поверхности вторичными литохимическими ореолами рассеяния, характерными для элементов активных водных мигрантов в условиях современных или древних гумидных зон и замедленной денудации;

- площади неглубоко погребенных вторичных лито- и гидрохимических ореолов рассеяния при наличии покрова аллювиально-пролювиальных, ледниковых и других дальнеприносных отложений ограниченной мощности (2—10 м) в условиях гумидной и умеренно влажной зон, а также на протяженных склонах и в долинах с литохимическими ореолами, погребенными под склоновыми рыхлыми образованиями всех природных зон с растительным покровом;

- площади погребенных вторичных лито- и гидрохимических ореолов рассеяния при наличии покрова дальнеприносных, в том числе песчаных отложений эолового и древнеаллювиального происхождения умеренной мощности (до 30 м, иногда до 50—80 м), в условиях сосновых боров южной тайги, сухих степей, пустынь и полупустынь аридной зоны при наличии растений с глубоко проникающими корневыми системами;

- заболоченные территории при неглубоком (2—10 м) залегании рудомещающих горных пород, руд и их вторичных литохимических ореолов рассеяния, в том числе при наличии многолетней мерзлоты;

- площади развития крупноглыбовых курумных осыпей;

- площади развития растительного покрова, для которого доказано, что литохимические поиски требуют отбора проб на глубинах 1—5 м и более.

Кроме того, биогеохимическое опробование может быть эффективным в зимний период. Так, при промерзании болот их проходимость повышается, что облегчает проведение поисков.

Применение биогеохимических методов обычно нецелесообразно:

- в горных, активно денудированных районах любых климатических зон, а также в других районах, для которых характерны выходящие на поверхность первичные и вторичные литохимические ореолы;
- в районах, где месторождения полезных ископаемых и их закрытые лито-, гидро- и атмосферические ореолы рассеяния залегают на большой глубине, заведомо превышающей возможность их обнаружения по биогеохимическим ореолам рассеяния;
- на площадях, лишенных растительного покрова или видов растений, обеспечивающих проведение информативного биогеохимического опробования;
- при поисках руд, элементы-индикаторы которых входят в состав труднорастворимых крупных кристаллов, зерен или плотных агрегатов и недоступны корням растений.

Биогеохимический метод может применяться в комплексе с другими методами или самостоятельно на стадии региональных геолого-съёмочных и геофизических работ и на стадии поисков месторождений полезных ископаемых. Конкретные площади проведения биогеохимических работ определяются на основании районирования территории поисков по условиям применения геохимических методов.

На подстадии региональных геолого-геофизических работ масштаба 1 : 200 000 могут быть осуществлены только опытно-методические биогеохимические исследования.

На под стадии региональной геологической съёмки масштаба 1 : 200 000 с составлением региональных прогнозных карт биогеохимический метод должен применяться только на тех площадях, где доказано его преимущество в сравнении с литохимическими.

При проведении геологической съёмки масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с составлением крупномасштабных карт биогеохимическое опробование может осуществляться в комплексе с литохимическим.

На подстадии глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых биогеохимическое опробование может быть полезным главным образом при определении мест заложения буровых скважин и должно быть завершено до составления проекта буровых работ.

На стадии поисков месторождений полезных ископаемых площадное биогеохимическое опробование, как правило, должно проводиться только на подстадии общих поисков с выделением перспективных площадей и заключаться главным образом в детализации выявленных на предыдущей стадии биогеохимических аномалий. Однако если биогеохимические работы на предыдущей стадии не проводились и имеются площади, где их проведение целесообразно, то следует провести биогеохимическое опробование масштаба 1 : 50 000 до начала или в начале осуществления других поисковых работ данной подстадии.

На подстадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ площадное биогеохимическое опробование проводится для детализации

аномалий, установленных в процессе работ предшествующих подстадий обычно с целью выявления скрытого на глубине оруденения.

При отсутствии опробуемых видов растений на точке, соответствующей сети пробоотбора, биогеохимические пробы могут отбираться на небольшом удалении от точки (не более шага опробования). Пункт биогеохимического опробования представляет собой площадку постоянного размера с радиусом, не превышающим трети расстояния между точками сети опробования (в тех случаях, когда биогеохимические пробы составляются из нескольких экземпляров растений одного или нескольких видов).

## **5.2. Опытнo-методические работы**

При организации биогеохимических работ в новых районах или при необходимости поисков полезных ископаемых, эффективность выявления которых биогеохимическими методами в конкретных ландшафтно-геохимических условиях не известна, проведение опытнo-методических работ является обязательным.

Опытнo-методические работы имеют целью решение следующих задач:

- выбор высокоинформативных безбарьерных и практически безбарьерных по отношению к основным элементам-индикаторам видов и частей растений, пригодных для систематического опробования в конкретных ландшафтно-геохимических условиях;

- сопоставление результатов биогеохимического опробования различных биологических объектов (различных частей широко распространенных растений, их ветоши, опада, растительной подстилки, мохово-лишайникового покрова и торфа) с лито-, гидро- и атмосферическими ореолами на дневной поверхности и на различных глубинах рыхлого покрова и коренных горных пород с целью определения видов геохимического опробования, имеющих наибольшую геологическую информативность при наименьших затратах;

- определение биогеохимических параметров, необходимых для интерпретации и введения поправок на разнородность биогеохимических проб и время опробования молодых растущих частей растений, главными из которых являются растительно-почвенный коэффициент, необходимый для увязки биогеохимических и литохимических данных;

- определение глубинности биогеохимического метода поисков в типичных ландшафтных условиях района работ.

## **5.3. Отбор проб**

Для биогеохимического опробования используются наиболее информативные безбарьерные или практически безбарьерные части широко распространенных многолетних растений, каковыми, например, явля-

ются кора, ветви, хвоя и листья сосны, лиственницы, кедра, пихты, ели, березы, ивы и осины.

При необходимости получения дополнительной информации можно производить опробование на точке наблюдения не одного, а нескольких (двух-трех) биологических объектов растений, каждый из которых дает определенную информацию о тех или иных элементах-индикаторах. Необходимое число проб растений, отбираемых на точке наблюдения, должно обосновываться опытно-методическими работами. Хорошие результаты дает опробование прошлогоднего опада, из листьев деревьев, кустарников и трав, шишек, хвои, коры и небольшой части перепревшего гумусового слоя. Этот метод опробования «по опаду» отличается экспрессностью и возможностью проводить опробование вне зависимости от типов растущих на местности видов растительности. Этот метод нивелирует перепады концентраций, возникающих из-за сезонности работ, дождливости периодов, вариаций содержания по высоте пробоотбора возраста растений. Повсеместность наличия лесной подстилки и опада определяет возможность его широкого использования на местности (на курумах, перелесках, в болотах, лесостепях и т. д.). Попадание в пробу различных растительных остатков определяет явление усреднения вариаций содержания химических элементов, определяющегося процентным соотношением в пробе безбарьерных и барьерных растений.

При опробовании растений в зоне действия промышленных предприятий необходимо учитывать возможное наличие помех от пыли и загрязнения растений газообразными и легколетучими производственными отходами таких предприятий.

При опробовании культивируемых растений необходимо учитывать состав применявшихся при их выращивании удобрений.

При опробовании внешних слоев корки стволов деревьев существенное влияние на результаты могут иметь различия толщины отбираемых слоев. Особенно часто происходит загрязнение пробы материалом более глубоких слоев коры, а также имеющимися в наличии неоднородностями в верхних частях корки, например черных «бородавок» и пятен у корки березы (бересты), глубоких трещин у корки сосны и лиственницы и т. д. Подобные помехи должны исключаться с помощью максимальной стандартизации опробуемого материала. Отбор проб корки стволов деревьев целесообразно сочетать с их измельчением, что осуществляется стесыванием корки тонкими слоями или использованием специальных пробоотборников.

Опробование травянистых растений проводится, как правило, путем отбора всей надземной части на высоте более 5—10 см для исключения загрязнения проб минеральными частицами почв. Иногда предпочтительнее опробовать не живые зеленые многолетние травянистые растения, а их ветошь, а в некоторых случаях определенные части стеблей (нижние узлы, нижние или верхние части стеблей). Подобная методика обычно повышает достоверность опробования, обеспечивая

высокую степень однородности пробы, но часто приводит к уменьшению ее объема, что усложняет аналитические работы. Целесообразно опробовать определенные, наиболее информативные надземные части травянистых растений, а также их корни, являющиеся обычно высокоинформативными на широкий комплекс элементов-индикаторов оруденения. Решение этих вопросов требует предварительного проведения опытно-методических работ.

В тех случаях, когда на исследуемой площади наблюдается смена растительных ассоциаций (например, перемежаемость участков, занятых лесом, степной растительностью, пашнями, болотами и т. п.), которая делает невозможным изучение стандартных биологических объектов, вносятся поправки на разнородность биообъектов при обработке и интерпретации результатов биогеохимического опробования.

Для устранения влияния фаз вегетации растений на содержание элементов-индикаторов оруденения в изучаемых пробах опробование надземных частей травянистых растений, а также листьев деревьев и кустарников на поисковом участке следует производить в течение короткого периода (не более двух-трех недель). Если проведение опробования в течение такого отрезка времени невозможно, влияние вегетационных изменений исключают следующими приемами:

а) площадь поисков делят на участки такого размера, опробование которых может быть проведено за две-три недели. Обработку аналитических результатов (определение фоновых и аномальных содержаний, построение карт изоконцентраций и графиков) производят в дальнейшем раздельно для каждого участка;

б) для участков с одинаковыми ландшафтно-геохимическими условиями в пределах фона и аномалий выбирают однородные контрольные участки, которые подвергают периодическому (с интервалом две-три недели) опробованию с целью определения поправок на время опробования;

в) при биогеохимическом опробовании старых частей растений, состоящих в основном из отмерших клеток (кора стволов деревьев, 2—8-летние отрезки ветвей деревьев и кустарников, ветошь травянистых растений, шишки сосны и лиственницы на лесной подстилке), или опробовании любых частей растений в период их относительного покоя влияние времени отбора проб практически исключается.

На содержание некоторых элементов-индикаторов в листьях деревьев и кустарников и надземных частей травянистых растений иногда оказывает существенное влияние выщелачивание их интенсивными и продолжительными дождями. В таких случаях рекомендуется прекращение отбора проб на время дождей и два-три дня после их окончания. Существенное выщелачивание элементов-индикаторов оруденения дождями наблюдается относительно редко и на ограниченное число элементов-индикаторов (железо, цинк, бор, молибден) имеет практическое значение только при опробовании листьев или надземных частей травянистых растений.



Для анализа достаточно объема проб растений, включающих строго определенные (стандартные), иногда весьма локальные части (например, внешние 1—3 мм слои корки стволов деревьев или нижние узлы стеблей злаков), допустимо отбирать одну пробу с нескольких растений, расположенных в 1—5 м от точки пробостора. Отбирать составные пробы, включающие в себя разные виды или разнородные части растений (например, ветки с листьями, ветви с травами и моховым покровом, травы с моховым покровом и т. д.), не рекомендуется.

В аридных районах вследствие трудности отбора достаточных по объему проб из надземных частей травянистых и кустарниковых растений (из-за их малой массы) может оказаться целесообразным опробование корней, масса которых в десятки и сотни раз больше массы надземных частей. Опробование корневых систем растений может существенно увеличить информативность получаемых результатов, так как корни многолетних растений являются безбарьерными по отношению к большинству рудных элементов и характеризуются стабильными во времени содержаниями химических элементов. Однако в таком случае обязательно предварительное разрешение природоохранительных государственных органов, так как повреждение корней при определенных обстоятельствах может нанести непоправимый ущерб экосистемам пустыни. Для исключения загрязнения минеральными частицами пробы корней необходимо промыть водой или очистить другими способами. Следует иметь в виду, что может оказаться целесообразным отбирать не валовые пробы корней, а их определенные наиболее информативные части. Отмывать корни следует быстро и небольшим количеством воды; не допускается длительное их отмачивание.

Масса проб определяется количеством материала, необходимого для анализов. Достаточной следует считать массу, превышающую величину навески однократного анализа в 3—4 раза, что обеспечивает проведение контрольного анализа и оставление материала для длительного хранения.

Поскольку обычным является анализ золы растений, определение необходимой массы исходных проб ведется из расчета получения необходимых для анализа навесок золы. Приближенная масса сырого вещества биогеохимических проб может быть определена исходя из данных об их влажности и зольности сухого вещества или сырого материала проб. При спектральном анализе методом полного испарения расходуется 30—50 мг золы. Это делает необходимым получение 100—200 мг золы и отбор 20—50 г сырого вещества зеленых частей растений, 10—20 г корки стволов деревьев, имеющих влажность 50 % и зольность сухого вещества 2—3 % (сосны, кедра, пихты и лиственницы), 3—10 г корки стволов деревьев с зольностью 6—10 % (ивы и осины), 50—100 г корки стволов с зольностью 0,4—0,6 % (березы) и т. д. При спектральном анализе методом просыпки, например на бор и фтор, расходуется 200—300 мг золы, при спектрохимических определениях золота 1—10 г золы, что требует соответствующего увеличе-

ния массы исходных биогеохимических проб. Определенную расчетом массу и объем исходных проб следует уточнить опытным путем по первым сериям и строго контролировать их в дальнейшем.

При отборе проб корки в нижней части стволов деревьев используются легкие топоры, а при отборе ветвей деревьев и кустарников и надземных частей травянистых растений — садовые ножницы или ножи. Листья и надземные части большинства травянистых растений обрывают руками. Отобранные пробы упаковывают в матерчатые мешочки или, что более удобно, в бумажные пакеты.

Биогеохимические маршруты должны сопровождаться ландшафтно-геохимическими, геоботаническими, почвенными и метеорологическими наблюдениями, включающими краткую характеристику элементарного ландшафта, описание местоположения точек наблюдения с учетом рельефа, зарисовку абриса профиля или маршрута с указанием заболоченных участков, границ смены растительных ассоциаций и горных пород, гарей, типов почв. Приводятся также данные об атмосферных осадках и другие дополнительные сведения, которые могут склаться необходимыми при интерпретации получаемых данных.

В большинстве случаев широко распространенные виды растений, особенно древесных, могут быть определены геологами, геохимиками и биогеохимиками при консультации ботаников. Однажды определенный в данной местности вид растения в дальнейшем обычно легко распознают техники-геологи и рабочие. При опробовании видов растений, не известных исполнителям, их следует отбирать в гербарий (коллекционировать) для дальнейших определений ботаниками.

Кроме даты отбора проб ведется регистрация обобщенных фенологических фаз растений. Для травянистых растений достаточно выделение следующих фенофаз: а) до цветения, б) цветение, в) созревание семян, г) после отмирания. Для древесных растений: а) сокодвижение, б) набухание почек, в) облиствение, г) цветение, д) созревание семян или плодов, е) осенняя раскраска листьев, ж) листопад, з) после листопада.

Отбор проб документируется в полевой книжке единого образца. Обязательной документации подлежат: место отбора каждой пробы; вид и часть растения; возраст (диаметр) древесных растений; фенофаза опробуемой особи при отборе зеленых растущих частей; абрис профиля или маршрута с указанием местоположения характерных точек рельефа; смены растительных ассоциаций и почв, а также все другие данные, которые могут быть признаны необходимыми для интерпретации получаемых результатов.

Список видов опробуемых растений (народное название и принятое в ботанике латинское наименование) и их буквенные сокращения или цифровые шифры приводятся на первой странице каждой полевой книжки. При регистрации растений в ходе описания полевого маршрута используются эти сокращения (например, корка сосны — к. с.; надземные части астрагала перепончатого — н. ч. а. п. и т. д.) или

пифры (например, кора сосны — 1, надземные части астрагала перепончатого — 25 и т. д.).

Обязательным является проведение контрольного опробования растений в объеме не менее 5 % от общего числа проб, отбираемых на отдельных поисковых участках. Контрольное опробование должно проводиться как до, так и после получения результатов анализов и построения биогеохимических карт и профилей. Контрольное опробование первого этапа проводится в первую очередь на известных геофизических, литохимических, гидрохимических и других аномалиях, а также на участках, представляющих наиболее интересными по геологическим, геоботаническим и другим данным. Контрольному опробованию второго этапа (после получения и обработки результатов анализов) подвергаются в первую очередь выявленные биогеохимические аномалии площадного характера, а также наиболее контрастные из точечных аномалий, выявленных при поисках мелкого масштаба. При опробовании зеленых растущих частей растений контрольное опробование должно производиться в одну и ту же стадию вегетации и при одинаковых метеорологических условиях. По данным первичного и контрольного опробования определяют погрешность отбора проб, наличие загрязнения при подготовке их к анализам, выявляют значительные отклонения, связанные с ошибками и нарушениями технологии отбора и правил документации проб.

Отбор проб торфа следует производить из нижней части торфяного поля, однако не в самом его основании, где значительная примесь минеральных частиц может ввести искажения в картину распределения элементов-индикаторов оруденения. Отбор проб следует производить с помощью почвенных буров. При опробовании следует определять тип торфа (видовой состав торфообразующих растений) и степень его гумификации, которые необходимы для интерпретации данных опробования.

Пробы растительной подстилки отбираются с поверхности (после расчистки запыленной части) или с глубины 5—10 см в зависимости от мощности ее слоя. Особое внимание обращается на стандартность опробуемого материала.

#### **5.4. Обработка и анализ проб**

Операции промывки, высушивания и специального измельчения исходных проб растений являются во многих случаях излишними. Только при значительном, видимом на глаз, запылении пробы растений необходимо промыть пробу непосредственно после отбора чистой водой, лишенной заметных содержаний изучаемых элементов-индикаторов. Последнее должно быть проверено специальными определениями как до промывки, так и после нее. Ввиду опасности вымывания элементов промывку ведут быстро, ни в коем случае не оставляя растение в воде длительное время.

В большинстве случаев при биогеохимических работах производят анализ золы. Озолению подвергают пробы растений, торфа и растительной подстилки. Показателем достаточно полного озоления является равномерный пепельно-серый, белый, коричневатый или иной цвет золы и отсутствие черных углей. Черный или темно-серый цвет растертой золы и значительное уменьшение ее массы после прокалывания являются признаками недостаточного озоления, что является браком.

Озоление ведется в окислительном режиме при свободном доступе воздуха и свободном горении пробы в начале этой операции. Как правило, озоление производится в полевых условиях на базе отряда или партии в специально оборудованном помещении под тягой при хорошей вентиляции в дровяных, жидко-топливных, газовых или электрических печах. В труднодоступных районах с устойчивой ясной погодой озоление проб можно производить на костре. Температура озоления проб может изменяться от 400 до 800 °С, но во всех случаях серия проб, отобранная на поисковом участке, должна озолиться в стандартных условиях. Время озоления проб растений изменяется от 20 мин до 4—8 ч; наиболее быстро озоляются листья деревьев и кустарников и надземные части травянистых растений, наиболее медленно — не измельченные пробы корки стволов и древесина деревьев. Для сокращения времени озолений биогеохимических проб целесообразно повысить температуру до 600—800 °С, производить свободное насыпание пробы в тигель и 1—3-кратное перемешивание пробы во время озоления. Перемешивание особенно эффективно после того, когда выгорит основная часть органического вещества.

При озолении проб происходит потеря некоторой части летучих элементов (Mo, V, Ag, U, Zn, B, Au, As, Sb, Bi, Se, Te, Pb, Cd, Tl, Hg), которая имеет наибольшую величину (от 50 до 90 %) в неизмельченных пробах ветвей, корней, коры и древесины для Cd, Pb, Tl, Zn, B, As и Bi, а для ртути она составляет даже 90—97 %. Это, однако, не препятствует выделению биогеохимических аномалий благодаря примерному постоянству относительной величины таких потерь во всех пробах. Тем не менее, при использовании в качестве индикаторов оруденения легколетучих элементов пробы растений до озоления целесообразно измельчать до 3—10 мм, а озоление вести при пониженных (около 400—500 °С) температурах.

Для обеспечения высокой производительности труда при озолениях проб растений бригада должна быть обеспечена тиглями в количестве, равном 3—5-кратному числу одновременно сжигаемых проб. Это дает возможность совмещения операций набивки тиглей, сжигания проб, остывания тиглей, высыпания золы из тиглей и ее просеивания, вымачивания окалины и растирания. Обязательно использование тиглей из материала, не дающего окалины — жароупорного стекла, кварца, фарфора, керамики, нержавеющей стали, титана и т. д. После предварительной проверки отсутствия элементов-индикаторов оруденения в окалине возможно применение тиглей из стали или черного кровель-

ного железа. Во избежание загрязнения проб должен быть исключен контакт золы с тиглями и ситами из цветных металлов, а также с пылью кернохранилиц и дробильных установок.

Для анализа неозоленных проб растений флуоресцентными, рентгеноспектральными, рентгенорадиометрическими, эмиссионными спектральными или другими методами необходимо их предварительное измельчение или брикетирование.

Измельчение коры стволов деревьев целесообразно производить во время отбора путем стесываний тонких слоев коры легким топориком или специальными пробоотборниками. Для обеспечения заданного максимального размера частиц и минимальной массы измельченная проба непосредственно на точке наблюдения просеивается через стальное или алюминиевое сито (0,3—3,0 мм).

Измельчение проб травянистых растений производится после их высушивания в матерчатых мешочках или бумажных пакетах на открытом воздухе или в помещениях у печей, над плитой или в сушильных шкафах. При этом принимаются меры против запыления проб. Крупное измельчение до 3—10 мм производят с помощью садовых ножниц, ножа, секатора и т. п. Сухие листья измельчают руками. Тонкое измельчение (истирание) производят с помощью специальных мельниц типа кофемолок. Для анализа должны использоваться мелкие фракции определенной крупности. Для получения устойчивых результатов анализов все операции измельчения и истирания проб должны производиться в стандартных условиях.

Брикетирование проб позволяет уменьшить их объем и увеличить чувствительность рентгеноспектральных и рентгенорадиометрических определений элементов-индикаторов оруденения. Оно может производиться с помощью прессов и специальных автоматизированных таблеточных или брикетировочных машин. Поскольку достаточного опыта изготовления брикетированных биогеохимических проб в производственных условиях нет, отработка оптимальных вариантов брикетирования должна являться задачей опытно-методических работ.

В опытным порядке могут анализироваться и неозоленные биогеохимические пробы. Для обеспечения представительности проб неозоленных растений для анализа используются навески проб 0,3—3,0 г при измельчении до 1—2 мм. Для подобных анализов могут использоваться локальные части растений, безбарьерные к комплексу элементов-индикаторов, например: нижние узлы стеблей злаков, черные пятна и «бородавки» корки березы (бересты), верхние или нижние части стеблей травянистых растений.

Использование при поисках неозоленных проб является весьма перспективным, так как увеличивает производительность поисковых работ. В первую очередь этот метод может применяться при определении элементов-индикаторов, имеющих значительные содержания в растениях (порядка 0,01—1 % и более в золе). Следует, однако, учитывать, что известные в настоящее время модификации спектраль-

ного метода при анализе неозоленных проб не дают пока достоверных результатов.

Перечень элементов, определяемых в биогеохимических пробах, в основном тот же, что и для литохимических проб. Однако он должен быть уточнен с учетом накопления элементов-индикаторов растениями и особенностей подготовки проб к анализам. Например, вследствие высокой интенсивности накопления в растениях наиболее информативными при биогеохимическом опробовании являются Zn, Au, Cd, Mo, В, Р, иногда F, Li, Rb, Sr, Ba и некоторые другие элементы. Из-за наличия антиконцентрационных барьеров определение кальция, магния и большинства других макроэлементов в биогеохимических пробах обычно нецелесообразно. Определение некоторых элементов исключается из-за загрязнения ими проб при подготовке последних к анализам (при озолении проб в железных или стальных тиглях следует исключать железо, при использовании никелевых тиглей — никель и т. д.) или из-за существенного их улетучивания при озолении (ртуть).

При проведении биогеохимического опробования с целью детализации выявленных аномалий число определяемых элементов-индикаторов может быть сокращено. При отборе на точке наблюдения двух-трех проб дополнительные пробы могут анализироваться на меньшее число элементов.

## 5.5. Интерпретация результатов

Первоначальной операцией обработки данных о содержаниях элементов-индикаторов в растениях является оценка параметров местного фона и статистически достоверных минимально-аномальных значений. Определение этих величин при биогеохимических поисках производится для стандартных или сопоставимых видов и частей растений, разных сроков опробования растущих тканей (листьев или надземных частей трав) и различных геохимических ландшафтов. Данные изучения растений оформляют в виде карт, планов и графиков содержания элементов-индикаторов оруденения и мультипликативных показателей. Выбор мультипликативных показателей производится так же, как и при литохимическом опробовании.

Карты и профили составляют на геологической основе. На картах выделяются участки с определенными видами растений, одинаковым временем опробования и разнородными геохимическими ландшафтами. Техника построения карт и графиков по результатам анализа биогеохимических проб аналогична операциям при обработке данных литохимического опробования.

Основной задачей интерпретации результатов биогеохимического опробования является разделение выявленных биогеохимических аномалий на рудные и безрудные. Среди предположительно рудных аномалий выделяют объекты различной перспективности и соответственно

различной очередности проведения более детальных поисковых и поисково-оценочных работ. Основными критериями отнесения аномалий к перспективным являются геологическое положение участка аномалии и ее количественные параметры: интенсивность, протяженность, площадь, продуктивность и возможные, ожидаемые или вероятные ( $P_3, P_2, P_1$ ) прогнозные ресурсы основных рудных элементов. Важными характеристиками аномалий являются также данные о комплексе элементов-индикаторов, количественных соотношениях между ними, мультипликативных и других показателях, позволяющих судить об уровне эрозионного среза рудной минерализации и ее первичных ореолов.

Перспективные биогеохимические аномалии должны подвергаться осмотру на местности с контрольно-детализационным биогеохимическим опробованием по одному-трем профилям через центры биогеохимических ореолов. При подтверждении перспективности аномалии производится глубинное литохимическое опробование, по результатам которого принимается решение о дальнейших геологоразведочных работах на участке аномалии. Главной задачей предварительного осмотра биогеохимических аномалий на местности является определение объемов детализационных работ, необходимых для надежной оценки их перспективности.

Поскольку большинство площадей биогеохимических поисков располагается в закрытых ландшафтах, в планы геологоразведочных работ по проверке биогеохимических аномалий должны включаться достаточные объемы геологических, геофизических и геохимических работ, в том числе бурение скважин с лито- и гидрохимическим опробованием на глубину, заведомо превышающую известную глубину корневых систем опробованных растений.

## Глава 6

# АТМОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

### 6.1. Условия применения

Сущность геохимических методов поисков заключается в изучении распределения газов в атмосфере, почве и в подпочвенных рыхлых отложениях с целью выявления газовых ореолов скрытых на глубине рудных месторождений, а также прослеживания разломов, в том числе рудоконтролирующих. Геохимические методы особенно эффективны и могут иметь преимущество по сравнению с другими геохимическими методами при поисках погребенных рудных месторождений в районах, где рудовмещающие породы перекрыты толщей более молодых отложений мощностью до нескольких сотен метров. Производственные геохимические поиски разрешается проводить только в тех случаях и на тех площадях, где эффективность таких поисков полностью доказана опытно-методическими работами.

Наиболее широкое применение геохимические методы в настоящее время получили при поисках радиоактивных руд (радоновая и ториевая съемки), нефтяных и газовых месторождений. Эти поиски регламентируются специальными руководствами и в настоящей инструкции не рассматриваются. Ниже характеризуется в основном применение геохимического метода по комплексу газов (углекислый и углеводородные газы, водород, гелий, аргон, кислород и др.) и газортутный метод. Оба эти метода находятся в стадии уточнения, совершенствования и апробации. Практическое применение пока получили лишь модификации этих методов, основанные на изучении распределения газовых компонентов в подпочвенной атмосфере рыхлых отложений, которые в основном и рассматриваются в настоящем пособии.

Применение геохимических методов наиболее целесообразно на стадии поисков месторождений полезных ископаемых.

На подстадии «Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с составлением крупномасштабных карт» геохимические методы могут быть выполнены самостоятельно или в комплексе с другими геохимическими методами, если имеются основания предполагать наличие скрытых на глубине рудных месторождений, эффективность выявления которых геохимическими методами доказана опытно-методическими работами. Особое внимание должно быть уделено геохимическим работам на данной подстадии в случаях, когда пред-



полагается переход к следующей подстадии «Глубинное геологическое картирование с прогнозированием полезных ископаемых», так как данные атмосферического опробования могут иметь значение для определения мест заложения картировочных буровых скважин. На этой подстадии систематическое опробование газов картировочных скважин является обязательным в общем комплексе геохимических и геофизических работ.

## **6.2. Опытно-методические работы**

Предварительные опытнo-методические работы во всех случаях проектирования атмосферических поисков в районах, где они ранее не проводились, являются обязательными.

Опытнo-методические работы должны предусматривать решение следующих основных вопросов:

- 1) выбор целесообразной глубины пробоотбора, позволяющей надежно фиксировать атмосферические ореолы рудных месторождений;
- 2) выявление ведущего комплекса газовых компонентов, характерных для атмосферических ореолов рассеяния рудных месторождений искомого типа;
- 3) определение значений параметров местного фона  $C\phi$ ,  $S(s)$  и нижних аномальных содержаний газовых компонентов-индикаторов рудных месторождений, размеры ореолов.

Опытнo-методические работы целесообразно первоначально проводить на заведомо известных крупных погребенных рудных месторождениях при мощности перекрывающих дальнеприносных отложений более 10 м, но во всех случаях обязательно получение сравнительных материалов о преимуществе использования атмосферического метода при поисковых работах в конкретных геолого-ландшафтных условиях.

## **6.3. Отбор и анализ проб**

Отбор проб свободной подпочвенной атмосферы производится из призабойных частей специальных скважин или путем забивки в грунт соответствующих зондов (в случае газортутной съемки). При проведении поисков по сорбированным газам опробованию подвергаются породы перекрывающего осадочного чехла на заданной глубине.

Газоотбор может производиться из заранее пробуренных шнековых скважин сразу же после их проходки, с помощью пакерзондов или с применением бурового снаряда, позволяющего вести газоотбор без извлечения снаряда на поверхность и гарантирующего отсутствие подсоса атмосферного воздуха по стволу скважин. Для надежной герметизации призабойной камеры при газоотборе с пакерзондом или без извлечения бурового снаряда практикуется заливка скважины глинистым раствором вплоть до ее устья.

В степных районах бурение скважин при атмосферических съемках производится обычно самоходными станками, в лесной зоне — ручными мотобурами.

Пробы подпочвенного воздуха отбираются из мелких скважин, глубина которых определяется по данным опытно-методических работ и обычно составляет 1,5—3 м, пробуренных в рыхлых, выветрелых и мягких породах, перекрывающих рудоносный фундамент. Отбор газовых проб производится с помощью специального газоотборника и обязательно ниже зоны интенсивного газообмена с атмосферой.

Для определения содержаний углекислого газа и суммы углеводородных газов непосредственно на точках наблюдения применяются переносные оптические газоанализаторы (интерферометры) типа ПШИ-10 с чувствительностью 0,1 %. При меньших, чем 0,1 % содержаниях углеводородных газов их определение производится в стационарной лаборатории на хроматографических приборах. Для определения в подпочвенном воздухе повышенных концентраций сернистых газов (более  $1 \cdot 10^{-3}$  %) используются переносные газоанализаторы типа УТ-2.

На заболоченных и сильно увлажненных участках вместо поисков по свободным газам необходимо применять газокерновое опробование, при котором отбираются пробы из горных пород в специальные герметические сосуды. В лабораторных условиях газ из проб десорбируется и производится его анализ.

Объем предварительной откачки перед газоотбором должен обеспечивать получение газовой пробы, отличающейся от истинного состава подземной атмосферы на величину не более погрешности анализа, что достигается в результате откачки газа в количестве трех-четырёх объемов призабойной камеры скважины.

Отбор газовых проб производится в стеклянные баллончики цилиндрической формы вместимостью 0,25 л с двумя отрезками стеклянных трубочек диаметром около 5 мм, впаянными в их основания. Метод заполнения — вымывание находящегося в них атмосферного воздуха потоком подпочвенного газа, откачиваемого из скважины. Закупоривание баллончиков производится с обоих концов стеклянными пробками при помощи отрезков вакуумного шланга.

Отбор проб породы, при атмосферических поисках по сорбированным газам, производится в стеклянные банки вместимостью 0,5 л, заполняемые доверху во избежание значительного разбавления атмосферным воздухом, а также в другие стеклянные сосуды с широким горлышком, герметизируемые, резиновыми пробками больших диаметров, в которые вставлены латунные трубки с надетыми на них кусочками резинового вакуумного шланга для отвода газа. Закупоривание газоотводящих резиновых шлангов осуществляется или винтовыми зажимами, или стеклянными пробками.

По окончании пробостбора баллончики, бутылки и банки маркируются лейкопластырем с указанием порядкового номера проб и помеща-

ются в специальный контейнер, исключающий возможность боя при транспортировке.

Для подготовки емкостей к пробоотбору баллончики (банки) промываются мыльным раствором и горячей водой, далее раствором хромпика, после чего их внутренняя поверхность стерилизуется струей пара в течение 15—20 мин. Примечание. Состав хромпика: смесь 15 г тонко измельченного бихромата калия (натрия) с 500 мл концентрированной серной кислоты.

Измерения содержания паров ртути производятся в шпурах, пробитых ломом на глубину 0,3—0,6 м, или в мелких скважинах глубиной 1—3 м с помощью переносного ртутного атомно-абсорбционного газоанализатора типа ИМГРЭ-4.

Частицы пыли, некоторые газы в почвенном и подпочвенном воздухе и коммуникации измерительной части прибора являются существенными помехами при измерениях ультрамалых концентраций паров ртути. Поэтому измерения проводятся в два этапа. На первом этапе специальный зонд погружается в шпур или скважину и производится откачка почвенного или подпочвенного воздуха объемом 1 л со скоростью 1 л/мин насосом через зонд с золотым сорбентом. Пары ртути поглощаются золотым сорбентом, а воздух выбрасывается в атмосферу. Затем зонд вынимается из шпура или скважины и соединяется с ртутным газоанализатором. С помощью электрического тока подогревается золотая нить, намотанная на никром, ртуть десорбируется и направляется потоком воздуха в прибор для измерения. На каждой точке наблюдения производится двукратное измерение паров ртути в двух бурках. Если результаты измерений отличаются не более чем в 2 раза, то наблюдения принимаются как удовлетворительные. При большем отличии измерения производятся в третьей бурке. Контрольные наблюдения проводятся в объеме 10 % (не в дни основных измерений!). Средняя относительная погрешность наблюдений не должна превышать  $1,6 \pm 1$ .

Основными документами атмосферических поисков являются полевой журнал, план расположения профилей, точек, план наблюдений (пикетов), графики или планы изоконцентраций газов по участку работ.

В полевом журнале на каждой точке наблюдения необходимо фиксировать номер пикета, профиля, отсчет в делениях шкалы, концентрацию газов, замеры фона прибора, глубину погружения зонда, характер рыхлых отложений (песок, глина, сутлинки и др.). В примечании указываются геоморфологические данные (склон, вершина, долина, плато и др.), характер грунта (плотный, рыхлый), наличие влаги в грунте.

В журнале фиксируется название участка, сеть опробования, дата, время начала работ, номера профилей, их азимут, погода (ветер, солнечно, пасмурно), температура почвы. Температура почвы замеряется 3 раза в день (утром, днем и в конце дня). Обязательно указывается цена деления прибора (с указанием метода эталонировки, даты, места и фамилии исследователя, выполняющего эталонировку).

Повторно-контрольный пробоотбор при всех видах атмосферно-химических работ выполняется в объеме 10 % от общего числа точек наблюдения. Расстояние между скважинами (шпурами) первичных и контрольных наблюдений при атмосферно-химических поисках должно составлять около 3 м.

При оценке параметров местного геохимического фона газовых компонентов подпочвенной атмосферы фоновые содержания углекислого газа, метана, водорода, гелия, аргона и паров ртути аллоксимируются логнормальным, а содержания кислорода — нормальным законами распределения.

## Глава 7

# ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ПРОЕКТОВ И ОТЧЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ РАБОТАМ

Существует множество методов оценки прогнозных ресурсов при средне-мелкомасштабных работах. Наиболее достоверные результаты дает объемно-геохимический метод, подразумевающий, что ресурсы металла пропорциональны объему рудоносного геологического комплекса, оценить который можно по формуле:  $Q = 10^{-6} \times C \times S \times d \times H \times K - Q_m$ , где  $Q$  — ресурсы металла (т);  $K$  — среднее содержание металла в геологическом комплексе; (г/т);  $C$  — минимальное промышленное содержание рудного элемента в месторождении (г/т);  $S$  — площадь рудоносного комплекса;  $H$  — мощность рудоносного геологического комплекса (м);  $d$  — средняя плотность горных пород рудоносного геологического комплекса (т/м<sup>3</sup>);  $Q_m$  — запасы металла, учтенные в месторождениях, связанных с рудоносным геологическим комплексом.

Величина (АУС) носит название коэффициента металлоносности ( $K_m$ ), она показывает, какая часть металла из области геологических ресурсов геологического комплекса может сконцентрироваться в месторождениях. Значения меняются от 0,3—0,8 (ранг рудных тел) до  $10^{-7}$  (структуры глобального уровня). Для рудных тел месторождения этот показатель называют также коэффициентом балансовых руд.

В последние годы в Институте минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ) разработана оригинальная технология многоцелевого геохимического картирования. Это мелкомасштабные (1:1 000 000) исследования, предназначенные для комплексной геохимической оценки территорий.

Объектами многоцелевого геохимического картирования являются экосистемы, фиксируемые интегральными геохимическими полями, которые формируются в результате взаимодействия и трансформации потоков веществ природного и антропогенного происхождения. Под экосистемой понимается функциональная система, включающая сообщество живых организмов и природно-геологическую среду, взаимодействующих между собой в обмене веществом, энергией и информацией.

Основные особенности технологии многоцелевого геохимического картирования:

1) замена случайного опробования по регулярной сети на детерминированное опробование квазиоднородных участков, выделенных на основе многофакторного районирования;

2) системное изучение сопряженных компонентов геологической среды;

3) применение современных аналитических инструментальных многокомпонентных методов;

4) создание полистных банков данных по комплексу программ «ГЕОСКАН»;

5) создание комплектов цифровых карт цифровых карт многоцелевого назначения на основе Гис-технологий (рис. 31).

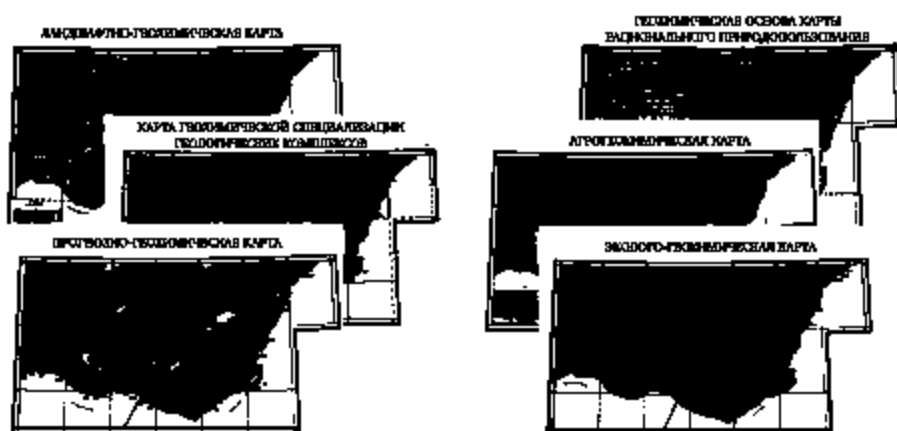


Рис. 31. Комплект многослойных цифровых карт, создаваемых на основе Гис-технологий

Создание таких карт (см. рис. 31) позволяет решать широкий круг задач:

- провести прогнозно-геохимические работы в различных ландшафтно-геохимических обстановках и в регионах разной сложности геологического строения;
- выявить перспективные рудогенные геохимические аномалии ранга потенциально металлогенических рудных районов и узлов;
- осуществить количественную прогнозную оценку минерально-сырьевого потенциала территории на цветные, редкие, благородные металлы, алмазы и отдельные виды нерудного сырья;
- обосновать направления и различный комплекс методов проведения прогнозно-поисковых и прогнозно-оценочных работ с учетом инвестиционной привлекательности выявленных перспективных площадей;
- разработать рекомендации по проведению ГРП на выявленных перспективных площадях;

- создать геохимические основы Государственных геохимических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения для повышения их объективности и прогностических свойств;
- оценить потенциальную геохимическую эндемичность территорий;
- выделить экологически неблагоприятные площади на основе оценок загрязнения окружающей среды токсичными элементами и соединениями.

Геохимические методы в комплексе поисковых работ являются ведущими, поэтому к их проведению и интерпретации результатов предъявляются достаточно жесткие требования. Схема проведения работ по опережающим геохимическим поискам (ОГХП) приведена в приложении 1.

## 7.1. Требования к проекту

В проектах на проведение прогнозных работ и поисково-оценочных работ обязательно планируются геохимические работы и отражается информация об их проведении.

### *Обоснование технологии ведения работ*

#### *Обзор и анализ результатов предшествующих работ*

В разделе отражается анализ результатов предшествующих геохимических работ для обоснования возможности использования их в настоящих работах.

1. Дается оценка качеству и достоверности опосредованного исследования территории (объекта) по масштабам и видам геохимических работ, степени соответствия использованных ранее аналитических методов и интерпретации геолого-геохимической информации современному уровню исследований. Основное внимание уделяется геохимическим методам, результаты которых послужили основанием к постановке работ.

2. Приводится карта (схема) геохимической изученности объекта.

3. Дается краткая характеристика перспективных геохимических аномалий, выявленных ранее на территории ведения поисковых работ. Приводятся их основные параметры и оценка (размер, состав, рудно-формационный тип, уровень эрозионного среза, прогнозные ресурсы и т. д.). Перечисленные сведения могут быть приведены в форме каталога и вынесены в текстовые приложения.

#### *Ландшафтно-геоморфологические условия ведения работ*

Раздел должен содержать обоснование возможности использования комплекса геохимических методов поисков (с количественной или качественной интерпретации данных) на всей изучаемой территории или на ее части для решения прогнозно-поисковых задач.

1. Создается карта (схема) районирования территории по условиям применения геохимических методов поисков на ландшафтно-геоморфологической основе. Масштаб карт определяется геологическим заданием.

2. В случае необходимости обосновывается постановка опытно-методических работ на неизученных ландшафтах.

3. Приводятся сведения о выявленных источниках техногенного загрязнения, а также о других возможных изменениях естественных ландшафтов.

#### *Поисковая геохимическая модель искомого объекта*

Раздел должен содержать обоснование оптимальных параметров использования комплекса поисковых геохимических методов (плотность сети пробоотбора, лабораторно-аналитический комплекс, а метод поисков по вторичным ореолам рассеяния дополняется характеристикой элементарной оценки поисковой сети).

1. Приводится частная или обобщенная модель (модели) геохимического поля (рудного объекта), являющаяся эталоном для данного объекта.

2. Обосновывается возможность использования геохимической модели в геологических и ландшафтно-геоморфологических обстановках.

3. Излагаются геолого-геохимические поисковые признаки критерии оценки и параметры их оптимального использования для оруденения ожидаемого геолого-промышленного типа (типов).

#### *Технология и организация геохимических работ*

Необходимая информация о методике ведения опережающих поисковых геохимических работ и этапности их освещения в информационных отчетах даны в приложении 2.

#### *Технология ведения работ*

Материалы раздела должны содержать описание технологии производства геохимических работ на участках по методам, видам и этапам. На основе геологического задания, априорной геохимической модели и соответствующих инструктивных и методических документов выполняется следующее:

1. Определяется оптимальный метод поисков (или комплекс поисковых методов) ведения геохимических работ.

2. Составляется проектная схема пробоотбора и полевой обработки проб. Определяется оптимальное количество проб с учетом контрольных.

3. Производится описание технологий пробоотбора и полевой обработки проб.

4. обосновывается схема лабораторно-аналитической обработки проб и рациональный комплекс аналитических методов (с перечнем определяемых элементов и пределов их обнаружения) в соответствии с принятой поисковой моделью.

5. Кратко излагается методика обработки и интерпретации геохимических данных с указанием применяемого программного обеспечения.

6. При необходимости обосновывается постановка опытно-методических работ и излагается методика их проведения.



7. В случае ведения специализированных геохимических поисков обосновывается целесообразность и технология комплексирования с другими поисковыми методами.

#### *Организация ведения работ*

В разделе приводятся основные показатели проектных объемов и видов работ, учитываемых при составлении сметы и календарного плана, указывается состав исполнителей (в том числе исполнителей подрядных работ, а также консультантов); характеристика материально-технической оснащенности.

#### *Графические и табличные приложения к проекту*

1. Карта (схема) геохимической изученности территории.
2. Карта (схема) геохимических аномалий на геологической основе с данными о полезных ископаемых по материалам ранее проведенных работ.
3. Карта (схема) районирования территории по условиям применения геохимических методов поисков на ландшафтно-геоморфологической основе при поисках по потокам и вторичным ореолам рассеяния.
4. Проектная схема пробоотбора на ландшафтно-геоморфологической основе (с элементами топографии) в масштабе выполняемых работ.
5. Таблица основных показателей проектируемых видов и объемов работ.

## **7.2. Требования к отчету о геохимических работах**

Отчет о геохимических работах выполняется в виде отдельного тома в общем отчете о проведении прогнозно-поисковых или поисково-оценочных работ и должен содержать следующую информацию.

#### *Вводная часть*

Включает обоснование постановки работ, геохимическое задание, утвержденные проектом методы и объемы геохимических работ по объектам (участкам), официальные экспертные заключения на геологические задания, геолого-методические разделы проектно-сметных документов, информационные отчеты и отчетные материалы по результатам завершённых прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на твердые полезные ископаемые, а также дополнения и изменения, вносимые в геологическое задание.

#### *Введение*

Даются сведения о проектных и фактически выполненных объемах работ. Отчет иллюстрируется обзорной картой (схемой) района работ на топографической или геологической основе.

#### *1. Обзор и анализ результатов предшествующих геохимических работ*

В разделе повторяется все, что было в проекте и дополнительно приводятся:

1.1. Результаты переинтерпретации геохимических данных ранее проведенных работ.

1.2. Сведения о выявленных источниках техногенного загрязнения, а также о других возможных изменениях естественных ландшафтов.

## 2. *Ландшафтно-геоморфологические условия ведения работ*

Раздел должен содержать обоснование выбора рационального комплекса геохимических методов поиска, параметры и объемы их проведения. Приводится карта (схема) районирования территории по условиям применения геохимических методов поисков на ландшафтно-геоморфологической основе, в том числе и возможные техногенные изменения ландшафтов. Карта выполняется при проектировании и коррелируется по результатам полевых работ, масштаб определяется геологическим заданием.

## 3. *Поисковая геолого-геохимическая модель искомого объекта*

Приводится скорректированная модель по результатам проведенных работ частная или обобщенная модель геохимического поля рудного объекта являющегося эталоном для искомого объекта. Обосновывается возможность использования геохимической модели в геологических и ландшафтно-геоморфологических обстановках изучаемой площади. Излагаются геолого-геохимические поисковые признаки, критерии оценки и параметры их использования для оруденения ожидаемого геолого-промышленного типа (типов).

## 4. *Методика геохимических работ*

Материалы раздела должны содержать описание технологии производства геохимических работ по методам, видам, участкам и этапам.

### 4.1. *Полевые работы.*

Приводится карта (схема) районирования территории по условиям применения геохимических методов с уточнениями и изменениями и карта (схема) фактического материала.

Приводятся таблицы выполненных объемов опробования по видам работ и объектам.

### 4.2. *Аналитические работы и метрология.*

4.2.1. Приводятся сведения о применявшихся видах анализов, месте и времени их проведения, способах пробоподготовки: указывается спектр анализируемых химических элементов, чувствительность и множители.

4.2.2. Приводятся сведения об объемах и результатах внутреннего и внешнего контроля по каждому виду лабораторных работ и определяемым элементам, на основании которых делается вывод о достоверности и воспроизводимости полученных аналитических данных для интерпретации.

### 4.3. *Камеральные работы.*

4.3.1. Приводятся сведения о способах формирования и объемах выборок, кратко характеризуются приемы векторной и скалярной обработки данных (при использовании оригинальных программ дается их краткая характеристика). Описывается методика определения фоно-

ных и минимально-аномальных содержаний, оконтуривания, увязки, разбраковки и оценки геохимических аномалий: обосновываются аномальные и классификационные уровни значений геохимических показателей.

4.3.2. Приводится методика составления геохимической основы прогнозных карт и других графических приложений.

4.3.3. В самостоятельный подраздел выделяется методика определения геолого-промышленного типа оруденения, уровня эрозионного среза и количественной оценки прогнозных ресурсов изучаемых объектов.

#### 5. Результаты геохимических работ

По итогам выполненных геохимических работ в разделе приводятся:

- Структура «Банка геохимических данных» и программное обеспечение.

- Карта (схема) опоискованной территории, определяющая в рамках проектных участков геохимических работ контуры опоискованных и неопоискованных площадей, а также площадей, не подлежащих опоискованию по ландшафтным причинам.

- Геохимические карты (моновлементные, полиэлементные, комплексных геохимических показателей, геохимических ассоциаций и др.). Виды и количество карт определяется необходимостью обоснования полученных результатов.

- Кадастр геохимических аномалий основного полезного компонента (компонентов), где приводятся их описательные характеристики: форма, размеры, общее и аномальное количество проб в контуре, спектр элементов, приуроченность к геологическим объектам и др.

- Интерпретационные характеристики полученных геохимических аномалий: площадная продуктивность основного полезного компонента (компонентов), показатель уровня эрозионного среза, оценка протяженности оруденения на глубину (подвеска), геолого-геохимический тип и др. Перечисленные сведения могут быть приведены в форме каталога и вынесены в текстовые приложения.

- Итоги проведенных геохимических работ. Для каждой выделенной аномалии, идентифицируемой как ореол прогнозируемых геологических объектов, определяется промышленный тип предполагаемого оруденения и его ресурсный потенциал. Выделенные площади (участки) ранжируются по степени их перспективности на обнаружение рудных объектов.

- Геохимическая основа прогнозной карты.

#### Заключение

В краткой форме содержит основные выводы по результатам поисковых геохимических работ, оценку ресурсного потенциала по геохимическим данным, рекомендации по направлению и очередности дальнейших геологоразведочных работ, перечисление дискуссионных и не решенных вопросов с предложениями о возможных путях их решения, оценку экономической эффективности комплекса.

Графические и текстовые приложения к отчету.

1. Карта (схема) геологической изученности территории.

2. Карта (схема) районирования территории по условиям применения геохимических методов на ландшафтно-геоморфологической основе (для геохимических поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния).

3. Карта фактического материала на топографической основе в масштабе выполненных работ.

4. Карта геохимической оплодотворенности территории работ.

5. Геохимические карты (комплексных геохимических показателей, характерных геохимических ассоциаций, а также моноэлементные, полиэлементные, и др.).

## **Заключение**

В учебном пособии рассмотрены лишь основные черты применяемых геохимических методов поисков, дающие общее знакомство с этими методами и позволяющие студентам ознакомиться с практической стороной проведения этих исследований. Материал по геохимическим методам поисков дает представление о применяемых методах и способствует общему ознакомлению с этими методами и успешному решению стоящей перед студентами задачи по расширению сырьевой базы полезных ископаемых.

В целом приоритетной задачей геологии в настоящее время является экспрессная локализация перспективных территорий, с высокой долей вероятности содержащих в своих глубинах крупнообъемных месторождений. Решение поставленной задачи возможно только на основе научно обоснованных, методически отработанных, доказавших свою эффективность технологий. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых в полной мере отвечают этим требованиям.

Основными направлениями дальнейшего развития геохимических методов поисков являются:

1. Разработка теоретических основ формирования аномальных геохимических полей ранга рудных районов, узлов и полей. В настоящее время детально обследован механизм образования и разработана методика количественной оценки первичных и вторичных ореолов на уровне рудных тел и месторождений. Для более крупных подразделений эти вопросы находятся в стадии разработки. Актуальность их решения определяется необходимостью выявления новых рудных районов и узлов в процессе средне- и мелкомасштабных исследований.

2. Дальнейшая разработка теоретических основ и совершенствование методических приемов выявления труднооткрываемых «слепых» месторождений.

3. Совершенствование аналитической базы. Постановка задачи выявления слабо проявленного скрытого оруденения диктует необходимость широкого внедрения высокоточных и экспрессных аналитических методик, прежде всего ICP MS, а также специальных методик селективного анализа.

4. Совершенствование методики и качества проведения полевых геохимических работ с целью повышения их эффективности.

5. Совершенствование методов интерпретации аномальных геохимических полей в увязке с комплексом геолого-геофизических и космо-

структурных данных, результатами топо-минералогического картирования, изучения метасоматитов с учетом ландшафтно-геохимической обстановки проведения работ.

6. Широкое использование и совершенствование компьютерных технологий обработки геохимических данных и построения специализированных карт.

## Библиографический список

Алексеевко В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / В. А. Алексеевко. — М. : Логос, 2005. — 354 с.

Ворошилов В. Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых : учебное пособие / В. Г. Ворошилов — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 104 с.

Временные требования к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим работам при опережающих геохимических поисках, прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работах на твердые полезные ископаемые / под ред. Б. К. Михайлова, А. А. Кременецкого. — М. : ИМГРЭ, 2007. — 12 с.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведки рудных месторождений / С. В. Григорян. — М. : 1987. — 408 с.

Дзюба А. А. Аналитические возможности комплекса «Гранд Поток» при сцинтилляционном определении содержания золота и серебра в геологических пробах / А. А. Дзюба, В. А. Лабузов [и др.] // Аналитика и контроль. — 2017. — Т. 21, № 1. — С. 449—454.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / отв. ред. Л. Н. Овчинников. — М. : Недра, 1983. — 198 с.

Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений / А. Л. Ковалевский. — М. : Недра, 1974. — 144 с.

Колотов Б. А. Научные основы гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений // Прикладная геохимия. Вып. 8. — М. : ИМГРЭ, 2008. — С. 129—138.

Кравцова Р. Г., Макшаков А. С. Оценка уровня эрозионного среза эпitherмального месторождения Роговик по геохимическим данным / Р. Г. Кравцова, А. С. Макшаков // Геология рудных месторождений. — 2016. — Т. 58, № 6. — С. 544—588.

Матвеев А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А. А. Матвеев, А. П. Соловов. — М. : Изд-во МГУ, 2011. — 561 с.

Методика количественной оценки рудоносности геологических комплексов (формаций) по геолого-геохимическим данным средне-мелкомасштабного картирования. Методические рекомендации / отв. ред. В. В. Иванов. — М. : ИМГРЭ, 2001. — 66 с.

Методические рекомендации по использованию геохимических поисков при поисках и оценки золоторудных месторождений / Г. Я. Амбрамсон, А. Г. Жабян. — М. : ИМГРЭ, 1991. — 103 с.

Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния / Г. И. Хохрин, В. П. Бородин, А. А. Матвеев. — М. : ИМГРЭ, 1992. — 164 с.

Методические рекомендации по технологии геохимических работ масштаба 1 : 200 000 в закрытых районах для прогноза полезных ископаемых / отв. ред. А. А. Головин, Ю. Н. Ермаков. — М. : ИМГРЭ, 2003. — 88 с.

Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта А. И. Перельман, Н. С. Касимов. — М. : Изд-во МГУ, 1999. — 768 с.

Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния / В. В. Поликарпочкин. — Новосибирск : Наука, 1976. — 407 с.

Прикладная геохимия. Вып. 8. Проблемы поисковой геохимии. Т. 2. Опыт геохимических поисков / Гл. ред. А. А. Кременецкий. — М. : ИМГРЭ, 2008. — 324 с.

Сает Ю. Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений / Ю. Е. Сает. — М. : Наука, 1982. — 168 с.

Соколов С. В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения / С. В. Соколов. — СПб. : Наука, 1998. — 131 с.

Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А. П. Соловов. — М. : Недра, 1985. — 294 с.

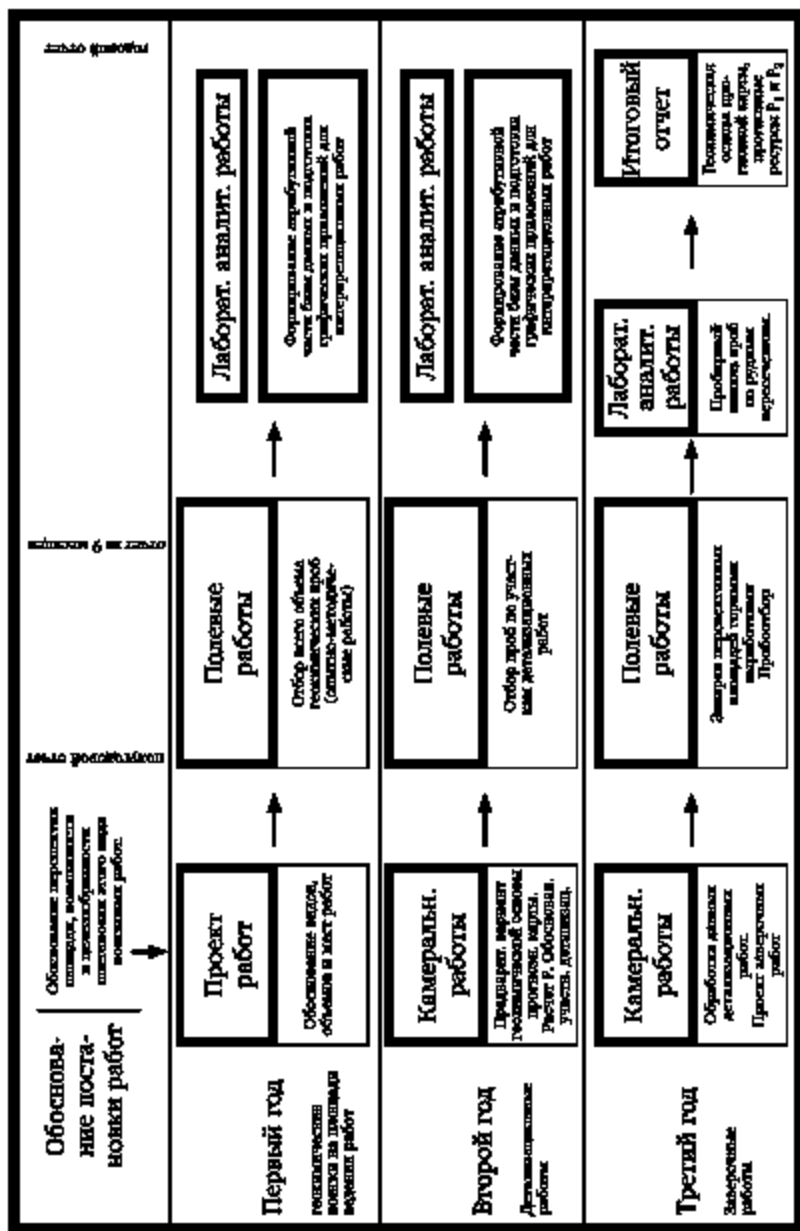
Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров [и др.]. — М. : Недра, 1990. — 335 с.

Таусон Л. В. Геохимические поля рудно-магматических систем Л. В. Таусон, Г. М. Гундобин. — Новосибирск : Наука, 1987. — 2002 с.

Фурсов В. Э. Выявление и оценка наложенных геохимических аномалий рудити на закрытых территориях при МГХК-200. Методические рекомендации / отв. ред. А. А. Головин. — М. : ИМГРЭ, 2001. — 155 с.



Схема технологии ведения работ по ОГХП



1—8 — информационные отчеты  
9 — итоговый отчет

**Необходимая информация о методике ведения опережающих поисковых геохимических работ и этапность их освещения в информационных отчетах (Геохимический блок в составе комплекса поисковых работ аналогичен работам, опережающим поисковые геохимические работы за первые 1,5 года работ).**

**1. Полугодовой отчет первого года работ**

В отчете содержатся сведения о ходе прохождения методической, геологической и экологической экспертиз, а также о готовности ведения полевых работ. В случае если это предписано геологическим заданием: проводятся анализ ранее проведенных работ с оценкой возможности использования их в настоящей работе; дешифрирование аэро- и космоснимков, а также другие подготовительные работы.

**2. Отчет за 9 месяцев первого года работ**

В отчете содержится информация о ходе выполнения полевых работ.

*Графика:*

1. «Карты фактического материала по опробованию площади ведения работ» полевой вариант.

2. «Карта районирования территории по условиям применения геохимических методов (с исправлениями и дополнениями, выполненными по ходу полевых работ)» — полевой вариант.

Приводится таблица «Основных показателей выполнения пробоотбора и лабораторно-аналитических работ» (см. табл. в прил. 3)

**3. Годовой отчет первого года работ**

*Графика:*

1. «Карты фактического материала по опробованию площади ведения работ» — итоговый вариант.

2. «Карта районирования территории по условиям применения геохимических методов» по опробованию площади ведения работ — итоговый вариант.

3. «Карта (схема) геохимической изученности территории, объекта по материалам предшествующих работ» — итоговый вариант.

4. «Карты опосредованности» по опробованию площади ведения работ» — итоговый вариант.

Информирование о написании первой главы итогового отчета «Обзор и анализ результатов предшествующих геохимических работ»

Сообщить о формировании атрибутивной части базы данных (прил. 4 (залито цветом)) т. е. подготовительные данные. Приводятся данные о состоянии подготовки графических материалов к интерпретации. Приводится таблица обработки проб (прил. 3).

Подготавливается и актуализируется карта полезных ископаемых, соответствующего масштаба, в качестве геохимической основы прогнозной карты.

#### **4. Полугодовой отчет второго года работ**

При выполнении опытно-методических работ приводится итоговый вариант поисковой геохимической модели, адаптированный к конкретным геологическим и ландшафтно-геоморфологическим условиям ведения работ. Информирован о написании главы итогового отчета «Глава 3. Поисковая геолого-геохимическая модель искомого объекта».

Приводятся:

- Таблицы результатов внутреннего и внешнего контроля первичной геохимической информации.
- Таблица выделенных участков с рангом перспективности на обнаружение полезного ископаемого и величиной ресурсного потенциала, рассчитанного по геохимическим данным.
- Кадастр геохимических аномалий с их базовыми характеристиками.

Информирован о написании глав итогового отчета «Ландшафтно-геоморфологические условия ведения работ» «Аналитические работы и метрология».

*Графика:*

1. Геохимические карты (моноэлементные, полиэлементные, комплексных геохимических показателей, характерных геохимических ассоциаций и др.)

2. «Геохимическая основа прогнозной карты», с рассчитанными ресурсами по категории  $P_3$ .

3. «Проектная карта (схема) пробоотбора по участкам детализации».

Обосновываются перспективные участки для постановки детализационных работ, определяются методы, параметры и технология их ведения.

#### **5. Отчет за 9 месяцев второго года работ**

В отчете содержится информация о ходе выполнения полевых работ.

*Графика:*

«Карты фактического материала по участкам детализационных работ» полевой вариант; «Карта районирования территории по условиям применения геохимических методов (с исправлениями и дополнением, выполненными по ходу полевых работ) по участкам детализационных работ» полевой вариант.

Приводится таблица «Основных показателей выполнения пробоотбора и лабораторно-аналитических работ» (прил. 3).

#### **6. Годовой отчет второго года работ**

Информирован о написании глав итогового отчета «Ландшафтно-геоморфологические условия ведения работ по участкам детализации», «Аналитические работы и метрология по участкам детализации», «Полевые работы», «Камеральные работы».

*Графика:*

1. «Карты фактического материала по участкам детализационных работ» — итоговый вариант.

2. «Карта районирования территории по условиям применения геохимических методов», по участкам детализационных работ — итоговый вариант.

3. «Карты опоискованности» по опробованию по участкам детализационных работ» — итоговый вариант.

Сообщается о формировании атрибутивной части базы данных (прил. 3 (залито цветом)) т. е. подготовительные данные. Приводятся данные о состоянии подготовки графических материалов к интерпретации. Приводиться таблица обработки проб (прил. 4).

**7. Полугодовой отчет третьего года работ**

Составляется кадастр выявленных аномалий и итоговая электронная база данных. Проводятся работы по оценке выполненных аналитических работ.

*Графика:*

1. Геохимические карты (моноэлементные, полиэлементные, комплексных геохимических показателей, характерных геохимических ассоциаций и др.) по участкам детализационных работ.

2. «Геохимическая основа прогнозной карты по участкам детализационных работ», с рассчитанными ресурсами по категории Р<sub>3</sub>. Рабочий вариант.

3. «Проектная карта (схема) заверочных работ».

Приводиться обоснование постановки заверочных работ с использованием легких горных выработок и короткометражного бурения, определяются участки, методы, параметры и технология их ведения.

**8. Отчет за 9 месяцев третьего года работ**

Приводятся данные о выполнении полевых работ по заверке перспективных участков и готовности к написанию итогового отчета.

**9. Итоговый отчет**

Выполняется в соответствии с требованиями к содержанию отчетных материалов по результатам завершенных геохимических работ на твердые полезные ископаемые ОСТ 41-15-291-89 и временными требованиями к содержанию проектов и отчетных материалов по геохимическим работам при опережающих геохимических поисках, прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работах на твердые полезные ископаемые (Москва, 2007).



**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**  
в отделе по работе с вузами  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [vuz@urait.ru](mailto:vuz@urait.ru)

**Частным лицам:**  
список магазинов смотрите на сайте [urait.ru](http://urait.ru)  
в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**  
в отделе продаж  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [sales@urait.ru](mailto:sales@urait.ru)

Отзывы об изданиях присылайте в редакцию  
e-mail: [gred@urait.ru](mailto:gred@urait.ru)

Новые издания и дополнительные материалы доступны  
в электронной библиотеке [biblio-online.ru](http://biblio-online.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

*Учебное издание*

**Буланов Владимир Александрович,  
Сасим Сергей Александрович**

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие для академического бакалавриата

Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Гарнитура «Спайтер». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 12,80.

**ООО «Издательство Юрайт»**  
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.  
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: [izdat@urait.ru](mailto:izdat@urait.ru), [www.urait.ru](http://www.urait.ru)